



Bitlis Eren Üniversitesi  
**Fen Bilimleri Dergisi**

Bitlis Eren University  
Journal of Science

E-ISSN : 2147-3188

Cilt / Volume: 6

Sayı / Number: 2

Yıl / Year: 2017

**Yazışma Adresi**

Bitlis Eren Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE  
Tel: 0 (434) 2220071

[fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)  
<http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

**Yayın Kurulu / Editorial Board**

<b>İmtiyaz Sahibi / Owner</b>	Prof. Dr. Erdal Necip YARDIM
<b>Baş Editör / Editor in Chief</b>	Doç. Dr. Koray KÖKSAL
<b>Editörler / Editors</b>	Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK Yrd. Doç. Dr. Mehmet AKYÜZ Yrd. Doç. Dr. Ökkeş ÖZTÜRK
<b>Dizgi / Typographic</b>	Yrd. Doç. Dr. Ökkeş ÖZTÜRK
<b>Ürün Editörü / Product Editor</b>	Yrd. Doç. Dr. Ökkeş ÖZTÜRK

**Danışma Kurulu / Advisory Board**

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Doç. Dr. Ayşe Dilek ÖZŞAHİN KİREÇÇİ	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Yrd. Doç. Dr. Ali ÇAKMAK	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi
Yrd. Doç. Dr. İbrahim KOÇ	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.
Yrd. Doç. Dr. Serhat Berat EFE	Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F.

## Hakem Kurulu / Reviewer Board

Prof. Dr. Meltem S. CEBECİ	Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan DEMİR	Giresun Üniversitesi
Doç. Dr. Refet KARADAĞ	Harran Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Doç. Dr. Sait MALKONDU	Giresun Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Nesrin H. POLAT	İzmir Katip Çelebi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÖZEN	Harran Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ	Batman Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ümit ÜNVER	Yalova Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN	Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Nurcan ERBİL	Ardahan Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. İnci T. KIZILKAYA	Ege Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Deniz A. ÇOLAK	Erzincan Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ali Özhan AKYÜZ	Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ali ERDOĞAN	İnönü Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Mehtap TANYOL	Munzur Üniversitesi
Öğr. Gör. Atiye DEĞİRMENCİ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Öğr. Gör. Şaban GÜLCÜ	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Öğr. Gör. Vahit TONGUR	Necmettin Erbakan Üniversitesi

## Dergimiz Hakkında

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından yılda iki defa, Mühendislik ve Temel Bilimler alanlarında özgün araştırma makalelerini, derlemeleri ve teknik notları kapsayacak şekilde yayımlanmaktadır. Dergide yayımlanacak makalelerin yazım dili Türkçe veya İngilizce'dir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden önce düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle, derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Makalelerin benzerlik oranı %25'i geçmemelidir. Makaleler şekiller ve tablolar dâhil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayım için gönderilen makaleler en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Makalelerin dergide yayımlanabilmesi için hakemler tarafından olumlu görüş bildirilmesi gerekmektedir. Dergi Editör Kurulu, hakem raporlarını (*iki hakemin değerlendirmeleri geldikten sonra*) dikkate alarak makalelerin yayımlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir. Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayım haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne devrettiklerine dair Telif Hakları Formunu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu belgeler DergiPark sistemi, e-posta veya posta ile dergi editörlüğüne gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

**B.E.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 6(2), 2017**  
**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

**Araştırma Makaleleri (Mühendislik) / Research Articles (Engineering)**

1. **Çözüm Ağı Üretim Yöntemleri ve Geliştirilen Program Kullanılarak Hareketli Çözüm Ağı Üretimi** 1-14  
*Mesh Generation Techniques and Moving Mesh Generation By Using Developed Program*  
M. Çınar
2. **Biyogaz Üretimi İçin Ankara'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları** 15-28  
*Major Organic Waste Sources in Ankara for Biogas Production*  
H. Şenol, E. A. Elibol, Ü. Açıkkel, M. Şenol
3. **Hydroelektrik Santral Rezervuar Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi** 29-38  
*The Assessment of Hydroelectric Power Plant Reservoir Data with the Purpose of Energy Production*  
F. Oral, R. Behçet, K. Aykut
4. **Benzin ve Dizel Motorlarda Devir Sayısının Titreşime Olan Etkisinin İncelenmesi** 39-43  
*Investigation of the Effect of Revolution of Diesel and Gasoline Engines on Their Vibration*  
N. Gültekin, M. Mayda, M. Kilit
5. **Görüntü İşleme Teknikleriyle Yüz Algılama Sistemi Geliştirme** 44-48  
*Face Recognition System Development with Image Processing Techniques*  
A. Eldem, H. Eldem, A. Palalı

**Araştırma Makaleleri (Temel Bilimler) / Research Articles (Basic Sciences)**

6. **Probiyotik Maya Olarak *Saccharomyces cerevisiae*'nin Gelişimine *Citrus limon* (L.) Burm. f. (Limon)'un Bazı Fitokimyasal Etkileri** 49-61  
*Determination of Phytochemical Characteristics of Citrus limon (L.) Burm. f. (Lemon) on the development of Saccharomyces cerevisiae as probiotic yeast*  
P. Erecevit, S. Kırbağ
7. ***Myriophyllum spicatum*'un Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesi, Lipid Peroksidasyonu ve Hidrojen Peroksit Seviyesi Üzerine Nano ve Mikro Bor Partiküllerinin Etkisi** 62-70  
*Effect of Nano and Micro-Particle Boron on Hydrogen Peroxide and Lipid Peroxidation Enzyme Activity Superoxide Dismutase of Myriophyllum Spicatum*  
Y. Dağlıoğlu, S. Türkiş

**Derleme Makaleleri (Mühendislik) / Review Articles (Engineering)**

8. **Biyosensörler ve Nanoteknolojik Etkileşim** 71-80  
*Biosensors and Nanotechnological Interaction*  
Z. Tüylek
9. **Türkiye'de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları** 81-92  
*Primary Biomass Sources for Biogas Production in Turkey*  
H. Şenol, E.A. Elibol, Ü. Açıkkel, M. Şenol
10. **Nitrat İndirgenmesinde Nano Ölçekli Sıfır Değerlikli Demir (nZVI) Kullanımı** 93-107  
*Use of Nanoscale Zero Valent Iron (nZVI) in Nitrate Reduction*  
H. Türk, Ö. Hanay

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Çözüm Ağı Üretim Yöntemleri Ve Geliştirilen Program Kullanılarak Hareketli Çözüm Ağı Üretimi**

Mehmet ÇINAR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Bitlis

---

### **Özet**

Kısmi diferansiyel denklemlerin sayısal çözümünde en sık kullanılan yöntemlerden birisi sonlu elemanlar yöntemidir. Sonlu elemanlar yönteminde analiz yapılacak bölge sınırları belli olmak şartıyla çözüm bölgesi denilen alt bölümlere ayrıştırılır. Bu alt bölümlere ayrıştırma yöntemi çözülecek diferansiyel denklemin çeşidine göre değişmektedir. Çözüm bölgesini alt bölümlere ayrıştırılabilmek için çeşitli çözüm ağı üretim teknikleri kullanılır. Uygun yöntem belirlenerek çözüm bölgesi alt bölmelere ayrıştırılarak çözümün daha hızlı ve doğru olması sağlanmaktadır. Klasik sonlu elemanlar yöntemi çözüm alanı üzerinde anlık analiz yapıldığında doğru sonuçlar vermektedir. Ancak zamana bağlı olarak kısmi diferansiyel denklemlerin değiştiği ve çözüm ağının da bölgesel olarak değiştiği durumlarda klasik sonlu elemanlar yöntemi yerine hareketli sonlu elemanlar yöntemi kullanılması faydalıdır. Hareketli sonlu eleman yöntemi kullanımı çözüm ağının sadece değişen bölgelerinde analiz yapılmasını sağlayarak hızlı bir şekilde sonuca gidilmesini temin eder. Bu çalışmada, iki boyutlu çözüm ağı üretim tekniklerinden bahsedilmiştir. Geliştirilen program yardımıyla çözüm ağı üzerindeki bölgesel değişikliklerin nasıl yapıldığı konuları detaylandırılmıştır. Uygulama olarak, C++ tabanlı bir yazılım gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çözüm Ağı Üretim Teknikleri, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Hareketli Çözüm Ağı üretimi.

---

## **Mesh Generation Techniques And Moving Mesh Generation By Using Developed Program**

---

### **Abstract**

One of the most frequently used methods in the numerical solution of partial differential equations is the finite element method. In the finite element method, the region to be analyzed is separated into sub-regions called solution regions, provided that its boundaries are certain. The method of decomposing these subsections varies according to the type of the differential equation to be solved. Various mesh generation techniques are used to decompose the solution region into subsections. By determining the appropriate method, the solution region is divided into sub-divisions and the resolution is made faster and more accurate. The classic finite element method gives accurate results when instant analysis is performed on the solution area. However, it is useful to use the moving finite element method instead of the classical finite element method in cases where the partial differential equations change with time and the mesh changes regionally. The use of the moving finite element method ensures that only the analysis of the solution network is performed in the changing regions, resulting in a rapid result. In this work, two dimensional mesh generation techniques are mentioned. How the regional changes on the mesh are done with the help of the developed program is detailed. As an application, C++ based software was implemented.

**Keywords:** Mesh Generation Techniques, Finite Element Method, Moving Mesh Generation.

---

---

\*Sorumlu yazar: [mcinar@beu.edu.tr](mailto:mcinar@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 20/09/2017 Kabul Tarihi: 29/09/2017

## 1. Giriş

Fiziksel ortam ile çalışan çoğu bilim adamları iki önemli konu ile karşı karşıya kalır. Bunlar, fiziksel ortamın matematiksel formülasyonu ve diğeri de matematiksel modelin sayısal analizidir. Fiziksel ortamın matematiksel modelinin çıkarılması çoğu zaman temel matematik, fizik bilgisini gerektirir. Matematiksel formülasyondaki çoğu ifadeler sistemle ilgili diferansiyel denklem tipindedir. Bu diferansiyel denklemlerin çözümü, çalışılan fiziksel sistemin herhangi bir anda ki davranışı hakkında bilgi verir [1]. Çoğu problemler için ilgili denklemin türetilmesi zor değildir. Fakat bu denklemlerin tam çözümlerini elde etmek her zaman mümkün değildir. Bu durumda tam çözüm bulmak yerine yaklaşım yöntemleri kullanılarak, belirli bir hata ile çözüme gidilmeye çalışılır. Diferansiyel denklemin sonlu farklar yaklaşımında, sonraki türevler fark bölümleriyle temsil edilir. Böylece, verilen fiziksel ortamın sınır şartları zorlanarak, elde edilen cebrik denklem çözülür ve sonuç elde edilir. Varyasyonel yöntemler de ise, denklem, ağırlıklı integral şekline dönüştürülür ve daha sonra domen üzerinde yaklaşık çözümün doğrusal birleşimli olduğu kabul edilir [2]. Sonlu elemanlar yöntemi, geleneksel varyasyonel yöntemlerinin dezavantajlarının üstesinden gelir. Yöntem basit bir problem için aşağıdaki adımları kullanır:

### a) Verilen bölgenin sonlu eleman çözüm ağıının oluşturulması:

Bu adım sonlu eleman denklem formülasyonu bitirilene kadar bir gecikmeye sebep olabilir. Süreklilik problemlerinde alan değişkeni, çözüm bölgesindeki noktalara ilişkin bir fonksiyondur. Dolayısıyla alan değişkeninin sonsuz sayıda değerleri vardır ve problem sonsuz sayıda bilinmeyenlidir. Problemin sonlu sayıda bilinmeyenli duruma indirgenmesi amacıyla birinci adım olarak çözüm bölgesi sonlu sayıda eleman ile bölmelenir. Elemanlar üçgen, dörtgen, hexahedron, izoparametrik, vb. şekillerde ve değişik büyüklüklerde seçilebilir. Bu seçim, problemin tek, iki veya üç boyutlu olması durumu ve inceleme altındaki malzeme veya cihazın sınırları da göz önüne alınarak yapılır. Düzensiz şekillerde ve gelişmiş bölümlendirmelerde üçgen elemanlar kolaylık sağlar. Bu elemanlar sınır yüzeylere kolaylıkla uyum sağlar. Böylece çözüm bölgesi, istenilen büyüklük ve sıklıkta elemanlar ile bölmelenerek düğüm sayısı ve dolayısıyla çözüm denklemlerinin sayısı değiştirilebilir. Bu elemanlarla bölmeleme yapıldıktan sonra elemanlara uygun düğüm numaraları ve eleman numaraları verilir [3].

### b) Çözüm ağı üzerindeki bütün eleman tipleri için şekil fonksiyonlarının türetilmesi:

Her bir elemanı belirleyen adımlar yardımıyla o eleman üzerinde veya içinde alan değişkeninin değişimini gösteren şekil fonksiyonunun tipi seçilir. Alan değişkeni skalar, vektörel veya yüksek dereceli bir tensör olabilir. Çoğu zaman alan değişkeni için polinomlar seçilir. Çünkü bunların integral ve türevlerini almak kolaydır. Polinomlar lineer, kuadratik, kübik, vb. yapıda olabilirler. Sisteme ait uygun sınır şartları belirlenir.

### c) Eleman özelliklerinin bulunması:

Her bir elemanın özelliklerini tanımlayan matris eşitliklerinin bulunması, üçüncü adımı oluşturur. Bunun için kullanılan yaklaşımlardan bazıları; direk yaklaşım, varyasyonel yaklaşım, Ağırlıklı Artıklar yaklaşımı ve Enerji Dengesi Yaklaşımı şeklindedir.

### d) Eleman özelliklerinin birleştirilmesi:

Tüm sistemi modelleyen özellikleri bulmak için elemanların ayrı ayrı olan özellikleri birleştirilir ve problemin sınır şartları sisteme yerleştirilerek sonuç denklem sistemi çözüme hazır hale getirilir.

### e) Denklem sisteminin çözümü:

Tipik bağımlı değişken ;

$$u = \sum_{i=1}^n u_i \psi_i \quad (1)$$

olmak üzere,

$$[K^e] \{u^e\} = \{F^e\} \quad (2)$$

şeklinde eleman denkleminin elde edilmesi.  $K$  matrisi, ana matris olarak isimlendirilen matristir.

#### f) $\psi_i$ eleman interpolasyon fonksiyon seçimi ve türetilmesi.

Dördüncü adımda elde edilen sonuç denklem sistemi, alan değişkeninin bilinmeyen değerlerini hesaplamak üzere çeşitli yöntemlerden yararlanarak çözülür. Eğer denklemler lineer ise; Gauss Elimination, Cholesky Decomposition gibi direk yöntemler veya Gauss Seidel, SOR (Successive Over Relaxion) gibi iteratif yöntemler kullanılabilir. Eğer denklemler nonlineer ise, bunların çözümünü elde etmek daha zordur ve Newton-Raphson gibi iteratif yöntemlerden yararlanır.

#### g) İstenen diğer hesaplamaların yapılması:

Sisteme ait bazı önemli parametreleri hesaplamak için denklem sisteminin çözüm sonuçları kullanılabilir. Örnek olarak, elektrik alanlarının incelenmesini sağlayan Laplace denkleminin ilişkin çözüm sonuçları sistemin potansiyel dağılımını verir. Eğer istenirse, düğümlerin potansiyel değerlerinden yararlanılarak alan şiddeti, depolanan enerji ve kapasite gibi hesaplamalar da yapılabilir [4].

Sonlu elemanlar yöntemiyle doğru ve güvenilir hesaplama yapabilmek için çözüm bölgesinin sonlu eleman çözüm ağının oluşturulması gerekir. Sonraki bölümde çözüm ağı üretim tekniklerinden bahsedilecektir.

## 2. Çözüm Ağı Üretim Algoritmaları

Bu bölümde, iki boyutta hem yüzey hem de hacim elemanı olarak, sonlu eleman çözüm ağı üretiminde kullanılan çözüm ağı üretim teknikleri açıklanmıştır. Bilindiği gibi çözüm ağının üretim sebebi analiz için veri hazırlamaktır. Bu kısımda sonlu eleman çözüm ağı üretiminde kullanılan uyarlamalı yapılar için de müsait olan çözüm ağı üretim tekniklerinden bahsedilecektir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [5] :

1. İki boyutlu üçgenel çözüm ağları.
  - a) İki boyutlu Delaunay ügenleme.
  - b) İlerleyen cephe yöntemi.
  - c) Yörünge çizgileri kullanarak çözüm ağı üretimi.
  - d) Alt bölmeleme yoluyla kenar bölme tekniği.
2. İki boyutlu dörtgenel çözüm ağları.
  - a) Doğrudan yöntemler.
  - b) Dolaylı yöntemler..

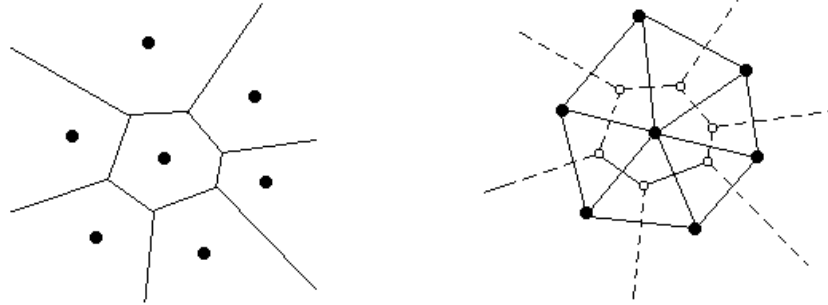
### 2.1. İki Boyutlu Üçgenel Çözüm Ağları

Bu bölümde üçgenel çözüm ağı üretiminde yaygın olarak kullanılan çözüm ağı üretim teknikleri hakkında bilgi verilecektir.

#### 2.1.1. İki Boyutlu Delaunay Üçgenleme

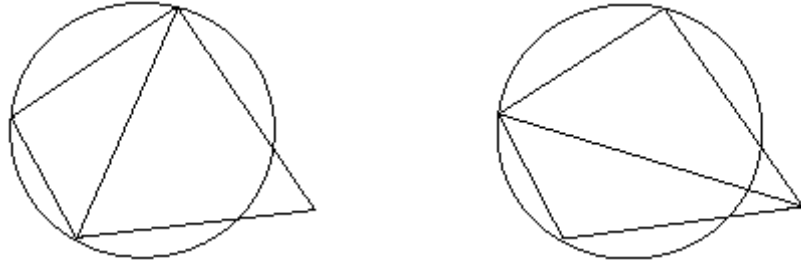
En yaygın olarak kullanılan bir üçgenleme yöntemidir. Yöntem ilk defa Rus matematikçisi Boris Delaunay [6] tarafından 1934 yılında ortaya atılmıştır. Yöntemin kendisi doğrudan bir çözüm ağı üretimi için üçgen oluşturma olmayıp, varolan noktaların birleştirilmesi prensibine dayanır. Delaunay fikri uzun zamandır literatürde olmasına rağmen özellikle çözüm ağlarının üretiminde ilk olarak Lawson [7] tarafından kullanılmıştır. Aslında doğrudan bir üçgenleme yöntemi olmayıp kesişmeler olmayınca ve Delaunay şartı sağlanıncaya kadar sınırlarda üçgen üretme esasına dayanır. Delaunay şartı, birleştirilecek noktalardan iki boyutta en az bir tane üçgen oluşturacak şekilde ve oluşturulan üçgenin köşeleri bir çemberi elde edecek şekilde üçgenleme yapmaktır . Bunun için Voronoi

diagramını oluşturacak şekilde noktaların dağılımı yapılmış olmalı ya da birleştirilecek noktalarda bu şart aranmalıdır. *Şekil 1* yedi nokta için Voronoi ve Delaunay ayrışlarını göstermektedir. Kesik çizgi ile gösterilen Voronoi ayrışları ve sürekli çizgi ile gösterilenler ise Delaunay ayrışlarıdır.



**Şekil 1.** Yedi nokta için Voronoi ve Delaunay ayrışları

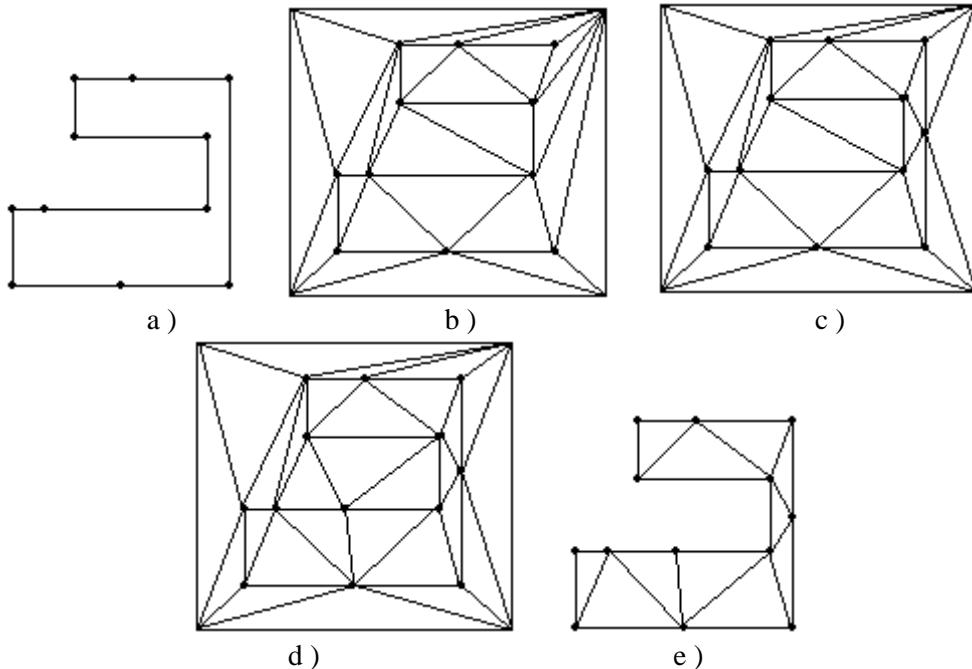
*Şekil 2'* de Delaunay ve Delaunay olmayan iki üçgenleme yöntemi görülmektedir. Yöntem ilk şart olarak sınırlarda ayırık noktalar kullanmak suretiyle üçgenleme yapar. Sonradan araya eklenecek noktaların uygun yerleştirilip Delaunay şartını sağlaması istenir. Bu işlem için çeşitli teknikler önerilmiştir.



**Şekil 2.** a) Delaunay üçgenleme

b) Delaunay olmayan üçgenleme

Sonlu eleman yaklaşımında, sınırdaki var olan üçgenlerin sınır bütünlüğünü koruması istenir. Bu durum gerçekleşmezse, o zaman verilen sınırlara göre tam olarak bir üçgenleme yapılmamış ve sonlu eleman analizdeki hata artmış olur. Bu durumda sonlu eleman analiz için veri hazırlanmamış olur. Bunu gidermek için çoğu zaman standart Delaunay üçgenleme yönteminden sonra bir düzeltme veya doğrulama işlemine gerek duyulur. *Şekil 3'* de bu durum görülmektedir [8].



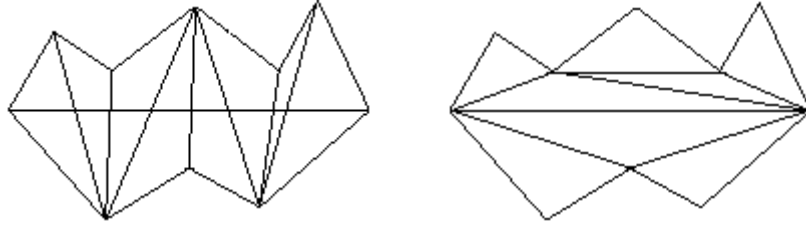
**Şekil 3.** Sınır bütünlüğü korunmuş Delaunay üçgenleme adımları



Şekil 3' deki adımlar kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir.

- Sınırları tanımlayan noktalar.
- Orijinal noktaların başlangıç Delaunay üçgenlemesi. Dikkat edilirse nesnenin dışında seçilen dört nokta içbükey bir ortam sağlar.
- Kayıp olan bir kenarın ortasına bir nokta eklenmesi.
- Diğer ara noktanın eklenmesi.
- Ortam dışındaki diğer bütün üçgenler atılarak sınır bütünlüğü sağlanacak şekilde Delaunay üçgenleme gerçekleştirilir.

Sınırlarda bu düzenlemelerin yapılmasının gerekmesi sınır zorlamalı Delaunay fikrinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Sınır zorlamalı Delaunay üçgenleme işleminde yapılan Şekil 4' de görüleceği gibi sınır bütünlüğü köşeden köşeye noktaları yer değiştirme yoluyla yapılmaktadır.



Şekil 4. Diagonal köşelerin birleştirilerek sınır zorlamalı Delaunay üçgenlemesi

Delaunay üçgenleme için izlenecek adımlar aşağıdaki gibidir.

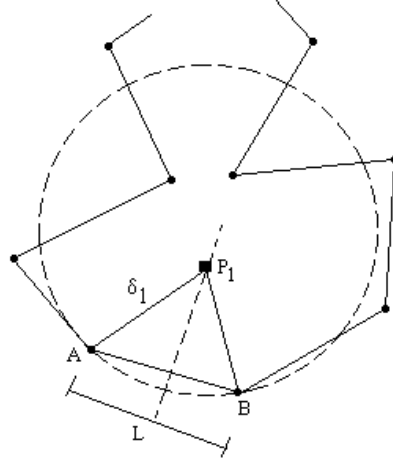
- Üçgenleme için kullanılacak noktaların içinde bulunacağı bir kapalı alan tanımlanması. Bu alanın özelliğinin içbükey olması işlemi kolaylaştırır. Ayrıca bu noktalar Voronoi diagramını tanımlayacak şekilde yerleştirilmesi.
- Bu alan içine eklenecek olan herhangi bir noktanın bulunması.
- Silinecek olan Voronoi diagramının bütün ayrıtlarının belirlenmesi.
- Bütün silinmiş Voronoi ayrıtlarının bulunması. Bu noktalar yeni eklenecek noktaya bitişik noktalar.
- Yeni Voronoi ayrıtlarının eklenmesi.
- Yeni komşu Voronoi ayrıtlarının eklenmesi ve gerekirse 5. Adıma gidip yeni Voronoi ayrıtlarının ilave edilmesi.
- Yeni nokta eklenmesi için 2. ve 6. adıma geri gidilmesi.

### 2.1.2. İlerleyen Cephe Yöntemi

İlerleyen cephe yöntemi ilk olarak yapısal olmayan çözüm ağları üretimine uygulanmış daha sonraları ise Zhu [9] tarafından bazı değişikliklerle dörtgenlere de uygulanmaya çalışılmıştır. Yöntemin geliştirilmiş hali, üç boyutlu uzayda, yüzey üçgenleme uyarlamalı çözüm ağı üretimi, paralel üçgenleme vb. gibi alanlara uygulanmıştır .

İki boyutta ilerleyen cephe yöntemi ile üçgenleme işlemi aşağıdaki adımlardan ibarettir;

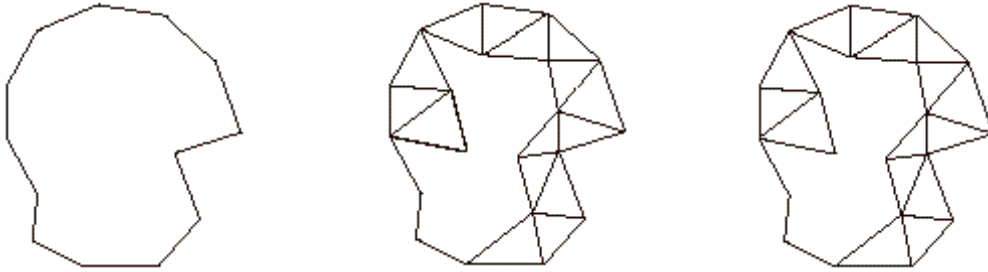
- Sınırların ayrıklaştırılması.
- Bu değerlerin listeye yerleştirilmesi.
- Listenin, genel bir kriter olan en kısa parça uzunluğuna göre sıralanması.
- Bu parçacık, oluşturacak üçgenin taban kenarı olacak şekilde kesişimlere dikkat ederek yeni bir nokta bulunması (Şekil 5).  $\delta_1$  değerinin seçimi denklem 3'deki gibidir.



Şekil 5. İlerleyen cephe yönteminde yeni üçgen oluşturulması

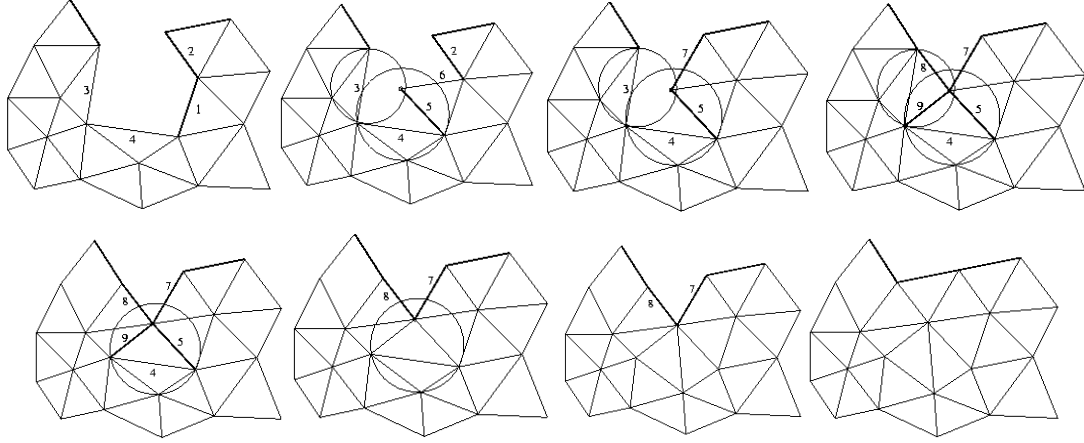
$$\delta_1 = \begin{cases} 0.55 * L < 1 < 2 * L & 1 \\ 0.55 * L < 1 & 0.55 * L \\ 1 > 2 * L & 2 * L \end{cases} \quad (3)$$

5. Bu noktanın listeye eklenmesi.
6. Gereksiz olan düğümlerin listeden çıkarılması ve alan içi tamamen bitinceye kadar çözüm ağı üretimine devam edilmesi şeklinde verilebilir. Şekil 6' da ilerleyen cephe yöntemi adımları verilmiştir [10].



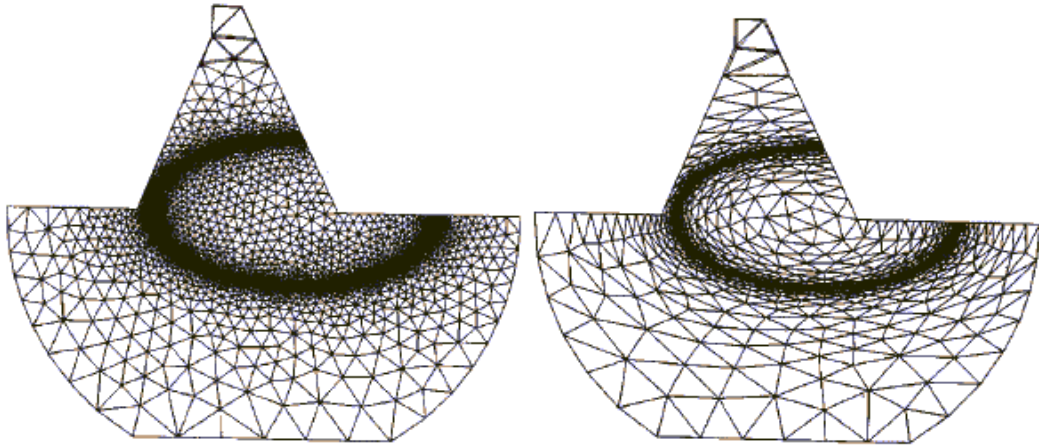
Şekil 6. İlerleyen cephe yönteminde yeni düğüm eklenmesi işlemi

Yeni düğüm eklenmesinin gerekmediği durumlar da, ilerleyen cephe yöntemi diagonal olarak düğümlerin birleştirilmesi şeklinde çalışır. Şekil 7' de diagonal olarak düğümlerin birleşimi görülmektedir.



Şekil 7. Diagonal olarak düğümlerin birleştirilmesi

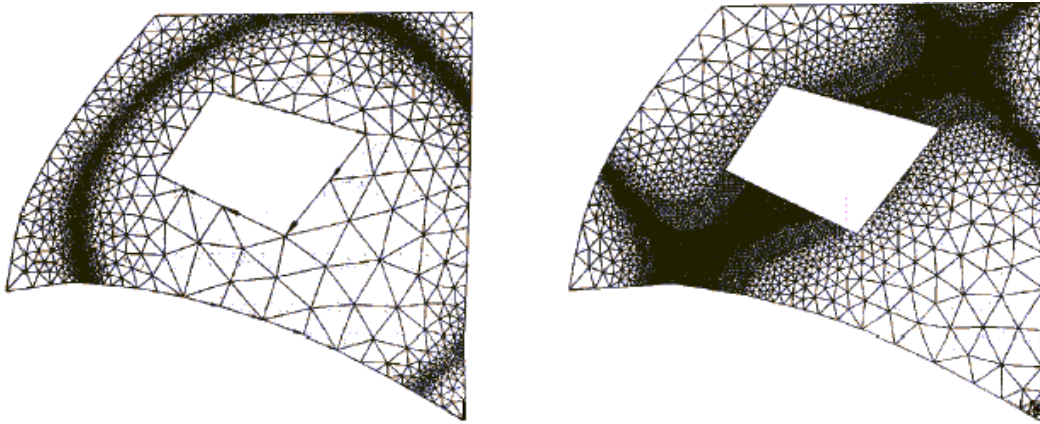
Şekil 8'de ilerleyen cephe yöntemi ile elde edilmiş çözüm ağı örnekleri görülmektedir [11].



Şekil 2.8. İlerleyen cephe yöntemi ile üretilmiş iki boyutlu çözüm ağı örnekleri

### 2.1.3. Yörünge Çizgiler Kullanarak Çözüm Ağı Üretimi

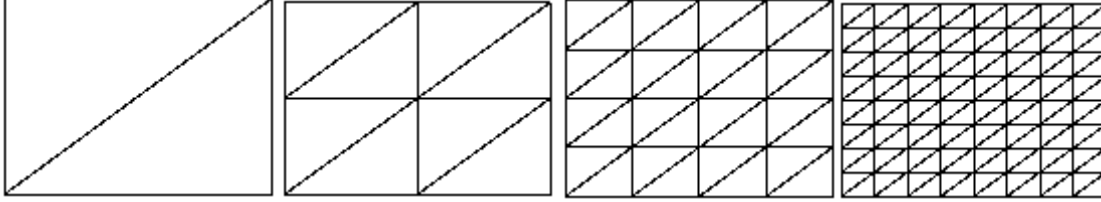
Yörünge çizgiler (contour) kullanarak çözüm ağı üretimi ilk olarak değişken boyutlu elemanlara sahip çözüm ağı üretiminde kullanılmıştır. Uygun şekilde hesaplanmış düğüm dağılım fonksiyonunu belirleyen yörünge çizgileri, alt bölgeler içinde problem domeninin bölmelenmesini sağlamaktadır. Özellikle değişken boyutlu sonlu eleman üreteçleri, ancak genel amaçlı sonlu eleman üreteçleri ile mümkün olmaktadır. Şekil 9 bu yöntem ile üretilmiş çözüm ağı örneklerini göstermektedir [12].



Şekil 9. Yörünge çizgi yöntemi ile üretilmiş olan çözüm ağı örnekleri

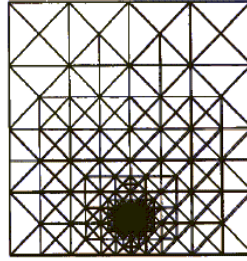
### 2.1.4. Alt bölmeleme Yoluyla Kenar Bölme Tekniği

Bu teknikte yapılan, başlangıçta çözüm ağı üretilecek alana ait kaba bölmelemenin elle veya otomatik bölme yapan bir program ile kabaca bölmelenmesi ve daha sonra bu alanların daha küçük bölmelemelere ayrıştırılmasıdır. Bu işlem bilgisayarlı grafikte alt bölmeleme (subdivision) olarak bilinir [13]. Altbölmelemenin yapılabilmesi için gerekli şart önceden bir bölmelemenin gerekmesidir. *Şekil 10'* da altbölmeleme tekniğinin uygulandığı basit dikdörtgenel bir yapı görülmektedir.



**Şekil 10.** İkili altbölmeleme tekniği en soldaki şekil orijinal başlangıç çözüm ağı ve diğerleri alt bölmelenmiş şekiller

Yapılan işlem her bir kenar iki eşit parçaya bölmek ve bir üçgenden dört üçgen elde etmektir. Bu yöntem ikili alt bölmeleme olarak adlandırılır. Bu yöntemin avantajı nesne sınırlarına ait bütünlüğün korunabiliyor olmasıdır. Bu şekilde çözüm ağının tümü üzerinde istenildiği kadar bölmeleme yapılması sağlanmış olacaktır. Yöntem hem bölgesel hem de genel anlamda kontrolü sağlayabilme yeteneğine sahiptir. *Şekil 11'* de bölgesel olarak daha fazla çözüm ağı üretilmiş şekil görülmektedir.



**Şekil 11.** Altbölmeleme tekniği ile üretilmiş bölgesel kontrollü çözüm ağı

## 2.2. İki Boyutlu Dörtgenel Çözüm Ağları

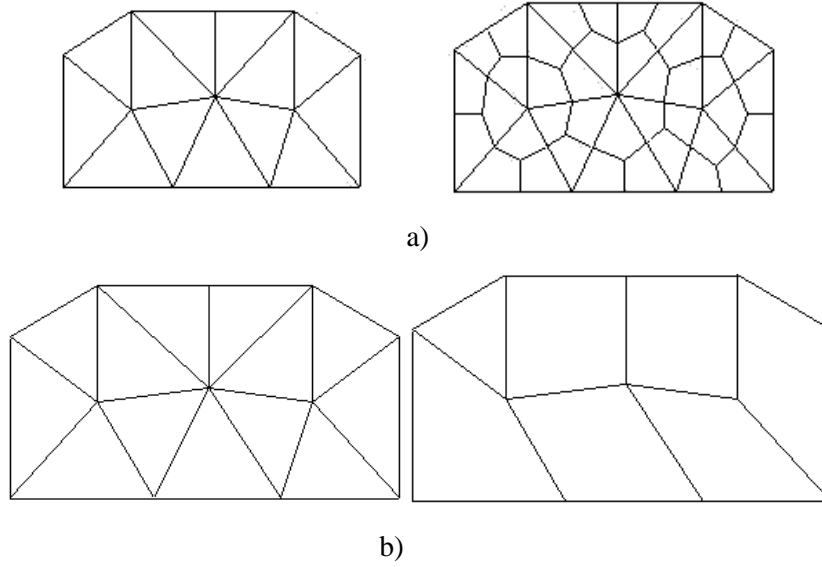
Haritalama (mapping) yöntemi ve çekme yöntemi ile dörtgenel çözüm ağı üretimi teknikleri en yaygın kullanılan çözüm ağı üretim teknikleridir [14]. Bu yöntemin genel özelliği sadece yapısal çözüm ağlarının üretilebilmesidir. Ancak eleman boyutlarındaki değişikliklerle yapısal olmayan çözüm ağları dolaylı yoldan üretilebilmektedir. Yapısal olmayan dörtgenel çözüm ağı üretim teknikleri iki ana gruba ayrılır; Bunlar doğrudan yöntemler ve dolaylı yöntemlerdir.

### 2.2.1. Doğrudan Yöntemler

Doğrudan yöntemleri iki ana gruba ayırmak mümkündür. Birincisi; verilen problem ortamının basit bölgelere ayrıştırılmasıdır. Diğer ise düğümlerin ve elemanlarının yerinin ilerleyen cephe yöntemine benzer şekilde üretilebilmesidir. Dörtgen ağacı yöntemi ile dörtgenel çözüm ağı üretim tekniği birinci gruba girmektedir. İki boyutlu uzayda başlangıç bölmelemesi yapıldıktan sonra sınırlarda bütünlük sağlanıncaya kadar alt bölmeleme işlemi yapılır. Talbert tarafından alt bölmeleme işleminde öz yinlemeli algoritmayı kullanan bir yöntem verilmiştir. Zhu [9] tarafından ilerleyen cephe yöntemi yardımıyla sınırlardan başlayarak dörtgenler oluşturma üzerinde durulmuştur.

### 2.2.2. Dolaylı Yöntemler

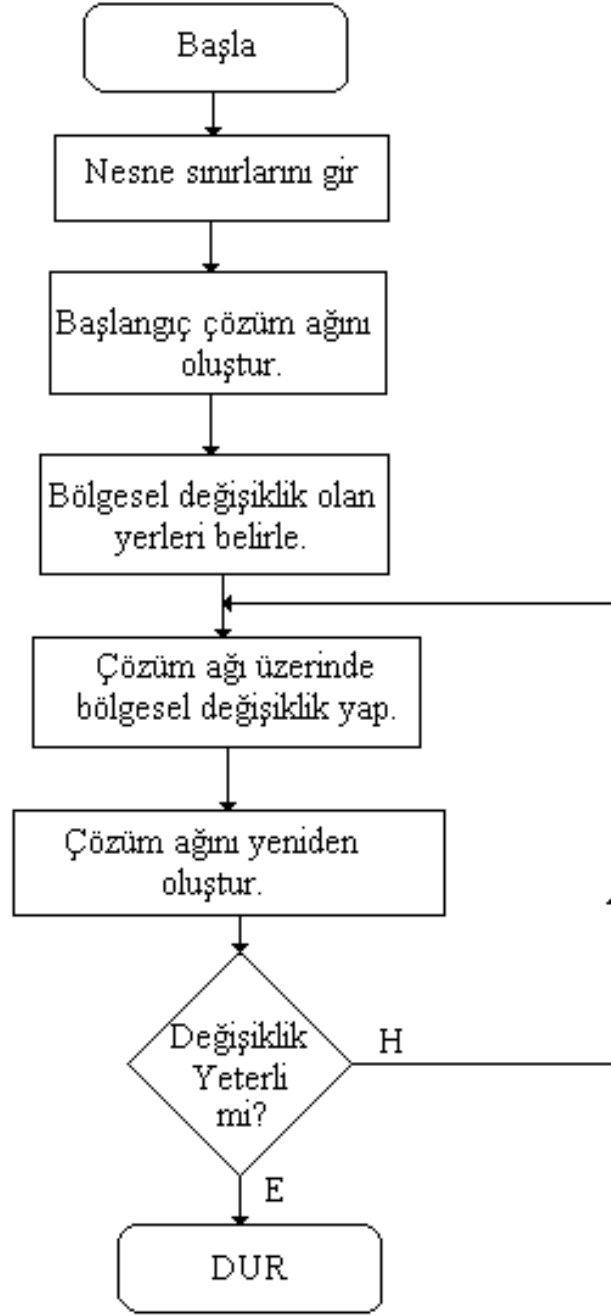
Dolaylı yöntemlerin esası, çözüm ağı üretilecek alanın ilk olarak üçgenlere ayrıştırılması daha sonra üçgenler birleştirilerek veya bölerek dörtgenel yapılar oluşturulmasıdır. *Şekil 12* bu şekilde üretilmiş dörtgenel bir çözüm ağını göstermektedir.



**Şekil 12.** Dolaylı bir şekilde dörtgensel çözüm ağı üretimi a) Bir üçgenden üç dörtgenin oluşturulması b) İki üçgenin birleştirilip bir dörtgen oluşturulması

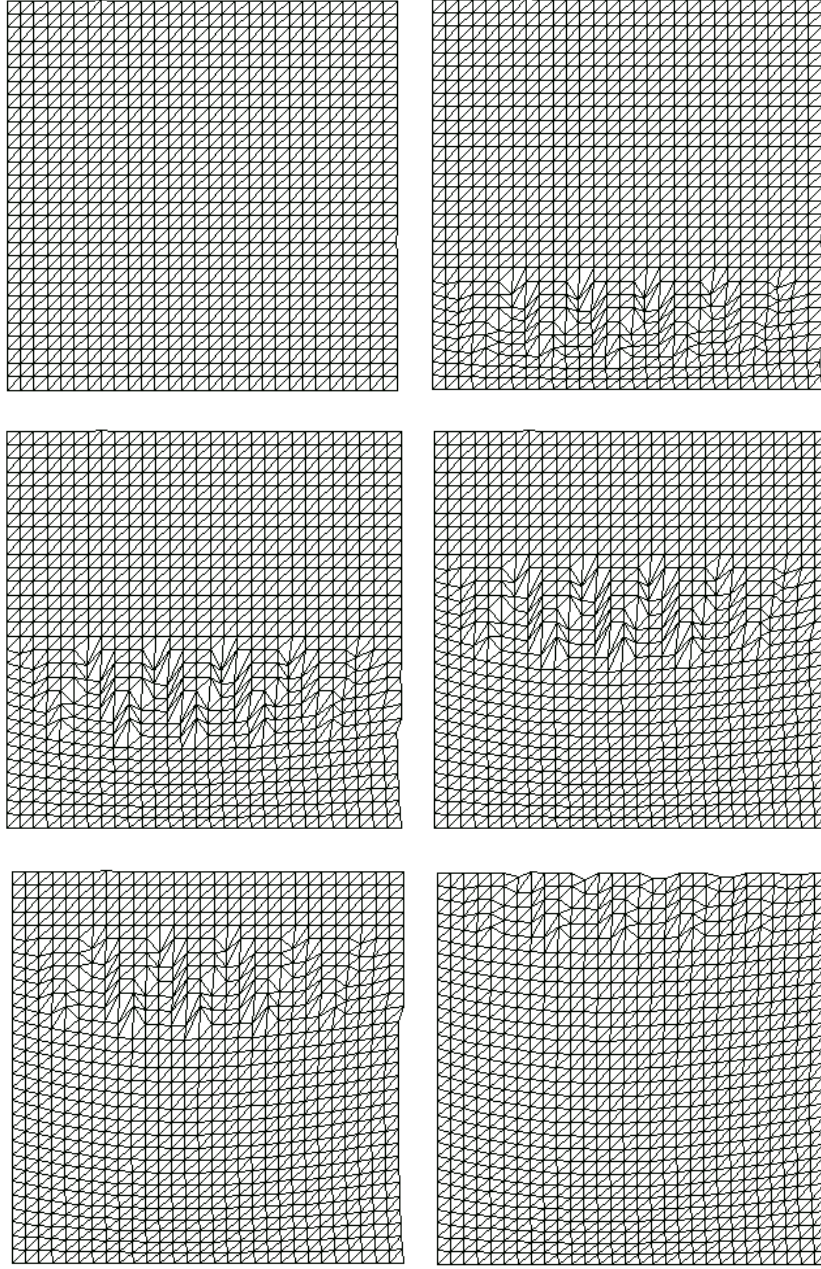
### 3. Hareketli Çözüm Ağı Üretimi

Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü için birçok sayısal yöntem geliştirilmiştir ve bu yöntemlerin her birinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Bu nümerik yöntemler problem tipi hakkındaki bilgiler kullanılarak seçilir. Özellikle, hareketli cepheler ve darbeler içeren kütlelerin korunumu kanunu gibi lineer olmayan problemlerin çözümünde bu nümerik yöntemler kullanılır. Bu tip problemlerde bazı bölgelerdeki çözüm yüksek çözünürlüğe sahip olabilmekte; bazı bölgelerde ise daha az çözünürlüğe sahip olmaktadır. İhtiyaç duyulan bu çözünürlük düğüm sayılarının artırılması veya uyarlamalı yöntemler kullanılarak elde edilebilir. Böylece çözümün hızla değiştiği bölgelerdeki düğüm sayısı artırılarak çözümün daha hızlı ve doğru yapılması sağlanır. Geliştirdiğimiz programda çözümün hızla değiştiği bölgeler daha fazla sayıda üçgen elemana bölünerek sonlu elemanlar analizinin daha hızlı ve doğru sonuca ulaşması sağlanabilmektedir. Aşağıda geliştirdiğimiz programın akış şeması ve örnek uygulamalar görülmektedir.



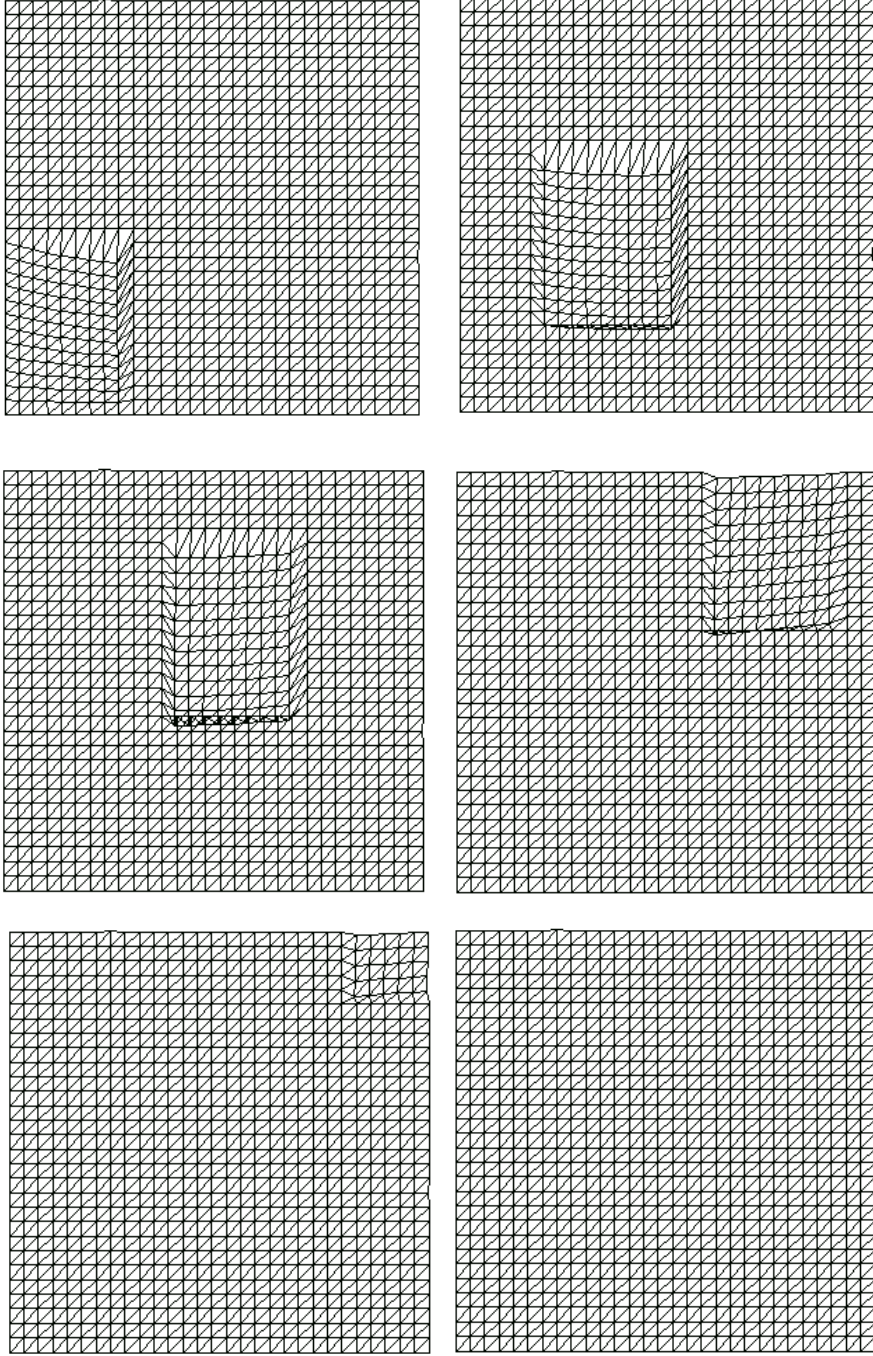
Şekil 13. Geliştirilen programın akış diyagramı

Şekil 14’de geliştirilen program yardımıyla elde edilmiş çözüm ağı üzerinde sinüs bir çizgi boyunca değişim görülmektedir. Burada kullanılan grid sayısı 841 dörtgen ve 1682 üçgen eleman vardır. Burada  $y = \sin(x)$  denkleminin belli bir kalınlıktaki kısmının etrafındaki değişim gösterilmiştir.



**Şekil 14.** Üretilen çözüm ağı üzerinde sinüs bir çizgi boyunca değişim

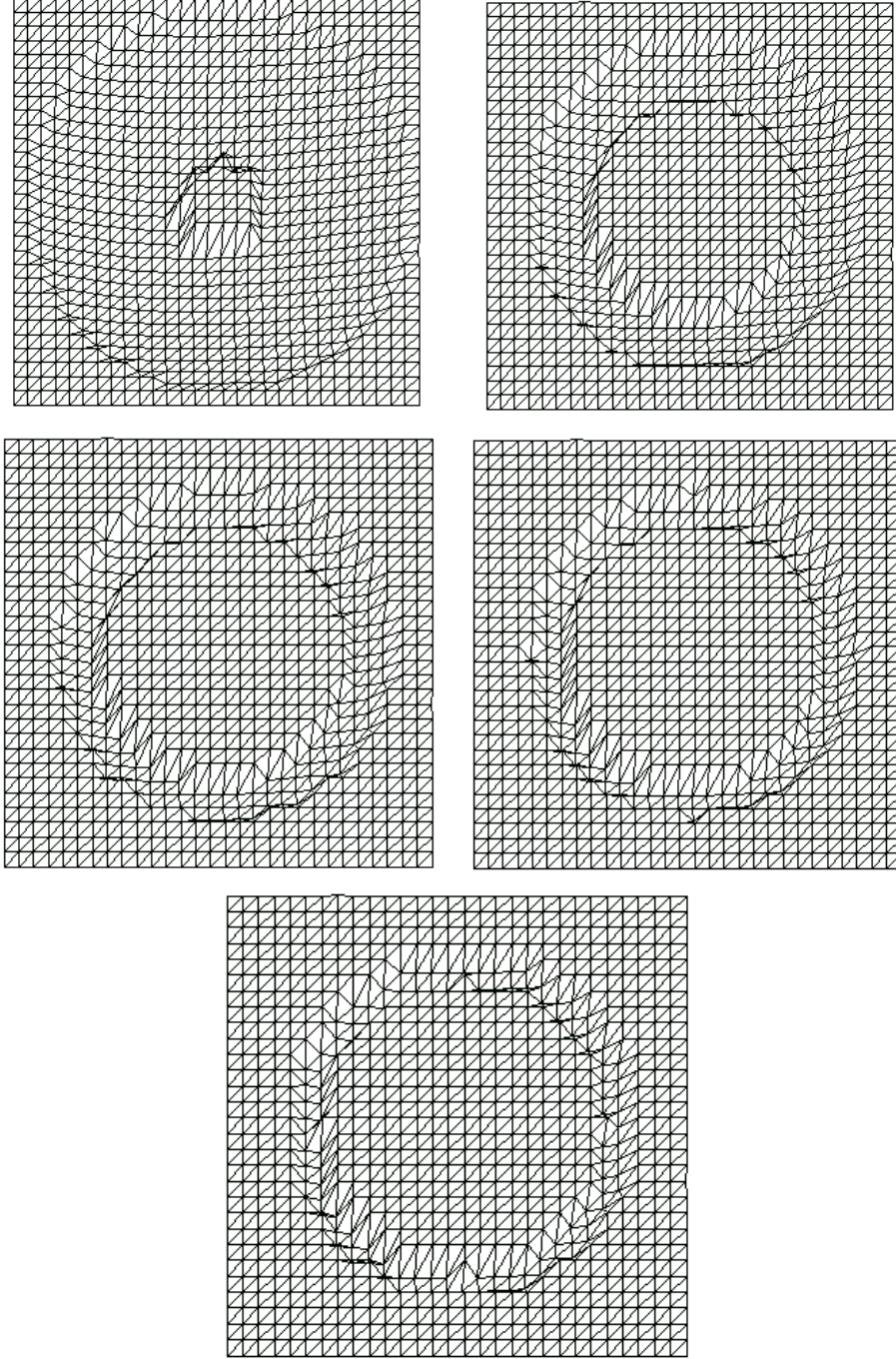
Şekil 15'de geliştirilen program yardımıyla elde edilmiş çözüm ağı üzerinde dikdörtgensel bir bölgedeki değişim görülmektedir. Burada kullanılan grid sayısı 841 dörtgen ve 1682 üçgen eleman vardır.



**Şekil 15.** Üretilen çözüm ağı üzerinde dikdörtgensel değişim

Şekil 16'da geliştirilen program yardımıyla elde edilmiş çözüm ağı üzerinde dairesel bir bölgedeki değişim görülmektedir. Burada kullanılan grid sayısı 841 dörtgen ve 1682 üçgen eleman vardır.





Şekil 16. Üretilen çözüm ağı üzerinde dairesel değişim

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada çözüm ağı üretim yöntemlerinden bahsedilerek geliştirilen program yardımıyla hareketli çözüm ağı üretim örnekleri verilmiştir. Bu sayede diferansiyel denklemin hızlı değiştiği bölgedeki eleman sayısı artırılarak daha doğru ve hızlı çözüme ulaşılabilmektedir. Özellikle elektrik makinalarının sonlu elemanlar analizi yapılırken elektrik alan şiddetinin, magnetik akının hızla değiştiği bölgelerde hareketli çözüm ağı elde edilerek sonlu elemanlar analizi yapılırsa daha doğru ve hızlı sonuçlar elde edilecektir.

Bundan sonraki çalışmalarda geliştirilen program yardımıyla zaman bağımlı olarak değişen bir diferansiyel denklemin hareketli çözüm ağı üretilerek sonlu elemanlar analizi yapılabilir ve klasik sonlu elemanlar analizi ile bulunan sonuçlar karşılaştırılabilir.

## Kaynaklar

1. Aydın M., Kuryel B., Gündüz G., Oturañ G. 2001. *Diferansiyel Denklemler ve Uygulamaları*, Barış Yayınları Fakülteler Kitabevi, İzmir.
2. Rannacher R. 2001. Adaptive Galerkin Finite Element Methods for Partial Differential Equations, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 128: 205-233.
3. Brenner S. 2002. *The Mathematical Theory of Finite Element Method*, Springer Verlag Press, Berlin.
4. Hughes T.R. 2000. *The Finite Element Method Linear Static and Dynamic Finite Element Method*, Dover Publications, New York.
5. Lo S.H. 2002. Finite Element Mesh Generation and Adaptive Meshing, *Prog. Struct. Analysis Materials*, 4: 381-399.
6. Delaunay B. 1934. Sur la Sphere Vide, *Bulletin de l'Académie des Sciences de l'URSS*, 1934: 793-800.
7. Lawson C.L. 1977. *Software for C1 Surface Interpolation*, *Mathematical Software III* 161-194, Academic Press, San Diego.
8. Baker T.J. 1989. Automatic Mesh Generation for Complex Three-dimensional Regions Using a Constrained Delaunay Triangulation, *Engineering with Computers*, 5: 161-175.
9. Zhu J.Z., Zienkiewicz O.C., Hinton E., Wu J. 1991. A New Approach to The Development of Automatic Quadrilateral Mesh Generation, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 32: 849-866.
10. Lee C.K. 2000. Automatic Metric Advancing Front Triangulation Over Curved Surfaces, *Engineering Computations*, 17 (1): 48-74.
11. Lo S.H. 1991. Automatic Mesh Generation and Adaptation by Using Contours, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 31: 689-707.
12. Shephard M.S., Georges M.K. 1991. Automatic Three-dimensional Mesh Generation by the Finite Octree Technique, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 32: 709-749.
13. Vello L., Zorin D. 2001. 4-8 Subdivision, *Computer Aided Geometric Design*, 18: 397-427.
14. Zienkiewicz O.C., Phillips D.V. 1971. An Automatic Mesh Generation Scheme for Plane and Curved Surfaces Isoparametric Coordinates, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 3: 519-528.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Biyogaz Üretimi İçin Ankara'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları**

Halil ŞENOL<sup>1\*</sup>, Emre Aşkın ELİBOL<sup>2</sup>, Ünsal AÇIKEL<sup>3</sup>, Merve ŞENOL<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Giresun Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Giresun

<sup>3</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas

<sup>4</sup>Balçak Anadolu Lisesi, İngilizce öğretmenliği Bölümü, Giresun

---

### **Özet**

Biyogaz üretimi enerji kazanımı ve organik atıkları bertaraf edilmesi açısından önemlidir. Bitkisel ve hayvansal organik atık maddeler, biyogaz üretimi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Dünya genelinde biyogaz üretiminde substrat olarak kullanılan organik atıklar ve endüstriyel atık sular bizim ülkemizde yeterince değerlendirilmemektedir. Ülkemizde tarımsal ve hayvancılık üretimlerinin sürekli olarak artmasıyla bu ürünlerin atıklarda artmaktadır. Aynı şekilde ülkemizde nüfusun sürekli artma eğiliminde olmasıyla organik atık miktarı da artmaktadır. Ülkemizde özellikle başkent Ankara ilinde organik atık potansiyelinin oldukça fazla olması nedeniyle biyogaz üretim potansiyeli dikkat çekmektedir. Bu çalışmada ülke nüfusunun büyük bir kısmını barındıran Ankara ilinin hayvansal atıklar, mutfak atıkları, atık su arıtma tesisi atıkları ve tarımsal atıkları dikkate alınarak bu atıklardan biyogaz üretim miktarı belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada Ankara'da organik atıklardan üretilebilecek teorik biyogaz enerji değeri m<sup>3</sup>/gün olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte hayvansal atıklardan 277.348 m<sup>3</sup>/gün, atık su arıtma çamurundan 515.220 m<sup>3</sup>/gün, tarımsal atıklardan 38.493 m<sup>3</sup>/gün ve mutfak atıklarından 160.380 m<sup>3</sup>/gün olarak bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Biyogaz, Ankara, Organik atıklar.

---

## **Major Organic Waste Sources in Ankara for Biogas Production**

---

### **Abstract**

Biogas production is important in terms of energy recovery and elimination of organic wastes. Organic wastes and industrial wastewater used as substrates in biogas production worldwide are not sufficiently evaluated in our country. In our country, agricultural and livestock production continuously increases with organic wastes. Similarly, the population of our country continuously tends to increase, thus the amount of organic waste is also increasing. Biogas production potential attracts attention due to the fact that the potential of organic waste in our country is very high especially in the capital city of Ankara. In this study, the amount of biogas production from these wastes was determined by considering the animal wastes, kitchen wastes, wastewater treatment plant wastes and agricultural wastes of Ankara, which has a large part of the country's population. As a result, the theoretical biogas energy value that can be produced from organic wastes in Ankara was evaluated as m<sup>3</sup> / day in this study. 277.348 m<sup>3</sup>/day from animal wastes, 9.789.180 m<sup>3</sup>/day from waste water treatment sludge, 38.493 m<sup>3</sup>/day from agricultural wastes, 160.380 m<sup>3</sup>/day from kitchen wastes have been found.

**Keywords:** Biogas, Ankara, Organic Wastes.

---

\*Sorumlu yazar: [halilsenol1990@hotmail.com](mailto:halilsenol1990@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 21/09/2017 Kabul Tarihi: 13/10/2017

## 1. Giriş

Hayatın başlangıcından bugüne kadar olan ve hep olması gereken enerji ihtiyacı, ilk ortaya çıkışından itibaren birçok yol almıştır. İnsanlar ilk zamanlarda kendi yaşamlarını doğal ortamda sürdürürken ihtiyaçlarını da doğal kaynaklardan sağlamışlardır. Kurutma ve ısıtma olaylarında ilk olarak güneş enerjisini kullanmışlardır. Daha sonra insanlar teknolojilerini geliştirerek doğada var olan enerji rezervlerini kullanmaya başlamışlardır. Bu rezervler; kömür, doğal gaz ve petroldür. Günümüzde ise nüfusun artması, sanayinin gelişmesi, kentleşme ve ihtiyaçlardaki çeşitliliğin artması insanlığın enerji ihtiyacını artırmıştır. Daha sonra insanlar doğası gereği üretim, yatırım, zenginleşme ve büyüme gibi bir takım olaylar peşinden koşmaya başlamıştır. Doğal enerji kaynaklarının hızlı ve fazla kullanılmasının sonucu olarak bu enerji kaynaklarının tükenme riski doğmuştur. Böylece hem doğal enerji kaynaklarının fiyatlarının yükselmesi hem de çevreye olan zararları neticesinde insanlar günümüzde yenilenebilir temiz enerji arayışı içerisine girmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının doğa ve insanlık için birçok avantajı bulunmaktadır. Bu enerjiler sürekli olarak tekrarlanabilir ve kaynağını sürekli olarak yenileyebilir niteliktedir. Bununla birlikte bu enerji kaynakları çevre dostu olmaları ve ekolojik dengeye katkı sağlamaları açısından doğal enerji kaynaklarına üstünlük kurmalarıdır [1].

Dünya ve ülkemizin nüfusu giderek artmasından dolayı enerji ihtiyacı da sürekli artma eğilimindedir. Enerji tüketimindeki bu artış mevcut olan doğal enerji kaynaklarını da hızla tüketmektedir. Şuanda dünyamız enerji ihtiyacının %29 kömür, %24,2 doğal gaz, %32,8 petrol, %4,5 nükleer, %6,8 hidro ve % 2,7 yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktadır [2]. Ülkemizde ise enerji ihtiyacı %28,5 petrol, %29,20 kömür, %32,5 doğal gaz, %2,8 hidro, geriye kalan %7 ise yenilenebilir ve diğer enerji kaynaklarından sağlamaktadır [3]. Ülkemiz enerji kullanımı bakımından sınırlı sayıda rezervlere sahiptir ve enerji kullanımının yaklaşık %60'ını dışarıdan ithal etmektedir. Fakat ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengindir ve yeterince değerlendirilmemektedir. Biyogaz enerjisi ise yenilenebilir enerjiler statüsünde olup ülkemizde oldukça büyük bir potansiyele sahiptir [4]. Türkiye'nin yıllık ortalama biyokütle potansiyeli tahmini olarak 109,4 milyon ton dur. Ülkemiz yıllık olarak ormanlarında atık olan biyokütle ( kabuk, yaprak, yonga, dal vb.) 5-7 milyon ton olduğu belirtilmiştir. Bu da ülkemizin organik atıklar bakımından aşırı zengin olduğunu desteklemektedir [5].

Türkiye'nin enerji tüketimi hızlı ekonomik gelişiminden dolayı sürekli artmaktadır. Türkiye'nin 2000 ve 2015 yılları arasındaki tükettiği enerji 2000 ile 2010 yılları arasındaki tükettiği enerjiden 5 kat fazladır [6]. Buda bize enerji tüketiminin arttığını ispatlamaktadır. Bu nedenle ülkemizin farklı enerji kaynaklarına yönelmesi gerekmektedir. Bu farklı enerji kaynaklarına alternatif bir kaynak biyogazdır. Çünkü biyogaz üretimi için ülkemiz oldukça elverişli ve zengin bir kaynağa sahiptir [7].

Biyogaz üretimi günümüzde yaygın olarak kentsel atık su arıtma tesislerinde ve artan şekilde tarımsal atıklar, hayvan endüstrisi atıkları gibi organik atıkları bertaraf etmek amacıyla kullanılmaktadır [8]. Biyogaz sistemi prosesleri petrokimyasal endüstrilerde yararlı kullanımları giderek artmaktadır. Ancak uygulamalar sonucunda kara ve suda kirlilik oluşturan işletmeleri temizleyecek kadar aktif değildir [9,10]. Petrokimyasal atık su artımları dünyada oldukça çeşitli ve karmaşık proseslerdir. Ancak bu proseslerden biyogaz üretimi çevre kirliliğini bertaraf etmesi açısından önem kazanmaktadır [11].

### 1.1. Biyogaz

Biyogaz içerisindeki gaz bileşimi yüzde hacimsel olarak ortalama; % 65 metan gazı (CH<sub>4</sub>), % 35 karbondioksit gazı (CO<sub>2</sub>), % 0,1-1 azot gazı (N<sub>2</sub>), % 0,01-0,2 oksijen gazı (O<sub>2</sub>) ve 10-4000 ppm hidrojen sülfür gazı (H<sub>2</sub>S) bulunmaktadır. Biyogaz karışımının içerisinde bulunan H<sub>2</sub>S kullanılan materyalin çeşitliliğine göre değişiklik göstermektedir. H<sub>2</sub>S yüksek oranda reaktif bir madde olduğu için reaktöre aktarım sırasında konsantrasyonu düşme eğilimi göstermektedir. Bu nedenle substrat hazırlama esnasında olabildiği kadar reaktöre yakın bir yerde hazırlamak gerekir. İçerdiği metan gazı, biyogazın ısı değerini oluşturan ana maddedir. 1 m<sup>3</sup> biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700

kcal'dir. Bu değer; 0,62 litre gaz yağı 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezek ve 4,70 kwh elektrik enerjisi eşdeğerindedir. 1 m<sup>3</sup> biyogaza eşdeğer yakıt miktarları ise 0,66 litre motorin 0,75 litre benzin 0,25 m<sup>3</sup> propan tarafından sağlanan enerjiye eş değerdir. Biyogaz; temel olarak organik atıklardan kullanılabilir gaz üretilmesini ifade eder. Başka bir deyişle oksijensiz ortamda metanojen bakterilerin uygun pH ve sıcaklıkta organik maddeleri karbondioksit ve metan gazına dönüştürmesidir [12].

Biyogaz sonucu açığa çıkan CH<sub>4</sub> gazı ideal bir gazdır. Düşük basınçlarda LPG gibi sıvılaştırılmaz. Sıvılaştırılması için 280-350 bar basınç gerekmektedir. Oksijensiz fermantasyon organik materyallerin oksijensiz ortamda yaşayabilen bakteriler tarafından bozunması olayıdır. Bu bozunma sonucu hem biyogaz hem de organik gübre elde edilmektedir [13]. Biyogaz, biyokütlenin işlenmesi sonucunda elde edilen yanıcı bir gazdır. Biyogaz, yanıcı diğer gazlardan (örneğin doğalgaz) farklı olarak sadece hayvansal veya bitkisel, yani organik hammaddelerden elde edilmektedir. Bu nedenle saflaştırılmış bir biyogaz doğal gaz enerjisinin yerini tutmaktadır. Biyolojik atıklar, gıda sanayii kaynaklı organik atıklar, organik mutfak atıkları, mısır veya şeker pancarı gibi enerji bitkileri ile hayvan besiciliğinde oluşan hayvansal dışkıları biyogaz tesislerinde substrat olarak kullanılabilir [14].

Biyogaz üretimi genellikle bazı bitki ve hayvan kökenli organik atıklar kullanılmaktadır. Bu atıklar; yemek ve gıda atıkları, bahçe atıkları, tarımsal atıklar, kentsel katı atıklar, hayvan gübreleri ve atıkları, atık su arıtma tesisi atıkları ve bazı endüstriyel atıklar ( deri, tekstil, gıda, orman vb.) dir [15].

Birçok ülkede biyogaz üretimi için biyogaz tesisleri planlanan amaca göre çeşitlilik göstermektedir. Biyogaz üretimi için biyogaz tesisleri kapasitelerine göre de çeşitlilik gösterir. Bu tesislerden 6-12 m<sup>3</sup> kapasiteli olanlara aile tipi, 50-150 m<sup>3</sup> kapasiteli olanlara çiftlik tipi, 100-200 m<sup>3</sup> kapasiteli olanlara ise köy tipi biyogaz tesisi denilmektedir. Fakat Almanya, Danimarka, İsveç ve Amerika gibi ülkelerde 1.000 – 10.000 m<sup>3</sup> kapasiteli sanayi tipi biyogaz tesisleri işletilmektedir [16]. Biyogaz oluşumunda tesis verimi; katı madde oranı, C/N oranı, basınç, karıştırma, pH, sıcaklık, yükleme oranı, toksik maddeler ve bekleme süresi gibi birçok bileşene bağlı olmaktadır. Bu bileşenler tesisin yapısına göre değişiklik göstermektedir [15].

Biyogaz kokusuz, renksiz ve parlak bir mavi renkte yanan ısı değeri yüksek olan bir gaz karışımıdır. Daha önceki yapılan çalışmalardan biyogazın bileşimi, ortamın sıcaklığı, gaz içerisindeki su içeriği, atıkların cinsi gibi birtakım faktörlerle değiştiği ortaya çıkmıştır. Biyogaz doğal gazın yerini tutabilen bir gazdır. LPG veya doğal gaz ile çalışan bütün cihazlarda küçük değişiklikler yapılarak rahatlıkla kullanılabilir [17].

**Tablo 1.** Biyogaz ve diğer gazların özellikleri

Yakıt	Isıl değeri (kJ/kg)	Yoğunluk	Hava-yakıt oranı (kg/kg)	Ateşleme sıcaklığı (°C)
Metan	50000	0,72 kg/ Nm <sup>3</sup>	17,2	650
Propan	46300	2,02 kg/ Nm <sup>3</sup>	15,6	470
Bütan	45600	2,70 kg/ Nm <sup>3</sup>	15,6	365
Benzin	43000	0,75 kg/ l	14,8	220
LPG	46000	0,54 kg/ l	15,5	400
Motorin	42500	0,85 kg/ l	14,5	220
Doğal Gaz	57500	0,83 kg/ Nm <sup>3</sup>	17,0	600
Biyogaz (%60 CH <sub>4</sub> , %40 CO <sub>2</sub> )	18000	1,2 kg/ Nm <sup>3</sup>	10,2	650

Yukarıdaki Tablo 1 de biyogaz ve diğer bazı gazların özellikleri verilmiştir. Tabloyu incelediğimizde biyogazın diğer yanıcı gazlara benzer özellikte olduğu görülmektedir [13].

## 1.2. Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi

Biyogaz oluşumu organik materyallerin oksijensiz fermantasyonu sonucunda oluşan ve içerisinde çoğunlukla CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> gazları bulunan ve hidrojen, azot gazı ve hidrojen sülfür içeren bir gaz karışımından oluşmaktadır. Organik maddelerin oksijensiz ortamda parçalanması ile oluşan biyogaz karışık ve çeşitli mikrobiyolojik flora tarafından sağlanmaktadır [18]. Oksijensiz fermantasyon sonucu oluşan biyogaz üç farklı aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar;

- Fermantasyon ve Hidroliz: Organik maddeler hidrolitik ve fermantatif bakteriler tarafından parçalayarak asetik asit, uçucu organik bileşenler ve karbondioksit oluşturmaktadır.
- Asetik asit oluşumu: Fermantasyon ve hidroliz aşaması sonucunda çıkan ve uçucu yağ asitlerini bir takım bakteri grupları asetik aside dönüştürür.
- Metan gazı oluşumu: Oksijensiz fermantasyonun son aşamasıdır. Bu aşamada metan bakterileri, asetik asit oluşumu aşamasında oluşan ürünleri metan, karbondioksit ve su gibi ürünlere dönüştürür. Bu aşamanın sonucunda biyogaz oluşumu tamamlanır [19].

## 1.3. Türkiye’de Biyogaz

Türkiye’de biyogaz üretimi ile ilgili ilk çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Su Araştırma Enstitüsünde başlamıştır. 1960’larda bazı çalışmalar yapılarak Devlet Üretme Çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur. Bunun sonucu olarak Tarım Bakanlığına bağlı olarak 1963 yılında başlatılan çalışmalarda 5 tanesi Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsüne, 2 tanesi Eskişehir’in köylerinde biride çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Bu tesislerin bir kısmından verimli bir kısmından verimsiz sonuçlar alınmıştır. Buna rağmen yönetimlerin biyogaz üretimine sıcak bakmamaları, teknik eleman bulunmaması, çiftçilerin yeterince eğitilmemesi gibi nedenlerden dolayı çalışmalara son verilmiştir. Ancak 1980 sonrasında UNICEF’in hem finansal hem de teknik bilgi yönünden desteklediği biyogaz üretim çalışmaları DPT tarafından başlatılmıştır. İlk çalışmalar Muş-Alparslan Devlet Üretme Çiftliğinde 35 m<sup>3</sup> lük bir tesis kurularak başlamıştır. 1982 yılında konuyla ilgili sorumluluk Toprak Su Araştırma Enstitüsüne verilmiş ve devletin köylülere sağladığı krediyle 6, 8, 12 ve 50 m<sup>3</sup> lük olmak üzere toplam 1000’e yakın biyogaz tesisi kurulmuştur. 2000’li yıllarda ise biyogaz üretimi çalışmalarına özellikle üniversitelerin önderlik ettiği araştırma projeleri olmuştur [13]. 2010 yılında ise Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile Almanya Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı ile yapılan bir biyogaz tesisi için imzalar atılmıştır. 1200 baş hayvancılık yetiştirilen tesiste biyogaz üretimi için gerekli tesisin bütün enerji ihtiyacının karşılanacağı belirtilmiştir. Aynı zamanda biyogaz üretimi sonucunda fermente olan gübre, tesisin çiftlik arazilerinde bitki yetiştirmek için gerekli yeterliliği karşıladığını vurgulanmıştır. Ülkemizde diğer biyogaz tesisleri olarak 5 adet 15 m<sup>3</sup> lük ve 2 adet 22 m<sup>3</sup> lük tesis Kayseri’de, 15 m<sup>3</sup> lük 1 adet Konya’da, 22 m<sup>3</sup> lük 1 adet gediz gölcük köyünde ve 280 m<sup>3</sup> lük 1 adet Elazığ’da bulunmaktadır [20].

## 1.4. Ankara’da Biyogaz

Ankara’da 2016 yılında Elmadağ ilçesinde 6 MW’lık bir biyogaz üretim tesisi kurulacağına dair anlaşmalar imzalanmıştır. Tesisin yaklaşık 196.700 metre karelik arazi üzerine kurulacağı planlanmaktadır. Proje maliyeti olarak 54.810.980 TL hesaplanmıştır. Bu proje kapsamında Elmadağ ve Akyurt ilçesinde biyogaz üretiminde hayvan gübrelereinden faydalanılacaktır. Bu hayvanlar ağırlıklı olarak büyükbaş hayvan, hindi ve tavuktur. Proje kapsamında biyogaz tesisine günde 800-1200 ton taze büyükbaş hayvan gübresi, sebze ve meyve artıkları, tavuk ve hindi gübrelere kullanılabilecektir. Üretimin sonucunda yan ürün olarak organik gübre üretileceği belirtilmiştir [21].

2014 yılında Ankara’nın Beypazarı ilçesine kurulan bir biyogaz tesisi tavuk gübresi kullanarak metan biyogaz üretmeye başlamıştır. Kurulan tesiste saatte 2,5 MW elektrik enerjisi üretilmiştir. Bu üretimin yanında ısı ve organik gübre üretildiği belirtilmiştir [22].

Ayaş ilçesinde 2017 yılında Invest Trading Consulting- Katı atık (ITC-KA) Enerji tesisi tarafından sunulan organik ve mekanik atıklardan elektrik üretilmek üzere kurulacak olan 250 MW'lık bir tesis halkın görüşüne sunulmuştur [23].

## 2. Materyal ve Metot

Biyogaz üretimi gerçekleştirilirken birçok organik madde kullanılır. Bu maddeler; hayvansal atıklar, bitkisel atıklar, organik atık içeren mutfak atıkları, şehir ve endüstriyel atıklardır. Biyogaz üretimi yapılırken üretim tesisinde bazı teknik özelliklere dikkat edilmelidir. Çünkü teori ile uygulama her zaman aynı sonucu vermeyebilir. Bunun için bir biyogaz üretim tesisinin ekonomik açıdan uygun olabilmesi için ne kadar miktarda organik atık madde miktarına gerek olduğunu, işletme büyüklüklerini, işletme tiplerini dikkate alarak potansiyel hesaplamaları yapmak gerekmektedir [24].

Biyogaz üretim potansiyeli belirlenirken Ankara ilinin 2017 yılında toplam atık su arıtma tesisi atıkları, tarımsal atıkları, mutfak atıkları ve toplam hayvan atıkları dikkate alınarak yapılacaktır.

**Tablo 2.** Bazı organik atıkların biyogaz verimi

Organik madde cinsi	Biyogaz verimi (m <sup>3</sup> /ton)	Kaynak
Katı sığır gübresi	45	[25]
Mutfak atıkları	30	[26]
Küçükbaş hayvan gübresi	60	[19]
Kümes hayvanı gübresi	70-90	[27]
Atık su arıtma çamuru	310-800	[13]
Yemek atıkları	50-480	[26]
Sebze ve meyve atıkları	45-110	[25]
Tarımsal atıklar	20	[27]
Kanatlı gübresi	310-620	[19]
Şeker pancarı küspesi	147,1	[28]

Yukarıdaki Tablo 2 de bazı organik atıkların ton başına biyogaz üretim değerini vermiştir [25,26].

Tablo 2 verilerine baktığımızda ton başına mutfak atıklarından ortalama 30 m<sup>3</sup>, tarımsal atıklardan 20 m<sup>3</sup> ve atık su arıtma çamurundan en az 310 m<sup>3</sup> biyogaz üretildiği vurgulanmıştır.

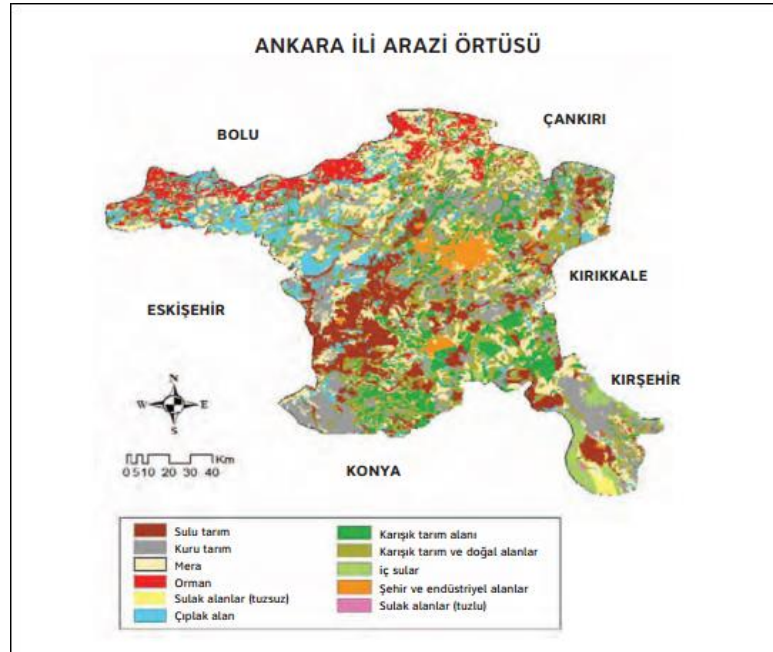
### 2.1. Ankara'nın Tarımsal Atıkları

Ankara'da tarım alanı birçok tarla ürünlerine dayanmaktadır [29]. Ankara geniş ekim alanına sahiptir. Buğdaydan başka, yulaf, arpa, baklagiller, sanayi bitkileri, şeker pancarı, yumru bitkiler, sebze ve meyve çeşitleri, patates gibi ürünler yetişmektedir. Sakarya ve buna dökülen akarsuların vadilerinde pirinç ekilir. Armudu ve üzümü Ankara'da meşhurdur. Polatlı, Haymana, Ş. Koçhisar, Bala ve Çubuk'ta buğday ekimi yaygındır. Arpa, yulaf, şekerpancarı, kavun, karpuz ve sebze üretimi de tarımda önemli yer tutar. Meyvecilik pek yaygın değildir, fakat armut, elma, kayısı, kiraz, vişne, erik ve ceviz gibi meyveler yetiştirilir. En çok yetiştirilen meyve ise üzümdür. Üretilen bu ürün miktarları aşağıdaki Tablo 3. de verilmektedir.

**Tablo 3.** Ankara'nın 2015 yılında tarımsal ürün miktarı

Tarımsal ürün	Miktarı (ton)
Buğday	1.150.555
Arpa	688.728
Şeker pancarı	475.070
Mısır	226.916
Ot	209.996
Soğan	322.604
Kavun	165.259
Kimyon	9.306
Karpuz	111.178
Havuç	127.750
Domates	118.998
Armut	15.663
Üzüm	28.590
Vişne	18.732
Elma	31.200
<b>Toplam</b>	<b>3.700.545</b>

Yukarıdaki Tablo 3 de Ankara ilinin toplam tarımsal ürün miktarları verilmiştir. Ankara' da toplam tarım arazi alanı 12.241.704 dekadır [30,31].

**Şekil 1.** Ankara ilinin yüzölçümüne göre tarım alanları

Ankara'da üretilen tarımsal ürünlerin coğrafi dağılımı yukarıdaki Şekil 1 de verilmiştir. Şekil 1 den anlaşıldığı üzere Ankara'nın tarım alanları neredeyse her yerinde mevcuttur. Tarımsal üretimde en fazla yıllık 1.150.555 ton üretimle buğday gelmektedir.



**Tablo 4.** Ankara’da en çok yetişen tarla bitkilerinin organik atık miktarı

<b>Tarımsal Bitki</b>	<b>Organik Atık Miktarı (Kg/ Dekar)</b>
Buğday	37
Arpa	36
Çavdar	37
Ayçiçeği	86
Şeker pancarı	87
<b>Ortalama değer</b>	<b>56,6</b>

Yukarıdaki Tablo 4 de bazı tarımsal ürünlerin dekar başına ürettikleri organik atıkların değerleri belirtilmiştir [27]. Yukarıdaki Tablo 4 de Ankara’da en çok yetişen bitkilerin dekar başına atık miktarı kg cinsinden verilmiştir. Tarımsal atıklardan biyogaz üretimi hesaplamaları yapılırken dekar başına ortalama değer olan 56,6 kg atık dikkate alınacaktır.

## 2.2. Ankara’nın Mutfak Atığı

Günümüzde her evde tüketim sonucunda bazı organik atıklar oluşmaktadır. Oluşan bu organik atıklar çöpe gönderilir. Çöplerde biriken bu atıklar yer kaplaması ve koku gibi birtakım çevre problemleri yaramaktadır. Bu organik atıklar çöpe gönderilme yerine evde biriktirilmesiyle gaz üretiminde kullanılarak çevreye ve ev bütçesine katkı sağlanabilir [32].

Bir yörenin mutfak atığı hesaplanan verilere göre kişi başına mutfak atık değeri yaklaşık 1 kg dır [26]. Bu atığın % 60’ı organik atıktır. Ankara’nın toplam 2017 nüfusu 5.346.518’dir [33]. Bu verilere göre toplam mutfak atıklarından elde edilebilecek sonuçlar rahatlıkla hesaplanabilmektedir. Toplam mutfak atık potansiyeli yaklaşık olarak 5,346 megatondur.

Ankara’da kentsel katı atıkların değerlendirilmesine yönelik bazı bölgelerde ve ilçelerde biyogaz üretimi yapılmakta ancak bu atıklar yeterince değerlendirilmemektedir. Mamak çöplüğüne kurulan bir biyogaz tesisi 38,6 MW/saat elektrik üretmektedir [34]. Bu üretim ile Ankara ilinin elektrik ihtiyacının %7 si karşılanmaktadır. Ancak Ankara’nın bütün ilçelerindeki çöplükler bu potansiyele sahiptir.

## 2.3. Ankara’nın Atık su Arıtma Çamuru Potansiyeli

Biyogaz üretimi amaçlı kullanılan organik maddelerden biride atık su arıtma çamurudur. Atık su endüstriyel, kentsel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucu kirlenmiş ve özellikleri kısmen değişmiş sudur. Atık su arıtma çamuru yüksek miktarlarda organik madde, besin maddeleri ve patojen bakteriler içermesi nedeniyle atık suların arıtılması önem kazanmaktadır. Atık su arıtma çamurunun ısıl değeri çamurun tipine ve içerdiği organik madde miktarına bağlıdır. Evsel atık su arıtma tesisinde kişi başı gaz miktarı 15-22 litre/ kişi.gün olarak değişmektedir. Oluşan gazın metan yüzdesi % 65 olup enerji değeri 22,4 MJ/ m<sup>3</sup>’dür [35].

Örnek olarak atık su arıtma tesisinde dekantöre giren çamurun büyük bir kısmı su olup, Kuru Madde Miktarı (KMM) tipik olarak % 1-5 arasındadır [36]. Bu değerlerin ortalaması alınırsa %3 diyebiliriz. Belediye arıtma tesisleri genel olarak 100 litre kanalizasyon suyunu 1-2 litrelik çamura çevirerek arıtma yaparlar. Kirlenmeye sebep olan maddelerin sudan alınmasıyla oluşan geriye kalan kısım atık çamurdur. Diğer organik atıklardan farklı olarak bu atıkların yok edilmesi veya bertaraf edilmesi çok zordur ve pahalıya gelmektedir [37].

**Tablo 5.** Ankara’da Atıksu arıtma tesisleri ve kapasiteleri

<b>Atıksu arıtma tesisi</b>	<b>Kapasitesi (m<sup>3</sup>/gün)</b>
Tatlar Atık Su Arıtma Tesisi	765.000
Çubuk Atık Su Arıtma Tesisi	19.200
Karaköy Atık Su Arıtma Tesisi	42.000
Kalecik Atık Su Arıtma Tesisi	2.500
Ayaş-Sinanlı Atık Su Arıtma Tesisi	6.500
Elmadağ Atık Su Arıtma Tesisi	8.700
Kahraman Kazan Atık Su Arıtma Tesisi	10.300
Paket Atık Su Arıtma Tesisleri	Değişken
Hasan Oğlan Atık Su Arıtma Tesisi	3.000
Lalahan Atık Su Arıtma Tesisi	1.500
<b>Toplam</b>	<b>858.700</b>

Yukarıdaki Tablo 5 de gösterildiği üzere Ankara’da toplam günlük en az 858.700 m<sup>3</sup> su arıtılmaktadır. [38]. Atık su arıtma tesisi çamurlarının alternatif kullanım alanları olarak; toprağa serme, yakma, gazlaştırma, depolama ve biyometan oluşturmaktır. Bunların en avantajlısı ve en verimlisi olarak biyometan elde edilmesidir.

#### 2.4. Ankara’nın Hayvancılık Potansiyeli

Hayvansal atıklar; sığır, at, koyun, keçi, kanatlı hayvan ve domuz gibi hayvanların gübreleri, mezbaha artıkları, hayvansal ürünlerin işlenmesi esnasında meydana gelen atıklardır. Biyogaz tesis kurulumları ve projeleri değerlendirilmesi yapılırken önce potansiyel değer hesaplanmalıdır. Bunun için gerekli ön çalışma ilk olarak tesisin hangi organik madde ile çalışacağını tespit etmektir [39]. Bunun için tesiste kullanılacak hayvanın günlük gübresi ve bu gübreden elde edilebilecek biyogaz miktarı hesaplanmalıdır. Günlük ortaya çıkan gübre miktarı hayvanların gübre verimleri cinslerine göre değişik miktarlarda olmaktadır. Gübre miktarları teorik olarak büyük baş hayvanlarda canlı ağırlığının günlük %5-6’sı kadar, küçükbaş hayvanlarda ise canlı ağırlığının %4-5’i kadar ve kanatlı hayvanlarda ise canlı ağırlığının % 3-4’üdür. Ancak hesaplamalarda ortalama değer olarak kabul edilen standartlar ise Tablo 6 da belirtilmiştir [40].

**Tablo 6:** Bir adet hayvan cinsinin yaş gübre miktarları ve biyogaz potansiyelleri

<b>Hayvan cinsi</b>	<b>Yaş gübre miktarı (ton/yıl)</b>	<b>Biyogaz verimi (m<sup>3</sup>/ton)</b>
Büyükbaş hayvan	3,6	33
Küçükbaş hayvan	0,7	58
Kanatlı hayvan	0,022	78

Hayvan gübresinden dikkat edilmesi gereken diğer durumlardan biri ise hayvan gübrelerinin değişik sıcaklıklarda optimum bekleme süreleri ve biyogaz üretim verimidir. Biyogaz üretiminde ortam sıcaklığı önemlidir. Bu sıcaklığın en verimli olduğu değer 30-39 °C’dir. Isıtma olmadan özellikle kış aylarında sıcaklığın bu değere ulaşması mümkün değildir. Sıcaklığın 10 °C’ nin altına düşmesi durumunda biyogaz üretimi durur. Buna göre; optimum sıcaklık korunmadığı takdirde, daha düşük sıcaklıklarda biyogaz üretim verimlerinde azalma olduğu görülmektedir [19].

**Tablo 7:** 2016 yılı Ankara ilinin bazı hayvanların sayısı

<b>Hayvan cinsi</b>	<b>Hayvan sayısı</b>
Sığır	363.722
Manda	1.311
<b>Toplam Büyükbaş</b>	<b>365.033</b>
Koyun	991.413
Keçi	193.891
<b>Toplam Küçükbaş</b>	<b>1.185.304</b>
<b>Toplam Tavuk</b>	<b>4.862.862</b>

Yukarıdaki Tablo 7 de Ankara'da TÜİK verilerine göre kayıtlı büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayısı verilmiştir. Bu verilere göre Ankara'da toplam 6.413.199 tane hayvan vardır [31].

1 m<sup>3</sup> biyogazın değeri yaklaşık olarak 4,7 kwh olarak belirlenmiştir 2016 enerji değeri hesabına göre içerisinde %55-60 CH<sub>4</sub> içeren bir biyogazın 1 m<sup>3</sup> değeri ortalama 1,41 TL değerindedir [41].

### 3. Bulgular ve Tartışma

**Tablo 8.** Ankara'nın günlük bazı organik atık miktarları

<b>Organik atık cinsi</b>	<b>Toplam organik atık miktarı (ton/gün)</b>
Tarımsal Atıklar	1.924
Mutfak Atıkları	5.346
Atık su Arıtma Çamuru Atıkları	858.700
Hayvansal Gübre Atıkları	6.252
<b>Toplam</b>	<b>872.222</b>

Yukarıda ki Tablo 8 de Ankara ilinin toplam organik atıkları verilmiştir. Ankara'nın en çok atık potansiyeli atık su arıtma çamurudur.

Tarımsal atıklardan biyogaz üretim potansiyeli hesaplamaları yapılırken önce Ankara'da yetişen buğday, arpa ve şeker pancarı ürünleri için Tablo 4 deki teorik değerler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Diğer meyve ve sebze gibi organik atıklarla hesaplama yapılırken ortalama değer dikkate alınmıştır. Ankara'nın toplam tarım alanı 12.241.704 dekadır. Buda toplam yüzeysel alanın %49 una eşittir [42]. Ankara'nın ortalama dekar başına 56,6 kg organik atık oluşturduğunu kabul edersek, yapılan hesaplamalar doğrultusunda yaklaşık yıllık olarak 692.880 ton tarımsal atık elde edilmektedir. Bu atıkların bir kısmı yakılarak değerlendirilse de diğer kısmı atık olarak çevreye zarar verici niteliktedir. Tablo 2 den verilen bilgilere göre 1 ton tarımsal atıktan 20 m<sup>3</sup> biyogaz üretilebileceği vurgulanmıştır. O halde Ankara'nın tarımsal atıklarından senelik elde edilebilecek biyogaz miktarı teorik olarak:  $20 \times 692.880 = 13.857.600$  m<sup>3</sup>/yıl bulunmaktadır. Bu değer de 38.493 m<sup>3</sup>/gün biyogaz üretimine denk gelmektedir.

Mutfak atıklarından biyogaz üretimi hesaplamaları yapılırken kişi başına düşen günlük mutfak atık miktarı ortalama 1 kg kabul edilmektedir. Tablo 2 verilerine göre ortalama 1 ton mutfak atığından 30 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilmektedir. Ankara'da günlük toplam mutfak atık potansiyeli ortalama 5.346.518 kg'dır. Bu değer yaklaşık 5.346 ton değerine karşılık gelmektedir. O halde toplam biyogaz üretim miktarı teorik olarak:  $5.346 \times 30 = 160.380$  m<sup>3</sup>/gün'dür.

Atık su arıtma çamurundan biyogaz üretimi hesaplamaları yapılırken atık su hacmindeki ortalama kuru madde miktarı %1-5 arasında değiştiği vurgulanmıştır. Hesaplamalar yapılırken bu değer ortalama miktarı % 3 olarak kabul edebiliriz. Ankara'da her gün ortalama 858.700 ton atık su arıtılmaktadır. Bu atık suyun  $858.700 \times 0,03 = 25.761$  ton/gün atık su arıtma çamuru elde edilir. Tablo 2 verilerine göre 1

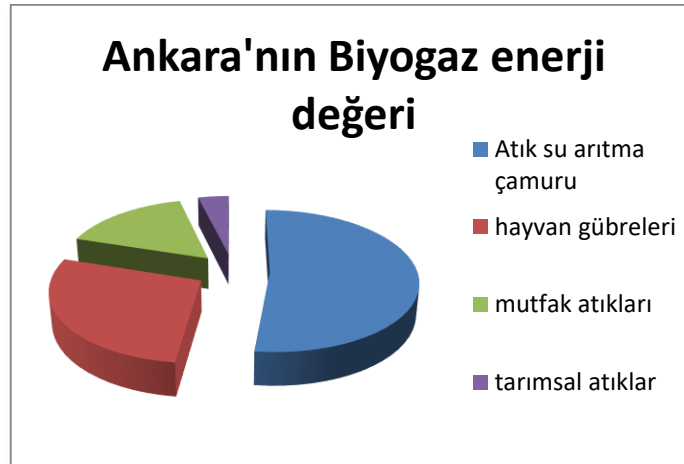
ton atık su arıtma çamurundan toplam 380 - 800 m<sup>3</sup> biyogaz üretilir. Ancak atık su arıtma tesislerinde atık su arıtma çamurundan biyogaz üretimi yapılırken herhangi bir içten ısıtılmalı reaktör kullanılmazsa bu verim yaklaşık %10 katına düşer. Aynı şekilde deneysel olarak atık su arıtma çamurlarından üretilen biyogaz miktarı teorik değerinden farklı olabilmektedir. Ancak bazı çalışmalarda bir ton arıtma çamuru başına yaklaşık biyogaz verimi 10-30 m<sup>3</sup> olmuştur. Ancak bu değeri ortalama 20 m<sup>3</sup> almak mümkündür. Bu veriye göre Ankara'da günlük atık su arıtma çamurundan üretilebilecek biyogaz miktarı teorik olarak en az: 25.761 x 20 = 515.220 m<sup>3</sup>/gün dür.

Ankara'nın hayvancılık atıklarından elde edilebilecek biyogaz miktarı hesaplamalarında Tablo 6 verilerine göre 1 ton yaş gübre başına büyükbaş hayvandan 33 m<sup>3</sup>, bir küçükbaş hayvandan 58m<sup>3</sup> ve bir kanatlı hayvandan 78 m<sup>3</sup> biyogaz elde edildiği vurgulanmıştır. O halde toplam büyükbaş hayvanlardan elde edilebilecek atık miktarı: 3,6 x 365.033 = 1.314.118 ton/yıl atık elde edilir. Aynı şekilde küçükbaş hayvanlardan senelik: 0,7 x 1.185.304 = 829.712 ton/yıl yaş gübre elde edilir. Aynı şekilde Ankara'da toplam tavuklardan senelik: 4.862.862 x 0,022 = 106.982 ton/yıl yaş atık elde edilir. O halde toplam biyogaz potansiyeli büyükbaş hayvanlardan: 1.314.118 x 33 = 43.365.894 m<sup>3</sup>/yıl, küçükbaş hayvanlardan 829.912 x 58 = 48.134.896 m<sup>3</sup>/yıl, kanatlı hayvanlardan ise 106.982 x 78 = 8.344.596 m<sup>3</sup>/yıl biyogaz elde edilir. Bu verilere göre Ankara ilinde toplam hayvan yaş gübresinden elde edilebilecek biyogaz miktarı: 99.845.386 m<sup>3</sup>/yıl bulunur. Bu değer yaklaşık olarak 277.348 m<sup>3</sup>/gün değerine karşılık gelmektedir.

**Tablo 9.** Ankara'nın günlük biyogaz potansiyeli

Organik atık	Biyogaz potansiyeli (m <sup>3</sup> /gün)
Atık su arıtma çamuru	515.220
Hayvan gübreleri	277.348
Mutfak atıkları	160.380
Tarımsal atıklar	38.493
<b>Toplam</b>	<b>991.441</b>

Yukarıda ki Tablo 9 da Ankara ilinin hesaplanan organik atıklardan oluşan biyogaz potansiyeli verilmiştir.



**Şekil 2.** Ankara'nın bazı organik atıklara göre biyogaz enerji dağılımı

Yukarıda Şekil 2 ye bakıldığında Ankara ilinde en çok biyogaz üretiminin atık su arıtma tesislerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu atıklardan elde edilen biyogaz miktarının enerji getirisini hesaplamak gerekirse atık su arıtma çamurundan: 515.220 x 1,41 = 726.460 TL/gün, hayvansal atıklardan 277.348 x 1,41 = 391.060 TL/gün, mutfak atıklarından 160.380 x 1,41 = 226.135 TL ve tarımsal atıklardan ise 38.493 x 1,41 = 54.275 TL/ gün elde edilir. Toplam 1.397.930 TL/gün kazanılmış olur.

**Tablo 10.** Ankara'nın organik atıklardan sağlanabilecek elektrik enerji potansiyeli

<b>Organik atık</b>	<b>Elektrik enerji potansiyeli (MWh/gün)</b>
Atık su arıtma çamuru	2.421
Hayvan gübreleri	1.303
Mutfak atıkları	753
Tarımsal atıklar	181
<b>Toplam</b>	<b>4.658</b>

Yukarıdaki Tablo 10 da Ankara'da bazı organik atıkların biyogaz enerjisinden sağlayabileceği elektrik enerji miktarları verilmiştir. Ankara'nın 1 günlük elektrik enerji miktarı yaklaşık olarak 21.496 MWh dir [43].

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Şekil 2 ye bakıldığında Ankara'da bazı organik atıklardan üretilebilecek biyogaz enerji değeri verilmiştir. Sonuçlar kısmına bakıldığında Ankara'da bazı organik atıklardan üretilen toplam biyogaz miktarı 991.441 m<sup>3</sup>/ gün dür. Bu değer de toplam 1.397.930 TL/gün değerine karşılık gelmektedir. Aynı zamanda Ankara'nın günlük elektrik tüketimi 211.496 MWh olduğu sonuçlar kısmında vurgulanmıştır. Tablo 11 de hesaplanan organik atıkların günlük elektrik enerji kazancı ise 4.658 MWh değerindedir. Bu değer Ankara'nın günlük enerji ihtiyacının yaklaşık % 21,66'sını karşılamaktadır. Bu değerler göz önünde bulunduğunda Ankara ilinin keşfedilmemiş bir biyogaz enerji değeri vardır. Ankara'da biyogaz üretim tesisleri vardır fakat yeterli değildir. Böylece potansiyeldeki hesaplamalar dikkate alınarak özellikle atık su arıtma tesislerinde biyogaz üretim tesislerinin oluşturulması gerekmektedir.

Biyogaz üretimi yenilenebilir enerji statüsünde bulunmaktadır. Ülkemiz enerji üretimi açısından ürettiği enerjinin yaklaşık 3 katını tüketen bir ülkedir. Bu nedenle dışa bağımlı bir ülke haline gelmiştir. Bu nedenle özellikle ülke olarak yenilenebilir statüde enerji kaynakları aramız ve bunun yanında bu kaynaklara verilecek önemi artırmalıdır. Ankara oldukça fazla bir organik atık kapasitesine sahiptir ve bu organik atıkları değerlendirmek ve temiz enerji elde etmek için biyogaz üretimi çalışmalarına önem vermek gerekmektedir.

Organik atıklardan üretilen biyogazın enerji değeri hesaplanırken, yapılan hesaplamalarda maliyet giderleri hariç tutulmuştur. Çünkü maliyet tasarımı tesisin yerine, durumuna ve yıllık kullanımına bağlı olarak değişmektedir.

## Kaynaklar

1. Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Tarımsal Atıklar. 2010. [http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji\\_kongresi\\_11/49.pdf](http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/49.pdf) (Erişim tarihi: 24.04.2017).
2. Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı. 2015. *Ham Petrol ve Sektör Raporu*, Türkiye.
3. ETKB. 2014. [www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr) (Erişim tarihi: 24.04.2017).
4. Kaya D., Çağman S., Eyidoğan M., Aydoğan C., Çoban V., Tırıs M. 2009. Türkiye'nin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Enerjisi ve Ekonomisi, *Atık Teknolojileri Dergisi*, 1: 48-51.
5. Sümer S.K., Kavdır Y., Çiçek G. 2016. Türkiye'de Tarımsal ve Hayvansal Atıklardan Biyokömür Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi, *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19 (4): 379-387.
6. Onurbaş Avcioğlu A., Türker U. 2012. Status and Potential of Biogas Energy From Animal Wastes in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012): 1557-1561.
7. Haak L., Roy R., Pagilla K. 2015. Toxicity and Biogas Production Potential of Refinery Waste Sludge for Anaerobic Digestion, *Chemosphere*, 144 (2016): 1170-1176.
8. Diya'uddeen B.H., Daud W.M.A.W., Aziz A.R.A. 2011. Treatment Technologies for Petroleum Refinery Effluents: A Review, *Process Safety and Environmental Protection*, 89: 95-105.
9. Coates J.D., Anderson R.T., Woodward J.C., Phillips E.J., Lovley D.R., 1996. Anaerobic Hydrocarbon Degradation in Petroleum-contaminated Harbor Sediments Under Sulfate-reducing and Artificially Imposed Iron-reducing Conditions, *Environmental Science & Technology*, 30 (9): 2784-2789.
10. Haritash A.K., Kaushik C.P., 2009. Biodegradation Aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A Review, *Journal of Hazardous Materials*, 169 (1): 1-15.
11. Masten S.J., Davies S.H. 1997. Efficacy of In-situ for the Remediation of PAH Contaminated Soils, *Journal of Contaminant Hydrology*, 28 (4): 327-335.
12. Gül N. 2006. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Isparta.
13. Koçar G., Eryaşar A., Ersöz Ö., Arıcı Ş., Durmuş A. 2010. *Biyogaz Teknolojileri*, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
14. Ojolo S.J., Oke S.A., Animasahun B.K., Adesuyi B.K. 2007. Utilization of Poultry, Cow and Kitchen Wastes for Biogas Production: A Comparative Analysis, *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 4 (4): 223-228.
15. Çağlayan G.H., Koçer N.N. 2014. Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretimine Araştırılması, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 215-220.
16. Okay B., Oktan P., Filiz, M., 1983. *Biyogaz Tesisi Kullanma Rehberi*, Türk Hükümeti-UNICEF Ortak Biyogaz Projesi T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Biyogaz Projesi Yayınları, Ankara.
17. Koca A. 2007. Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı: Biyogaz, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırma Dergisi*, 3: 129-137.
18. Myinta M, Nirmalakhandanb N, Speece R.E.2007. Anaerobic Fermentation of Cattle Manure: Modeling of Hydrolysis and Acidogenesis, *Water Research*, 4: 323-32.
19. Koçer N.N., Öner C., Sugözü İ. 2006. *Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi*, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Türkiye.
20. İlci Tarım Hayvancılık San. ve Tic. A.Ş. 2010. <http://www.ilcitarim.com.tr/index.php> (Erişim tarihi: 26.04.2017).

21. Enerji Günlüğü. 2016. <http://www.enerjigunlugu.net/icerik/19663/ankaraya-6-mwlik-biyogaz-santrali-kurulacak.html>. (Erişim tarihi: 26.04.2017).
22. Enerji Enstitüsü. 2014. <http://enerjienstitusu.com/2014/10/08/ankaranin-beypazari-ilcesinde-tavuk-gubresinden-elektrik-ureten-tesis-kuruldu/> (Erişim tarihi: 27.04.2017).
23. Enerji Gazetesi İst. 2016. <http://www.enerjigazetesi.ist/ankaradaki-250-mwlik-biyogaz-tesisi-halkin-gorusune-sunuldu/> (Erişim tarihi: 27.04.2017).
24. Karen Cacia K., Villalba L.O., Bernardo H., Gallego A. 2016. Experimental Evaluation of a Diesel-Biogas Dual Fuel Engine Operated on Micro-Trigeneration System for Power, Drying and Cooling, Applied Thermal Engineering, 100 (2016): 762-767.
25. Türkiye’de Atıklardan Enerji Üretimi ve Biyogaz. 2009. [http://www.tarimsal.com/makaleler/Turkiye\\_Atıklardan\\_Enerji\\_uretimi\\_ve\\_biyogaz.htm](http://www.tarimsal.com/makaleler/Turkiye_Atıklardan_Enerji_uretimi_ve_biyogaz.htm) (Erişim tarihi: 20.04.2017).
26. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. 2011. *Suluova Biyogaz Tesisinin Teknik-Ekonomik Esaslarına İlişkin Rapor*, Türk Alman Biyogaz Projesi, Ankara.
27. Aybek A., Üçok S., Bilgili M.E., İspir M.A. 2015. Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması, U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 29 (2): 25-37.
28. Biyogaz Verimi. 2013. <http://www.soleaenerji.com/biyogaz-verimi/> (Erişim tarihi: 28.04.2017).
29. Coğrafya Dünyası. 2015. <http://www.cografya.gen.tr/tr/ankara/ekonomi.html> (Erişim tarihi: 22.04.2017).
30. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. 2015. *Ankara ili Tarımsal Yatırım Rehberi*, Ankara.
31. TÜİK Gıda Tarım ve Hayvancılık Verileri. 2016. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (Erişim tarihi: 15.04.2017).
32. Dağ Ö. Ev Atıklarının Biyogaz Üretim Projesi. 2014. <http://ozgurdag4941.blogspot.com.tr/2014/12/ev-atiklarindan-biyogaz-uretim-projesi.html?m=1> (Erişim tarihi: 01.05.2017).
33. Ankara Nüfusu. 2016. <http://www.nufusu.com/il/ankara-nufusu> (Erişim tarihi: 20.04.2017).
34. Ankara Büyükşehir Belediyesi. <http://www.ankara.bel.tr/haberler/mamak-pl-dnyaya-model-oluyor/#.WQb2vWnyjIU> (Erişim tarihi: 02.03.2017).
35. Kaya D. 2010. *Evsel Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Biyogaz Üretiminde Kullanımının Değerlendirilmesi*, ICCI - Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, İstanbul.
36. Arıtma Çamurundan Biyogaz Üretimi ve Enerji Tasarrufu. <https://www.yenienerji.info/proje/aritma-camurundan-biyogaz-uretimi-ve-enerji-tasarrufu> (Erişim tarihi: 05.04.2017).
37. Yiğit K.S., Gündüz M., Şerit G., Yeğın M., Saraç M., Bayram İ., Bostan Ü., Pir H. 2011. *Atıksu Arıtma Çamurundan Biyogaz Üretimi ve Enerji Tasarrufu*, Kocaeli İZAYDAŞ ve İSU Çalışma Raporu, Türkiye.
38. ASKİ. <http://www.aski.gov.tr/tr/icerik.aspx?id=817> (Erişim tarihi: 22.04.2017).
39. Berkes F., Kışlalıoğlu M. B. 1993. *Çevre ve Ekoloji*, 4. Basım, Remzi Kitabevi, İstanbul.
40. İlgar R. 2012. Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma, Doğu Coğrafya Dergisi, 35: 89-106.
41. EKSİS. Biyogaz Enerji Hesabı. [http://www.kurutma.net/biogaz\\_enerji\\_hesabi.html](http://www.kurutma.net/biogaz_enerji_hesabi.html) (Erişim tarihi: 25.03.2017).
42. Ekonomik Yapı. 2005. <https://www.ankara.bel.tr/files/2713/5056/3051/6-ekonomi.pdf> (Erişim tarihi: 02.04.2017).

43. Ankara İli Elektrik Üretim-Tüketim Durumu.  
[http://www.emo.org.tr/ekler/9844ba129a1cbc3\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/9844ba129a1cbc3_ek.pdf) (Erişim tarihi: 28.04.2017)



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Hidroelektrik Santral Rezervuar Verilerinin Enerji Üretimi Amaçlı Değerlendirilmesi**

Faruk ORAL<sup>1\*</sup>, Rasim BEHÇET<sup>2</sup>, Kadir AYKUT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bitlis

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Malatya

---

### **Özet**

Türkiye, zengin enerji kaynakları potansiyeline sahip olmasına rağmen, enerji ihtiyacının büyük bir kısmını ithal etmektedir. Bu potansiyellerden yenilenebilir enerji kaynakları en önde gelen ve mutlaka değerlendirilmesi gereken temiz enerji kaynağıdır. Yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerjinin, ülkemizde mevcut potansiyelinin tamamının enerji üretimi açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada; hidroelektrik santral rezervuar verileri enerji üretimi amaçlı değerlendirilmiştir. Bu amaçla verilen örnek hidroelektrik santralin göl işletme eğrisi oluşturulmuştur. Santral gölüne gelen ve enerji üretimi esnasında geçen su hacmi hesaplanarak, santral gölünde depolanan su hacmi belirlenmiştir. Göl işletme eğrisi yardımıyla göl kotu değeri belirlenerek, hidroelektrik santralin net düşüsü bulunmuştur. Bu veriler kullanılarak Mart 2014 tarihi için örnek hidroelektrik santralin enerji üretim miktarı yaklaşık olarak 94.928,927 MWh hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Hidrolik Enerji, Hidroelektrik Santral, Rezervuar Verileri, Enerji Üretimi.

---

## **The Assessment of Hydroelectric Power Plant Reservoir Data with the Purpose of Energy Production**

### **Abstract**

Although Turkey has a rich energy resource potential, it imports a large part of energy needs. Renewable energy sources have a most important potential, and these sources are clean energy and must be evaluated. Hydraulic energy is one of the renewable clean energy sources and it is very crucial to evaluate all of Turkey's hydraulic energy potential in terms of producing energy. In this study; Hydroelectric power plant reservoir data were evaluated for energy production purposes. With this aim, the example of hydropower plant' lake operation curve is established. The volume of water stored in the plant's lake was determined with calculating water amount on both coming to the plant's lake and during energy production. With the help of the operation curve, lake elevation value was determined and a net drop in the hydroelectric power plant was found. Using this data, the amount of energy production of the example hydroelectric power plant for March 2014 was calculated as approximately 94.928,927 MWh.

**Keywords:** Hydraulic Energy, Hydroelectric Power Plant, Reservoir Data, Energy Production.

---

### **1. Giriş**

Dünya nüfusundaki artışlar, sosyal refah ve hayat standardındaki gelişme ve beklentiler, sanayi ve teknolojideki hızlı gelişmeler, enerji tüketimini ve bunun sonucunda enerji talebini artırmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarından olan fosil yakıtların üretiminde oluşan çevresel ve ekonomik zararlar, ülkeleri yeni enerji üretim kaynaklarına yöneltmiştir. Bunlardan en önemlisi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji; kendisini sürekli olarak yenileyen, tükenmeyen, temiz enerji kaynağıdır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının bazıları hidrolik enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir.

Hidrolik enerji yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde enerji üretimi bakımından yaygın kullanıma

---

\*Sorumlu yazar: [foral@beu.edu.tr](mailto:foral@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 24/04/2017 Kabul Tarihi: 16/10/2017

sahip enerji çeşididir. Hidrolik enerji yenilebilir olduğu için, çevresel önemi büyüktür. Ayrıca hidroelektrik enerjide herhangi bir hammadde tüketimi olmadığından dolayı fosil yakıtlı termik santrallere göre işletme masrafları oldukça düşüktür. Ek olarak, hidrolik santrallerde enerji üretimi, atmosfere büyük miktarda zararlı atıklar bırakan santrallere göre daha temizdir [1]. Hidroelektrik santraller, diğer enerji üretim sistemleri ile kıyaslandığında en az işletme maliyetine, en uzun işletme ömrüne ve en yüksek verime sahiptirler [2]. Depolamalı hidroelektrik santraller, taşkın ve baskınları engelleme, sulama işlerini kolaylaştırma, balıkçılığı geliştirme, ağaçlandırmaya destek olma, turizme katkı sağlama, ulaşım imkânlarını geliştirme vb. birçok avantaja sahiptir [3]. Elektrik enerjisi; kullanım kolaylığı, tüm dünyada kullanım yaygınlığı, istenildiğinde diğer enerji türlerine dönüştürülebilmesi, günlük hayatta yaygın olarak kullanılması gibi nedenlerden dolayı günümüzde vazgeçilmez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Ekonomik gelişmenin ve bir toplumun sosyal refahının en önemli belirtilerinden birisi, tükettiği elektrik enerjisi miktarıdır. Dünyada elektrik, çeşitli kaynaklardan temin edilmektedir. Hidroelektrik enerji bu kaynaklardan bir tanesidir ve dünya yaygın kullanıma sahiptir.

Dünyanın değişik coğrafyalarında hidroelektrik santralleri için, uygun alanlar mevcuttur. Küçük hidroelektrik santraller, bilhassa diğer enerji santrallerinin yapılamadığı kırsal bölgelerde alternatif olarak kullanılmaktadır. Dünyada toplam hidroelektrik enerji üretiminin içerisinde küçük hidroelektrik santrallerinin payı, %5-10 arasında değişmektedir [2-4].

Dünyanın brüt teorik hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 40150 *TWh/yıl* iken teknik olarak uygulanabilir potansiyeli 14060 *TWh/yıl* ve günümüzde ekonomik olarak uygulanabilir hidroelektrik enerji potansiyeli 8905 *TWh/yıl*'dir. 2006 yılında dünyada toplam hidroelektrik enerji üretimi 3121 *TWh*'dir. Bu değer dünyanın ekonomik olarak uygulanabilir hidroelektrik potansiyelinin yaklaşık %35'ine, teknik olarak uygulanabilir hidroelektrik potansiyelinin ise %22'sine karşılık gelmektedir [3, 5]. Dünyada en büyük hidroelektrik gücüne sahip Çin'in, 118 *GW*'lık kurulu gücü ve yıllık 436 *TWh* üretimi vardır. Bu değerler tüm dünyadaki hidroelektrik enerji üretiminin %14'ü, yerli elektrik üretimi olarak da %15.2'lik bir değere sahiptir. Norveç'in hidroelektrik enerji üretiminin toplam yenilebilir enerji üretimi içerisindeki payı, %98.5 değerindedir. Türkiye de ise yıllık 45.93 *TWh* hidroelektrik enerjisi üretimi gerçekleştirmiştir [3, 6].

Türkiye'nin mevcut topoğrafik yapısı ve hidrolojik koşulları, hidroelektrik enerji üretimini avantajlı kılmaktadır. Türkiye'nin teorik hidroelektrik potansiyeli yıllık 433-442 *TWh*'tir. Türkiye'nin teknik hidroelektrik potansiyeli yaklaşık olarak yıllık 250 *TWh*'dir [7]. Ekonomik hidroelektrik potansiyeli ise yıllık 141 *TWh*'dir [8]. Küçük kapasiteli hidroelektrik santrallerinin uygulanmaya alınması durumunda, bu kapasite yıllık 180-200 *TWh*'a çıkabilecektir [7]. Türkiye, bu verilere göre %1 ile Dünya'da 8. sırada, Avrupa'da ise %14 ile üçüncü sırada yer almaktadır [9-10]. Türkiye'de 2014 yılında elektrik enerjisi üretiminin 40.396 *GW*'lık kısmı hidrolik enerjiden gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de kaynaklar bazında 2014 yılı için elektrik enerjisi üretiminin %16,1'lik kısmı hidrolik enerjiden gerçekleşmiştir [11].

Son yıllarda tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de artan enerji ihtiyacının karşılanmasında güvenilir, çevreci ve ekonomik enerji kaynakları önem kazanmaya başlamıştır. Bu bakımdan ülkemizde mevcut hidrolik enerji potansiyelimizin enerji üretimi amaçlı değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bir hidroelektrik santralde üretilecek enerji miktarını belirleyen en önemli büyüklükler debi ve düşü dür. Depolamalı hidroelektrik santrallerinde baraj gerisinde oluşturulan rezervuarda biriken suyun meydana getirdiği yapay göl ile birlikte düşü ve debiye olumlu katkı sağlandığı için, üretilecek enerji artırılmış olur. Bu çalışmada; bir hidroelektrik santralin rezervuar verilerinin enerji üretim miktarının belirlenmesinde kullanılması amaçlanmıştır. Örnek bir hidroelektrik santral için bu veriler kullanılarak enerji üretimi miktarı yaklaşık hesaplanmıştır.

## 2. Hidroelektrik Santraller

Hidroelektrik santraller (HES), suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden faydalanarak elektrik enerjisi elde edilen tesislerdir. Bu enerji, hidrolik santrallerde hidrolik türbinler yardımı ile mekanik enerjiye, türbinlerin tahrik ettiği jeneratörler ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Suyun düşü ve debisi türbinden elde edilecek güce, büyük oranda etki etmektedir. Düşü, üst su yüzeyi ile alt su yüzeyi arasındaki farktır. Düşü ve debi, türbinden elde edilecek güce, büyük oranda etki etmektedir [10, 12].

Hidroelektrik santral en yaygın olarak; düşülerine, kurulu güce, depolama durumuna, baraj gövdesinin tipine ve santral binasının konumuna göre sınıflandırılabilir.

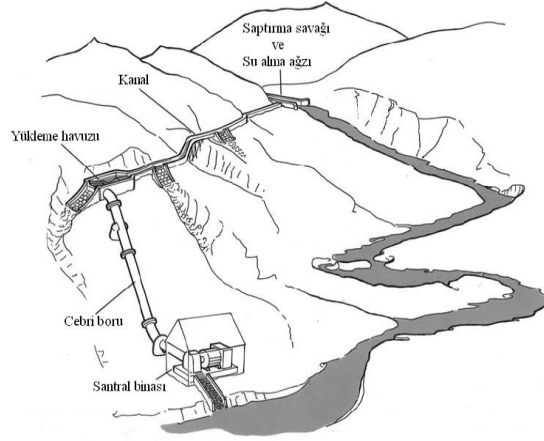
Kurulu güce göre sınıflandırmada, dünya genelinde kabul görmüş bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Pek çok ülke büyük ve küçük hidroelektrik santralleri, farklı kurulu güce göre tanımlamaktadır. Genel olarak kurulu gücü; 100 kW altında olanlar mikro, 101-1000 kW arasında olanlar mini, 1001-10000 kW arasında olanlar küçük, 10000 kW üzerindeki santraller büyük hidroelektrik santraller olarak adlandırılır [10, 13].

Düşülerine göre; alçak (düşü 10 metreden küçük), orta (düşü 10-50 metre arasında) ve yüksek (düşü 50 metreden büyük) düşülü hidroelektrik santraller olarak sınıflandırılır. Depolama durumuna göre ise hidroelektrik santraller genel olarak, rezervuarlı (baraj göllü veya tabi göllü), rezervuarsız (nehir tipi) ve pompaj depolamalı olarak sınıflandırılmaktadırlar. Rezervuarlı (Depolamalı) hidroelektrik santraller, barajlı santraller olarak da isimlendirilmektedir. Burada düzenli ve sürekli elektrik enerjisi üretimi için suyun önü bir baraj ile kapatılarak, barajın gerisinde bir rezervuar oluşturulur. Depolanan su sayesinde üretimin yağış rejimine olan bağımlılığı azaltılır ve yağışsız ve kurak sezonda ihtiyaç duyulan su bu birikmiş hacimden temin edilir. Ayrıca biriken suların meydana getirdiği baraj gölü sayesinde düşü yüksekliği sağlanarak suyun potansiyel enerjisi artırılır. Bu şekilde hidroelektrik santralinden üretilen elektrik enerjisi miktarı da artırılmış olunur [13].

Nehir tipi hidroelektrik santraller, rezervuarlı hidroelektrik santrallerin aksine debi düzenlemesinin olmadığı, üretimin yağış rejimine bağlı olduğu santral türüdür. Güvenilir elektrik enerjisi üretim miktarı, akarsuyun minimum debisi ile sınırlı olduğundan genelde düşüktür. Bu tip santrallerin kuruluş yerinin seçiminde ideal olan, kurak sezonun hiç yaşanmadığı nehirler üzerinde veya membasın da rezervuarlı hidroelektrik santral bulunan nehirler üzerinde inşa edilmesidir. Böylelikle rezervuarlı hidroelektrik santralin düzenlemiş olduğu debiden istifade edilebilir. Bu santrallerde bir saptırma savağı ve su alma ağzından kanala verilen su, bir yükleme odasına kadar getirilmektedir. Yükleme odasındaki fazla su için bir taşkın savağı bulunmaktadır. Su bir cebri borudan geçirilerek türbine verilmekte ve burada hidrolik enerjisi mekanik enerjiye çevrilmektedir (Şekil 1). Depolamasız sistemde suyun önü kesilmez, sadece bir kısmı bir kanal içerisine alınır. Bu sistemlerde türbin için gerekli debi, kurak sezonlarda her zaman sağlanamayabilir. Bu sistemlerin en büyük avantajları, yerel olarak çok düşük bir maliyetle inşa edilebilmeleridir. Bu sistemler akarsu yatağına fazla zarar vermezler. Su debisi, yükleme odasında günlük olarak yapılan ayarlarla kontrol edilir [10, 13].

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, alt ve üst olmak üzere iki rezervuardan oluşurlar. Bu santraller enerji verimliliğinin artırılmasında önemli görev yürütürler. Bu santrallerde; enerji talebinin yüksek olduğu veya elektriğin pahalı olduğu zamanlarda, üst rezervuarda biriktirilmiş olan suyun alt rezervuara düşürülmesiyle elektrik enerjisi üretilir. Enerji talebinin az olduğu zamanlar veya elektriğin ucuz olduğu zamanlarda ise pompa çalıştırılarak su, alt rezervuar seviyesinden üst rezervuar seviyesine yükseltilecek enerji depolamasını sağlarlar. Termik santraller talep değişimlerine hızlı reaksiyon veremedikleri için baz yük santrali olarak kullanılırlar. Hidroelektrik santraller ise kolayca işletilip durdurulabilen ve aynı zamanda kısa sürede tam kapasite yüke çıkabilmeleri nedeni ile pik talebin karşılanmasında kullanılmaktadır. Pik talebin karşılanmasında rezervuarlı hidroelektrik santrallerin yetersiz kalması durumunda pompaj depolamalı hidroelektrik santrallere ihtiyaç duyulmaktadır. Pompaj depolamalı santraller, özellikle rüzgar santrallerinin frekans bozucu etkisi gibi olumsuzluklarını da ortadan kaldıracak şekilde hibrit sistemler olarak çalıştırılabilmekte ve rüzgar santrallerinden elde edilen enerjiyi daha güvenilir hale getirebilmektedir [13, 14].

Hidroelektrik santraller ayrıca baraj gövdesinin tipine göre; ağırlıklı beton gövdeli, beton kemer gövdeli, kaya dolgu gövdeli, toprak dolgu gövdeli olarak sınıflandırılabilir gibi, santral binasının konumuna göre; yer üstü, yer altı ve yarı gömülü veya batık hidroelektrik santraller olarak da sınıflandırılabilir [13, 15]. Bu tesisler, kurulacakları yerin topoğrafik yapısına göre çeşitli şekillerde olabilir. Bir hidroelektrik santrali; baraj gövdesi ve gölü, su alma tesisi, su yolları tesisleri, santral binası, santral çıkış suyu kanalı, şalt sahası, dip savak tesisleri, dolu savak tesisleri gibi bölümlerin tamamını veya bir kısmını içerebilir [13].



Şekil 1. Nehir tipi hidroelektrik santral [10]

### 3. Hidrolik Türbinler

Türbinler; akışkanda mevcut bulunan serbest haldeki mekanik enerjiyi genellikle üzerinde çarkları bulunan dönen bir mil vasıtasıyla faydalı mekanik enerjiye dönüştürmek amacı ile kullanılan hidrolik makinalardır. Türbinin yapısını akışkan belirlemektedir. Hidrolik türbininin çalışma prensibi şu şekildedir; akışkan türbinin kanatçıklarına çarparak türbin milini çevirmek suretiyle mekanik enerji meydana getirir, daha sonra mekanik enerji jeneratöre iletilir ve burada elektrik üretilir. Hidrolik güç santralleri bu prensibe göre çalışır ve bu santraller de kullanılan türbinlere hidrolik türbin adı verilir [10, 16].

Türbinler, hacimsel ve dinamik olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Hacimsel türbinler, genellikle güç üretimde değil daha çok hacimsel debi veya akış hacmi ölçümünde kullanılan küçük makinalardır. Dinamik türbinler ise; minyatür yapılardan devasa yapılara kadar farklı yapılara sahip olup, hem akış ölçümünde hem de güç üretiminde kullanılan makinalardır. Su türbinleri suyun etki şekline göre; Etki (aksiyon) ve tepki (reaksiyon) olmak üzere sınıflandırılabilirler. Su türbinleri değişik biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar işletme yapısına, dizayn şekillerine, hidrolik düşü yüksekliğine ve akımın yönüne göre yapılmaktadır [16, 17].

Aksiyon türbinlerinde türbin giriş ve çıkışında basınçlar, atmosfer basıncına eşittir. Aksiyon türbinlerine eş basınçlı türbinler denilmektedir. Çünkü bu türbinlerin giriş ve çıkış basınçları birbirine eşittir. Bu türbinler de suya hız kazandırmak için su nozulden geçirilir ve su jeti oluşturulur. Su jeti, türbin çarkı üzerinde çukur çanak şeklinde bulunan kanatlara çarparak türbinin dönmesi sağlanır. Bu türbinler de Newton'un ikinci yasası ile enerji dönüşümü açıklanır. Bu tip türbinler yüksek düşüler için tercih edilir ve yaygın kullanılan çeşitleri; Pelton, Turgo ve Crossflow (Michell-Banki) türbinleridir. Newton'un üçüncü yasası ile Francis, Kaplan, Uskur, Propeller, Bulb, Tube, Straflo, Water Wheel gibi çeşitleri olan reaksiyon türbinleri için enerji dönüşümü açıklanır. Reaksiyon tipi su türbinlerinde suyun hem kinetik hem potansiyel enerjisinden faydalanılır. Genellikle, suyun çark çıkışındaki basıncı girişindeki basıncından çok daha küçük olur. Bu sebepten dolayı, suyun kapalı kanallar içinden akma zorunluluğu vardır. Suyun çark çıkışında ivmelenmesinden dolayı meydana gelen tepki kuvvetiyle türbin çarkının dönmesi sağlanır [13].

Hidroelektrik santrallerde kullanılan türbinlerin seçimindeki en belirleyici faktörler hidrolik düşü ve türbinden geçecek olan suyun birim zamandaki hacmi, yani debisidir. Türbin veya jeneratörün hızı türbin tipi seçiminde önemli bir kriterdir. Türbinin kısmi debi koşullarında çalıştırılıp çalıştırılmayacağı ise diğer bir kriterdir. Tüm türbinlerin bir güç-hız ve verim-hız karakteristiği vardır. Türbinin projelendirmesinde imal edilmek istenen esas türbin rotoruna geometrik olarak benzer olan ve  $H = 1 \text{ m}$  faydalı hidroelektrik düşü ve  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik hacimsel debi ve seçilen işletme devrinde ( $n$ ) çalışan model bir türbin rotorunun  $n_s$  özgül devir sayısı, türbin boyutlarını belirlemektedir. Özgül devir sayısının belirlenmesinden sonra belirli ampirik formüller ile  $n_s$ 'den yararlanılarak türbinin projelendirilmesi yapılmaktadır. Özgül devir sayısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir [10, 13].

$$n_s = n Q^{\frac{1}{2}} H^{-\frac{3}{4}} \quad (1)$$

Türbin ile jeneratör arasındaki hız değişimini en aza indirmek gerekmektedir. Bunun içinde farklı düşüler için farklı türbin tipleri kullanılmalıdır. Bir türbinin hızı, düşü yüksekliğinin karekökü ile doğru orantılı olarak azalmaktadır. Bu sebepten dolayı hızlı türbinler küçük düşülü yerlerde kullanılmaktadır [18, 19]. Tablo 1’de hidrolik düşüye göre türbin tiplerinin kullanım aralığı, Tablo 2’de ise türbin tiplerinin özgül hız değerleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Hidrolik düşüye göre türbin tipleri [10]

Model	Düşü Aralığı
Kaplan ve Propeller	$2 < H < 40$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Banki-Michell	$3 < H < 250$
Turgo	$50 < H < 250$

**Tablo 2.** Türbin modellerinin özgül hız değerleri [18]

Model	Özgül Hız (dev/dak)
Pelton	12-30
Turgo	20-70
Cross-flow	20-80
Francis	80-400
Kaplan	340-1000

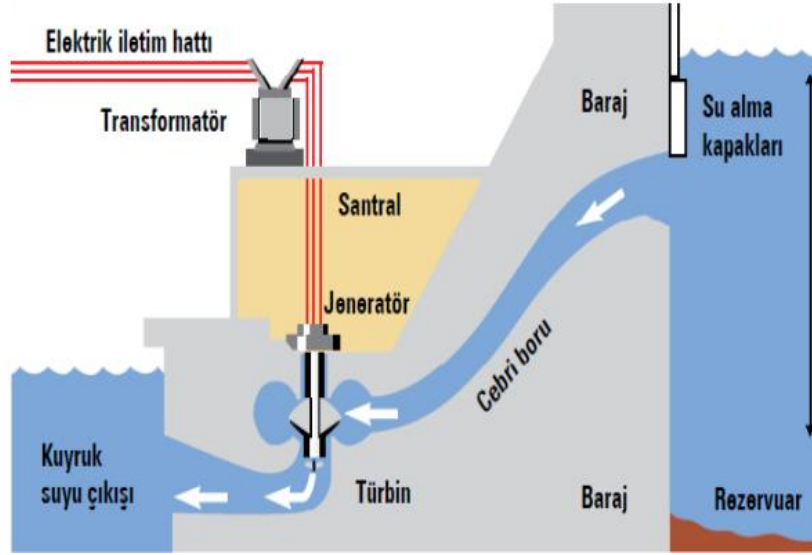
#### 4. Hidrolik Enerji

Suyun potansiyel enerjisinden elde edilen kinetik enerjiye hidrolik enerji adı verilir. Suyun yüksek seviyeden düşük seviye inmesiyle meydana gelen enerji, hidrolik türbinler kullanılarak mekanik enerjiye ve jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Şekil 2). Daha sonra, elektrik enerjisi, elektrik iletim hatları kullanılarak son kullanıcıya nakledilir. Hidrolik potansiyel, yağış rejimine bağlıdır. Bir bölgenin su potansiyeli, yağın yağış miktarı ile belirlenir. Bu sebepten dolayı, iklim şartlarındaki ufak dalgalanmalar, hidroelektrik enerji üretimine etki edecektir [2, 12]. Güneş enerjisi ile nehirler, deniz veya göllerden buharlaşan su buharı dağların yamaçlarına yağmur veya kar şeklinde ulaşmakta ve nehirler veya göle geri dönmektedir. Bu sebepten dolayı hidrolik enerji yenilebilir bir enerji kaynağıdır.

Hidrolik türbinlerde enerji elde etmek için suyun mutlaka belirli bir düşü yüksekliğine sahip olması gerekmektedir. Bir hidroelektrik santral tesisinin su düşüsü, üst su yüzeyi ile alt su yüzeyi arasındaki yükseklik farktır. Yukarıda bahsettiğimiz bu hidrolik düşüye brüt hidrolik düşü veya geometrik düşü denir. Bir hidroelektrik santralin su iletim kısımlarında (iletim kanalları, iletim tünelleri, cebri borular, türbin giriş vanaları vs.) su moleküllerinin sürtünmelerinden dolayı kayıplar oluşur. Meydana gelen bu kayıpların toplamı ise  $\Sigma \Delta H$  ile gösterilir. Brüt hidrolik düşüden net toplam kayıpların çıkarılması ile net hidrolik düşü bulunur [12, 15]. Bir hidrolik türbinden üretilebilecek mekanik güç;

$$P = \rho g Q H_0 \eta_t \quad (2)$$

eşitliği ile ifade edilir [20]. Formülde;  $P$  türbin milinden alınan mekanik gücü ( $W$ ),  $\rho$  suyun yoğunluğunu ( $kg/m^3$ ),  $g$  yerçekimi ivmesini ( $m/s^2$ ),  $Q$  türbine gelen suyun hacimsel debisini ( $m^3/s$ ),  $H_0$  net hidrolik düşüyü ( $m$ ) ve  $\eta_t$  türbinin hidrolik verimini ifade etmektedir.



Şekil 2. Hidroelektrik enerji üretimi [21]

#### 4. Materyal ve Metot

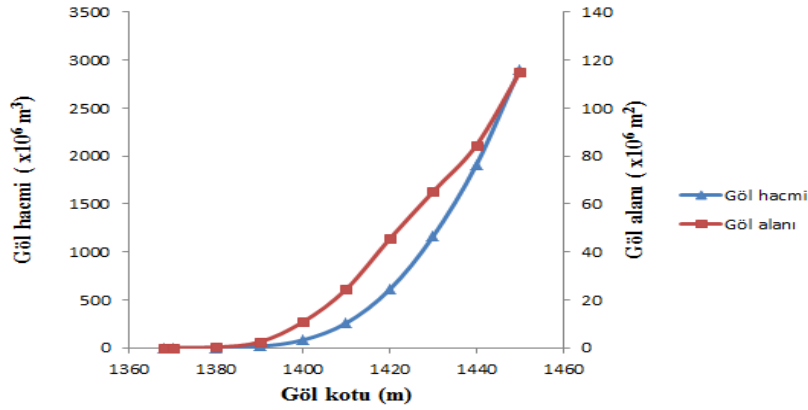
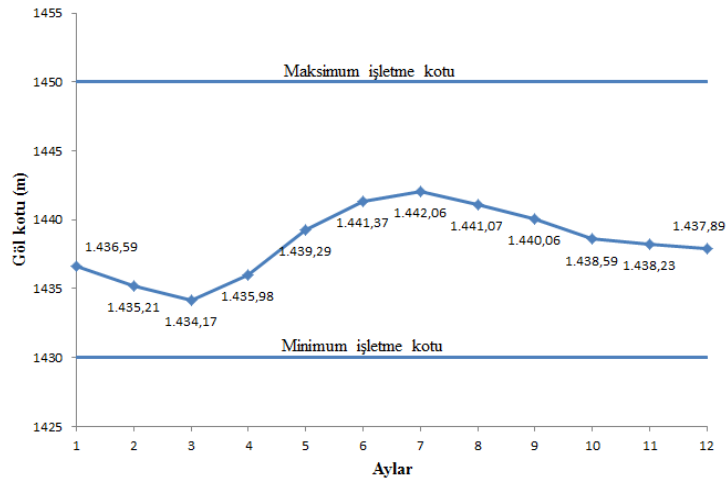
Bir hidroelektrik santralinde rezervuarında depolanan su, cebri boruları doldurur. Rezervuarlı gölde mevcut olan su basıncı ile emme borusundan gelen suyun basınç farkı vardır. Bu basınç farkını gidermek amacı ile salyangoz ile cebri boru arasında bir bypass hattı oluşturulur. Bu bypass hattı üzerinden cebri borudan salyangoza su dolarak basınç farkı giderilir. Türbinde, potansiyel enerjiye sahip olan su kinetik enerjiye dönüşür. Sonraki aşamada türbin milindeki mekanik enerji bağlı bulunduğu jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek hidroelektrik santralinde enerji üretimi gerçekleştirilir.

Örnek uygulamada, Muş İlinde Murat Nehri üzerinde kurulmuş olan Alpaslan-1 Hidroelektrik Santralinde verileri kullanılacaktır. Örnek santral teknik özellikleri; gövdesi kum çakıl dolgu zonlu kaya, gövde hacmi  $3500 \text{ dam}^3$ , Talveg yüksekliği 91 metre (Akarsu tabanından baraj tepesine kadar olan düşey uzaklık), normal su kotunda göl hacmi  $2993 \text{ hm}^3$ , normal su kotunda göl alanı  $115 \text{ km}^2$ 'dir. Hidroelektrik santralde; toplam kurulu gücü  $160 \text{ MW}$  olan 4 adet ünite bulunmakta, santral  $84 \text{ m}$  brüt düşüye sahip olup, santralde özgül hızı  $250 \text{ dev/dak}$  olan dikey Francis tipi türbin kullanılmaktadır. Santral her bir ünitenin debisi  $55 \text{ m}^3/\text{s}$ , jeneratörün üretim gücü  $45 \text{ MVA}$  ve türbin-jeneratör grubu verimi %94 alınacaktır [22, 23].

Bir hidroelektrik santralde geleceğe yönelik enerji üretim miktarının tahmini olarak belirlenmesinde; net düşü ve üretim amaçlı kullanılan suyun debi değerinin bilinmesi gerekmektedir. Santral yıllık üretim planlaması yapılırken aylık gelen su debilerine bağlı olarak göl kotundaki yükselme ve işletme kotlarının alt ve üst kotları dikkate alınarak üretim planlaması yapılır. Tablo 3'de örnek hidroelektrik santralinde üretim planlama tablosu verilmiştir [22]. Santral üretim planlamasına göre göl işletme eğrisi oluşturulur. Göl işletme eğrisinde, hangi göl kotunda kaç  $\text{m}^3$  su bulunduğu ifade edilir (Şekil 3). Bu göl hacmine ve ünite kullanılan suya bağlı olarak yıllık üretim planlaması yapılır. Bu üretim planlamada aylık kaç  $\text{m}^3$  su geldiği çok önemlidir. Eşitlik 2'de görüldüğü gibi bir hidroelektrik santralde enerji üretim miktarını; net düşü, debi ve verim doğrudan etkiler. Burada verim, debi ve net düşü, direkt olarak göl kotu seviyesine bağlıdır. Bu neden ile bu üç etkene bağlı olarak hidroelektrik santral yüklem grafiği oluşturulur. Hesaplamalar bu grafiğe göre yapılır. Tablo 3'de görüldüğü gibi örnek santral aylık gelen su debisine ve enerji üretimi için harcanan suya göre aylık ve yıllık üretim miktarları görülmektedir. Şekil 4'de örnek santral göl kotunun aylara göre değişimi verilmiştir.

**Tablo 3.** Örnek hidroelektrik santralin 2014 yılı üretim planlama tablosu

Ay	Ay Başında		Giriş Akımı (m <sup>3</sup> /s)	Enerji Üretimi (MWh)	Özgül Su (m <sup>3</sup> /kWh)	Enerjiye Harcanan Su (m <sup>3</sup> )
	Göl Kotu (m)	Göl Hacmi (m <sup>3</sup> )				
Ocak	1.436,59	1.627.935.000	25,96	30.960	5,78	178.838.000
Şubat	1.435,21	1.522.510.000	30,41	25.370	5,93	150.286.000
Mart	1.434,17	1.445.767.000	118,68	31.960	4,88	182.503.000
Nisan	1.435,98	1.580.817.000	132,56	16.750	5,34	89.452.000
Mayıs	1.439,29	1.838.305.000	82,62	5.915	4,46	26.376.000
Haziran	1.441,37	2.027.300.000	32,80	4.590	4,95	22.677.000
Temmuz	1.442,06	2.089.650.000	172,00	21.134	4,96	104.817.000
Ağustos	1.441,07	2.000.580.000	2,89	14.950	5,14	76.746.000
Eylül	1.440,06	1.912.305.000	4,03	22.960	5,37	123.322.000
Ekim	1.438,59	1.788.350.000	28,55	18.673	5,31	99.034.000
Kasım	1.438,23	1.758.785.000	27,10	17.838	5,32	94.948.000
Aralık	1.437,89	1.731.150.000	36,35	34.800	5,41	188.200.000
Toplam				245.900		1.337.199.000

**Şekil 3.** Örnek hidroelektrik santralin 2014 yılı göl işletme eğrisi**Şekil 4.** Örnek hidroelektrik santralin 2014 yılı göl kotu değişim eğrisi

## 5. Bulgular ve Tartışma

Tablo 3 incelendiğinde; baraj gölü kotu ve hacminin en büyük değerinin Temmuz ayında, sırasıyla 1.442,06 m ve 2.089.650.000 m<sup>3</sup> olarak gerçekleştiği, en küçük değerinin ise Mart ayında, sırasıyla 1.434,17 m ve 1.445.767.000 m<sup>3</sup> olduğu görülmüştür. Şekil 4’de göl kotunun Mart ayından sonra artmağa başladığı, Temmuz ayında en yüksek değere ulaştığı ve bu aydan sonra azalmaya başladığı görülmüştür.

Örnek olması amacı ile yukarıda tablo ve grafiklerde değerleri verilen örnek bir hidroelektrik santralinin Mart 2014 tarihinde 4 ünite ile 24 saat çalışması durumunda, aylık üretebileceği enerji miktarı tahmini olarak belirlenecektir. Hidroelektrik Santralin rezervuar gölünde minimum işletme kotu olan 1430 metrede 1.159.689.000 m<sup>3</sup>, maksimum işletme kotu olan 1450 metre kotunda ise 2.903.446.000 m<sup>3</sup> su bulunmaktadır. Bu değerlere göre barajda enerji üretimi amaçlı kullanılabilir su miktarı yaklaşık 1.743.757.000 m<sup>3</sup> kadardır. Ayrıca santralin kuyruk suyu çıkış kotu 1367,01 metre, her bir ünitenin debisi 55 m<sup>3</sup>/s olarak alınacaktır. Santralin aybaşı göl kotu; 1434,17 m ve aybaşı göl hacmi 1.445.767.000 m<sup>3</sup> (Göl işletme eğrisinden) değerleri alınır. Santrale aylık gelen suyun miktarı  $V_{AGS}$ ;

$$V_{AGS} = Q_{GSD} \times 60(s/dak) \times 60(dak/h) \times 24(h/gün) \times 30(gün/ay) \quad (3)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada  $Q_{GSD}$ , aylık ortalama gelen suyun debisini ifade etmektedir. Tablo 3’de aylık ortalama gelen suyun debisi 118,68 m<sup>3</sup>/s alınarak Eşitlik 3 yardımı ile  $V_{AGS}$ , değeri 307.618.560 m<sup>3</sup> olarak bulunur. Toplam 4 ünite için santralden enerji üretimi esnasında aylık geçen su miktarı  $V_{GCS}$ ;

$$V_{GCS} = Q_{ÜD} \times 60(s/dak) \times 60(dak/h) \times 24(h/gün) \times 30(gün/ay) \times 4 \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada  $Q_{ÜD}$  ünite debisini ifade etmektedir. Eşitlik 4 yardımıyla  $V_{GCS}$ , değeri 570.240.000 m<sup>3</sup> olarak bulunur. Bu durumda santralin ay sonu ay başı göl hacim farkı 1.183.145.560 m<sup>3</sup> olarak bulunur. Şekil 3’den göl hacmine bağlı olarak ay sonu göl kotu değeri 1432 m olarak okunur. Toplam enerji üretimi için ay sonu net düşü değeri; ay sonu göl kotu ile santralin kuyruk suyu çıkış kotu (1367,01 m) arasındaki fark olduğundan bu değer 64,99 m olarak bulunur. Verilen santral için türbin verimi %94 alınıp [22], Eşitlik 2 kullanılarak aylık toplam enerji üretim miktarı; 94.928,927 MWh olarak bulunur.

## 6. Sonuç ve Öneriler

Her yıl giderek artan enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü ithalat yoluyla gidermeye çalışan Türkiye’nin, mevcut yerli enerji potansiyelini kullanması, dışa bağımlılığını azaltacaktır. Enerji ihtiyacının son derece önem kazandığı günümüz dünyasında ülkemizin var olan hidroelektrik potansiyelini tamamını kullanması gerekmektedir. Bu amaç ile çevre bilinci içerisinde mevcut hidrolik kaynaklarımızın uygun teknolojik yeni yöntemler ile enerji üretimine kazandırmak, ülkemiz açısından faydalı olacaktır.

Bu çalışmada; hidrolik enerji ve hidroelektrik santraller ile ilgili bilgiler verilerek hidroelektrik santral rezervuar verileri, enerji üretimi amaçlı değerlendirilmiştir. Baraj gölüne giren su debisinin artması ile birlikte göl kotu ve hacminin arttığı, özellikle Temmuz, Nisan, Mart ve Mayıs aylarında bu değerlerin diğer aylara göre daha büyük gerçekleştiği belirlenmiştir. Örnek bir hidroelektrik santralin verileri değerlendirilerek enerji üretimi miktarı tahmin edilmiştir. Bu amaç ile Mart 2014 tarihi için örnek hidroelektrik santralinin enerji üretim miktarı 94.928,927 MWh olarak bulunmuştur.



## Kaynaklar

1. Tunay M.T., Cebeci M., 2001. Büyük Hidroelektrik Santraller ile Küçük Hidroelektrik Santrallerin Karşılaştırılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 18-20 Ocak, İzmir.
2. Gökdemir M., Kömürcü M.İ., Evcimen T.U., 2012. Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve Hes Uygulamalarına Genel Bakış, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, TMH, 471 (1): 18-26.
3. Akpınar A., 2007. Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye’nin Toplam Elektrik ve Hidrolik Enerji Üretim Projeksiyonu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 107s, Trabzon.
4. Uzlu E., Filiz M.H., Kömürcü M.İ., Akpınar A., Yavuz O., 2008. Doğu Karadeniz Havzası’ndaki Küçük Hidroelektrik Santrallerin Durumu, 7. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu UTES’2008, 17-19 Aralık, İstanbul.
5. Devlet Su İşleri (DSİ), 2004. *Dünden Bugüne DSİ 1954-2004*, DSİ Etüt Plan Şube Müdürlüğü, Ankara.
6. International Energy Agency (IEA), 2008. *Key World Energy Statistics*, Paris, Fransa.
7. Eroğlu V., 2006. Tek Sorun Para, Global Enerji, EİE, 19: 26-29.
8. Basmacı E., 2004. *Enerji Darboğazı ve Hidroelektrik Santrallerimiz*, DSİ Vakfı Yayını, Ankara.
9. Ünsal İ., 2003. Turkey’s Hydroelectric Potential and Energy Policies, Stradigma E-Journal of Strategy and Analysis, 6: 1-19.
10. Özdemir M.T., Orhan A., Cebeci M., 2011. Çok Küçük Hidrolik Potansiyellerin Enerji Üretim Amacı ile Yerel İmkanlarla Değerlendirilmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, 5-7 Ekim, Elazığ.
11. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2015. *Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.
12. Başeşme H., 2003. *Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri*, II. Baskı, Hidrolik Santraller Daire Başkanlığı Yayınları, Ankara.
13. Yavuzdemir M., 2012. Hidrolik Santrallerin Sınıflandırılması ve Hidrolik Türbin Çeşitleri, Enerji Piyasası Bülteni, 24: 59-63.
14. Ünver Ü., Bilgin H., Güven A., 2015. Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler, Mühendis ve Makina, 56: 57-64.
15. Bacanak M.S., 2011. Yeşilirmak Nehrinin Hidroenerji Potansiyelinin Değerlendirilmesinin Araştırılması ve Uygun Türbin Seçimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 125s, İstanbul.
16. Cengel Y.A., Cimbala JM, 2014. *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*, 3. Baskıdan çeviri, Palme Yayıncılık, Ankara.
17. Özbay E., Gençoğlu M.T., 2009. Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 19-21 Haziran, Diyarbakır.

18. Özbay E., 2009. Küçük Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi ve Benzetimi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 108s, Elazığ.
19. Alam M.K., Mirza M.R., Maughan O.E., 1995. Constraints and Opportunities in Planning for the Wise use of Natural Resources in Developing Countries: Example of a Hydropower Project, *Environmental Conservation*, 22 (4): 352-358.
20. Paish O., 2002. Small Hydro Power: Technology and Current Status, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6: 537-556.
21. Environment and Climate Change Canada, 2017. <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=en&n=00EE0E6-1> (Erişim Tarihi: 15.08.2017).
22. EÜAŞ, 2015. *Elektrik Üretim Anonim Şirketi*, Alparslan 1 HES İşletme Müdürlüğü, Muş.
23. EÜAŞ, 2017. <http://www.euas.gov.tr/Sayfalar/Hidrolik-Santraller.aspx?did=22> (Erişim Tarihi: 28.07.2017).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Benzin ve Dizel Motorlarda Devir Sayısının Titreşime Olan Etkisinin İncelenmesi**

Nurullah GÜLTEKİN<sup>1\*</sup>, Murat MAYDA<sup>2</sup>, Mesut KİLİT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Karaman

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Karaman

<sup>3</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Karaman

---

### **Özet**

Titreşim, içten yanmalı motorlu araçlarda konforu etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Doksanlı yıllarda üretilen dizel araçların, benzinli araca göre daha titreşimli çalıştığı bilinmektedir. Son teknoloji dizel araçlarda ise titreşim seviyesi azalmıştır. Bununla birlikte dizel araçların titreşim seviyesi benzinli araçlar seviyesine indirilememiştir. Bu çalışmada; benzinli ve dizel motorların farklı devir sayılarındaki titreşim ölçümleri ivme cinsinden (g) yapılmıştır. Her iki motorun maksimum ve ortalama titreşim değerleri kendi içinde ve karşılıklı olarak kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, ortalama ivme dikkate alındığında, dizel motorun benzinli motora göre rölanti devrinde (1000 dev/ dak) 42.2 kat daha titreşimli çalıştığı tespit edilmiştir. Her devir aralığındaki titreşim oranları değerlendirildiğinde ise iki motorun da maksimum torkun ulaşıldığı devire kadar titreşim oranı azaldığı, bu devirden sonra arttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İçten Yanmalı Motor, Benzin, Dizel, Devir Sayısı, Titreşim.

---

## **Investigation of the Effect of Revolution of Diesel and Gasoline Engines on Their Vibration**

### **Abstract**

Vibration is one of the important factors affecting the comfort of vehicles with internal combustion engines. It is known that diesel vehicles produced in the 1990s runs with more vibration than the gasoline engine. On the other hand, the high technology diesel engines produces less vibration. Although there are significant developments in the vibration levels of diesel engines, it is obvious that the vibration level of gasoline engines are better than that of diesel engines. In this study, the vibration level of gasoline and diesel engines are measured as acceleration (g) in their different revolutions. The maximum and average vibration values of these two engines are compared first inside each kind of engine itself and finally with each other. According to this comparison, in terms of average acceleration, the vibration level of the diesel engine is higher (42.2 times) than that of gasoline engine in the idling state (1000 rev/min). In terms of the vibration rates in the range of each revolution for both two engines, it is observed that the vibration rate decreases until the revolution at which the maximum torque is reached, and the vibration rate increases after that revolution.

**Keywords:** Internal Combustion Engine, Diesel, Gasoline, Revolution, Vibration.

---

### **1. Giriş**

Taşıtlarda konfor faktörünü etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunların en önemlisi olan titreşim ve gürültü, taşıt sürüş güvenliğini ve konforunu etkileyen önemli unsurlardan ikisidir. Oldukça karmaşık dinamik bir sisteme sahip olan motorlu taşıtlar, içerisinde bulunan yolcular, eşyalar, yol zemini ve taşıt etrafında akan hava ile sürekli etkileşim halindedirler. Karayolu taşıtlarında titreşim ve gürültünün temel kaynakları, içten yanmalı motor, yol yüzeyi ve aerodinamik etkilerdir. Sürekli olarak titreşime ve gürültüye maruz kalan kişilerde dikkat dağınıklığı, stres, sinirlilik hali ve yorgunluk belirtileri gözlenmektedir [1,2]. Bu durumdaki bir sürücünün kaza yapma olasılığı daha da

---

\*Sorumlu yazar: [ngultekin@kmu.edu.tr](mailto:ngultekin@kmu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 07/08/2017 Kabul Tarihi: 29/09/2017

yükselmektedir. Ayrıca taşıttaki titreşimler, taşıt üzerindeki sistemlerin darbelere, malzeme yorgunluğuna, sürtünmelere ve ısıl gerilmelere maruz kalmalarına ve kısa sürede arızalanmalarına neden olabilir. Malzeme yorgunluğuna bağlı arızalanmalar, titreşimin en önemli sonuçları arasında yer almaktadır [3,4]. Titreşimin azaltılması gürültü miktarını da yaklaşık iki kat kadar azaltmaktadır [5].

İçten yanmalı motorlarda oluşan titreşimlerin temel sebepleri; yanma sonucu oluşan değişken gaz kuvvetleri, ivmeli hareket yapan motor parçalarının balanssızlığı, volanın meydana getirdiği merkezkaç kuvveti ve supap mekanizmasındaki geçici rejim etkileşimleridir [6,7]. İvmeli doğrusal ve dögüsel hareket gerçekleştiren parçalar ile balanslanmamış kütlelerin yarattığı zorlama kuvvetleri, harmonik motor frekanslarının tam katlarını meydana getirirler. Gaz kuvvetleri ise harmonik motor frekanslarının hem tam hem de yarım katlarının oluşumuna katkı yaparlar. Harmonik frekanslı motor titreşimlerinin daha küçük katları, parçaların esnekliklerinden, parçalar arası boşluklardan ve süreksiz temaslar gibi bazı diğer faktörlerden kaynaklanmaktadır [5,8].

Taşıt motorlarının gelişmesiyle birlikte, titreşimlerde önemli derecede azalmalar sağlanmıştır. Özellikle dizel motorlardaki titreşimler eski teknoloji dizel motorlara göre oldukça azalmıştır. İçten yanmalı motorlarda titreşimi yok etmek günümüz teknolojisinde imkânsızdır. Fakat azaltmak mümkündür. Özellikle malzeme teknolojisindeki ilerlemeler motor titreşimi üzerinde olumlu yönde etki etmektedir. Geçmişten günümüze bilinen en önemli durum ise dizel motorların benzinli motorlara göre daha salınımlı çalıştığıdır.

Bu çalışmanın amacı; farklı çalışma parametrelerinin uygulandığı benzinli ve dizel motorların, oluşturmuş olduğu titreşimleri kendi içlerinde ve birbirleri ile kıyaslayarak optimum çalışma koşulunu tespit etmek ve motorların oluşturmuş olduğu titreşimi azaltabilecek faktörleri incelemektir

## 2. Materyal ve Metot

Deneylerde, dizel motor ve benzinli motor kullanılmıştır. Motorlar farklı firmalara ait motorlardır. Motorların üretim yılları benzerdir ve benzer çalışma koşulları için gerekli yenileştirmeler yapılmıştır. Motorlardan titreşim verilerini almak için ise PCE-VD3 model ivme ölçer titreşim cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, entegre triaksial (X, Y, Z eksenleri) ivme sensörü olan minyatür universal veri kaydedicisidir. Bu cihazın dahili sensörünün eksen başına  $\pm 18$  ölçüm aralığı vardır ve X, Y, Z eksenlerinde ve toplam bileşke ivme olarak dört farklı ivme türü g biriminde ölçülür. Bu deney ekipmanları Resim 1'de verilmiştir. Titreşim verileri bilgisayar aracılığı ile kayıt altına alınmıştır. Titreşim verileri 500 ms zaman aralığında yazılım tarafından otomatik kaydedilmiştir. Seçilen her motor devri için ölçüm süresi 15 sn kabul edilmiştir. Her ölçüm sonunda ortalama ve maksimum bileşke ivme değerleri kaydedilmiştir.



a)



b)



c)

**Resim 1.** Deneyde kullanılan ekipmanlar: a) Dizel motor, b) Benzinli motor, c) İvme ölçer cihaz

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo1’de bu iki motorun farklı devirlerindeki maksimum ve ortalama titreşim verileri görülmektedir. Benzinli motorların genel çalışma aralığı 2500-3500 dev/dk iken, dizel motorların çalışma aralığı biraz daha düşük 1500-2500 dev/ dk’dır.

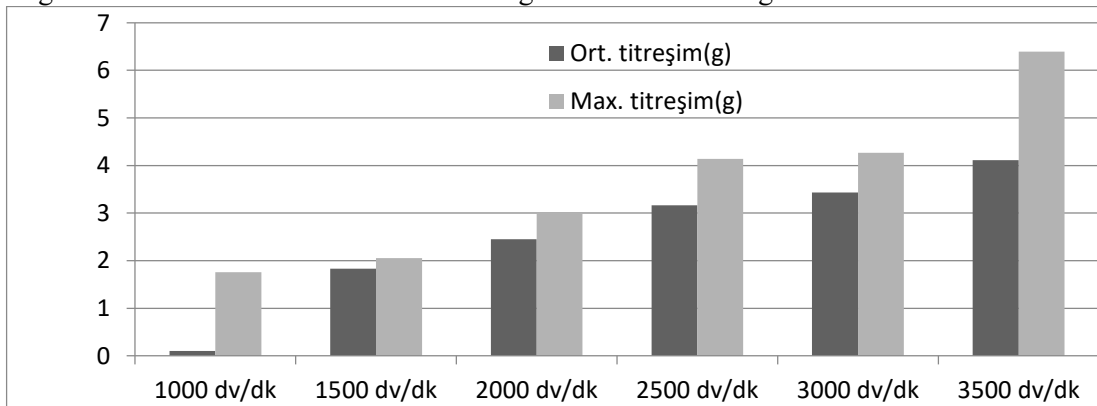
**Tablo1.** Benzinli ve dizel motor titreşim verileri

DEVİR(DEV/DK)	Benzin Titreşim ivme(g)		Dizel Titreşim ivme(g)	
	Max.(g)	Ort.(g)	Max.(g)	Ort.(g)
1000	1,76	0,10	6,80	4,22
1500	2,05	1,83	4,86	3,57
2000	2,98	2,45	5,71	4,30
2500	4,14	3,16	7,58	5,03
3000	4,27	3,43	9,59	6,24
3500	6,39	4,11	12,22	8,08

Veriler incelendiğinde 1000 dev/dk’da benzinli motorda ortalama titreşim 0.1g iken devir arttıkça titreşim artmaktadır. 3000 dev/dk’dan sonra titreşimde yüksek bir artış oranı tespit edilmiştir. Bunun sebebi ise maksimum güç devrinden sonra motorun çalışmasındaki düzensizliktir.

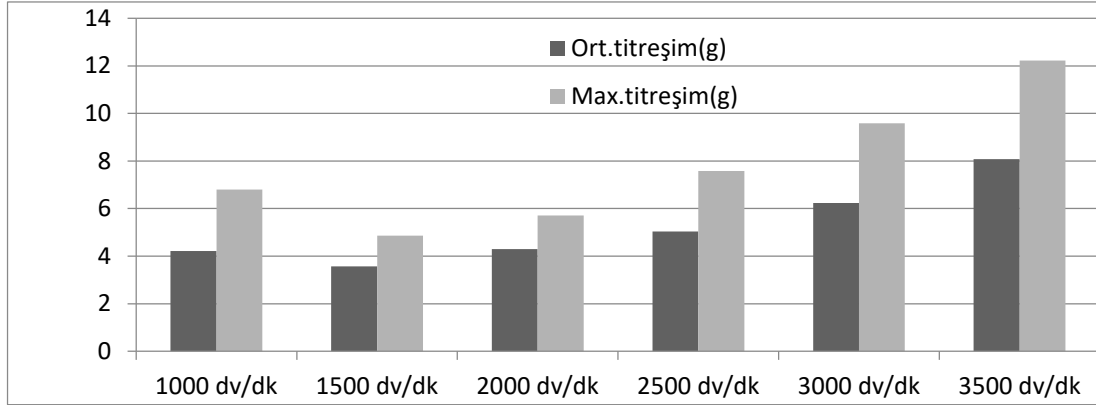
Dizel motorda 1000 dev/dk’da titreşim 4,22 g tespit edilmiştir. Devir arttıkça 1500 dev/dk’dan sonra orantılı bir titreşim artışı gözlemlenmiştir. Rölanti devrinde yüksek titreşim tespit edilmesi deney motorlarının ilk deneylerde soğuk olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek devirlere çıkıldıkça dizel motorun daha düzenli çalıştığı ve maksimum güç devrinden sonra benzinli motorlar gibi titreşim değerinin çok yükseldiği tespit edilmiştir.

İki farklı motorun kıyaslanması karakteristik özelliklerinden dolayı tam mümkün olmamakla birlikte, dizel motorların genelde soğuk iken daha fazla titreşim oluşturduğu söylenebilir. Deneyin diğer bir önemli bulgusu ise ortalama ile maksimum ivme değerleri arasındaki bağıntıdır.



**Şekil 1.** Benzinli motor maksimum ve ortalama titreşim (g) karşılaştırılması

Benzinli motorda maksimum titreşim ile ortalama titreşim arasındaki oran farkı; 1500 dev/dk'da %12, 3000 dev/dk'da %24 şeklinde ölçülmüştür. Benzinli motorlarda 1500-3000 dev/dk arası oran farkının az olması motorda oluşan vuruntunun az olduğunun bir kanıtı olarak görülebilir.



Şekil 2. Dizel motor maksimum ve ortalama titreşim(g) karşılaştırılması

Dizel motorda maksimum ile ortalama ivme değeri arasındaki oran farkı; 1500 dev/dk'da %36, 3000 dev/dk'da %60 şeklinde ölçülmüştür.

Benzinli ve dizel motorlarda devir artışının çalışma düzensizliğini artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca benzinli motorların maksimum ve ortalama titreşim oranının dizel motora göre oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Bunun başlıca sebebi sıkıştırma oranının farklı olması ve oluşan maksimum basınç farklarının olduğu düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada benzinli ve dizel motorların kendi içlerindeki değerlendirmeleri yapılmış ayrıca genel anlamda iki motor kıyaslanmıştır. Deneyler sonucunda dizel motorların beklenildiği gibi daha titreşimli çalıştığı tespit edilmiştir. Çalışmadaki en önemli sonuçlardan bir diğeri ise, özellikle bakımı düzenli yapılmayan ve ayarları rutin kontrol edilmeyen motorların titreşimlerinin çok arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışmanın devamında farklı motor tiplerinin çalışması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuca varılmasındaki en önemli faktör ise doğrusal hareketin dairesel harekete dönüşmesinde oluşan titreşimlerdir. Pistonun ÜÖN (üst ölü nokta) ve AÖN (alt ölü nokta) da yön değiştirebilmesi için bir an durması ve bunun sonucunda oluşan titreşimler çalışması gereken en önemli konu olarak tespit edilmiştir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda; wankel motorlarının ve boksör tipi motorların oluşturdukları titreşimler incelenerek bu motorların yapmış olduğu salınımlar sıra tipi motorların salınımları kıyaslanacaktır.

#### Kaynaklar

1. Drugă C., Barbu D., Lache S. (2007). Vibration and The Human Body, Fascicle of Management and Technological Engineering, 6 (16): 168-173.
2. Hostens I., Ramon H. (2003). Descriptive Analysis of Combine Cabin Vibrations and Their Effect on the Human Body, Journal of Sound and Vibration, 266: 453-464.

3. Chu C.C. (1997). Multiaxial Fatigue Life Prediction Method in the Ground Vehicle Industry, *International Journal of Fatigue*, 19: 325-330.
4. Fonta M., Freitas M. (2009). Marine Main Engine Crankshaft Failure Analysis, *Engineering Failure Analysis*, 16: 1940-1947.
5. Karabulut H. (2012). Dynamic Model of a Two-cylinder Four-stroke Internal Combustion Engine and Vibration Treatment, *International Journal of Engine Research*, 13: 616-627.
6. Boysal A., Rahnejat H. (1997). Torsional Vibration Analysis of a Multi-body Single Cylinder Internal Combustion Engine Model, *Applied Mathematical Modelling*, 21: 481-493.
7. De la Cruz M., Theodossiades S., Rahnejat H. (2009). An Investigation of Manual Transmission Drive Rattle, *Journal of Multi-Body Dynamics*, 224: 167-181.
8. Rahnejat H. (1998). *Multi-Body Dynamics: Vehicles, Machines and Mechanisms*, Professional Engineering Publishing, SAE, London.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Görüntü İşleme Teknikleriyle Yüz Algılama Sistemi Geliştirme**

Ayşe ELDEM<sup>1\*</sup>, Hüseyin ELDEM<sup>2</sup>, Abdurrahman PALALI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karaman

<sup>2</sup>Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Karaman

---

### **Özet**

Bilgisayar bilimlerindeki önemli çalışma konularından biri de görüntü işlemedir. Bir görüntüden faydalı bir bilgi çıkarılarak yorumlanması gerektiğinde görüntü işleme tekniklerinden faydalanılmaktadır. İşlenecek görüntü, kameralar, optik tarayıcılar ve fotoğraf makineleri yardımıyla elde edilebilir. Bu dijital görüntülerin sayısallaştırılmasıyla üzerinde farklı işlemler uygulanarak anlamlı yorumlanabilir sonuçlar elde edilebilir. Tıp, Askeri, Endüstriyel ve Coğrafi Sistemler gibi birçok alanda kullanılan görüntü işleme teknikleri, güvenlik sistemleri alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Parmak izi, iris ve yüz tanıma gibi uygulamalar güvenlik alanında görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılabilmektedir. Tarayıcı, kamera ya da fotoğraf makinesi üzerinden alınan görüntülerin yorumlanabilmesi için belirli ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bu konuda yazılımsal olarak programlama dilleriyle geliştirilmiş birçok kütüphane bulunmaktadır. Açık kaynak kodlu bir kütüphane olan OpenCV (Open Source Computer Vision Library) bu çalışmada tercih edilen görüntü işleme kütüphanelerinden biridir. Geliştirilen uygulamada OpenCV' nin C# için geliştirilmiş olan OpenCVSharp bileşeni kullanılmıştır. Kamera ile bireylerin fotoğrafları elde edilerek bireylerin yüz bölgeleri bulunmuştur. Ardından veritabanında kayıtlı olan verilerle karşılaştırılarak bireyin hangi oranda kime benzediği geliştirilen program aracılığıyla gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada yüz tanımda %79 oranında başarı sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Görüntü İşleme, OpenCV, OpenCVSharp, Yüz Tanıma.

---

## **Face Recognition System Development with Image Processing Techniques**

### **Abstract**

One of the important study topics in computer science is image processing. When useful information needs to be interpreted by extracting from an image, image processing techniques are utilized. The image to be processed can be obtained with the help of cameras, optical scanners and photographic machines. By digitizing these digital images, different interpretations can be applied to obtain meaningful interpretable results. Image processing techniques used in many fields such as Medical, Military, Industrial and Geographical Systems and also widely used in the field of security systems. Applications such as fingerprint, iris and face recognition can be performed using image processing techniques in the field of security. To be able to interpret the images taken via scanner, camcorder or camera, certain preprocessing needs to be done. In this regard, as a software there are many libraries developed by programming languages. OpenCV (Open Source Computer Vision Library), an open source library, is one of the preferred image processing libraries for this work. The developed application uses OpenCVSharp component developed for C # in OpenCV. By photographing the individual with the camera, facial regions of the individual were found. Then, by comparing the data stored in the database, similarity rate of the persons to the other persons is shown through the developed program. In this study, %79 of achievement succeed in face recognition.

**Keywords:** Image Processing, OpenCV, OpenCVSharp, Face Recognition.

---

---

\*Sorumlu yazar: [ayseeldem@kmu.edu.tr](mailto:ayseeldem@kmu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10/08/2017 Kabul Tarihi: 13/10/2017

Bu çalışmanın özet bölümü 2017 Imeset Uluslararası Konferansı'nda 12-14 Haziran tarihinde sunulmuştur.



## 1. Giriş

Görüntü işleme, herhangi bir aygıt aracılığıyla alınan görüntüler üzerinde herhangi bir işlem yapabilmeyi sağlayan tekniğe verilen isimdir. Görüntü işleme; herhangi bir görüntünün netliğini artırma, görüntü üzerinde bulunan herhangi bir nesnenin elde edilebilmesi ya da nesnelerin tanımlanabilmesi gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Herhangi bir resmin yazılım aracılığıyla kullanılabilmesi için sayısallaştırılması gerekmektedir. Sayısallaştırma; resimde bulunan renklerin sayısal değerlerle ifade edilmesidir.

Teknolojik gelişmelerin hızlı artışı sayesinde güvenlik uygulamalarında da hızlı bir artış meydana gelmektedir. Yüz, parmak izi ve iris tanıma tabanlı birçok personel otomasyonu geliştirilmektedir. Bahsedilen uygulamalarda herhangi bir görüntü alındıktan sonra üzerinde görüntü işleme adımları uygulanarak gerekli veriler elde edilmektedir. Görüntü işlemeyle ilgili standart yöntemler olmakla birlikte bu yöntemlerin haricinde geliştirilen hazır kütüphaneler de bulunmaktadır. OpenCV, EmguCV, AForge.NET bu kütüphanelerden bazıları olup yapılan işlemlerin daha hızlı bir şekilde ve daha az komut satırıyla yapılabilmesini sağlamaktadırlar.

Bu çalışmada kamera aracılığıyla görüntüsü alınan bireylerin yüz bölgesi bulunmuştur. Daha önceden oluşturulan veri tabanındaki resimlerle karşılaştırarak elde edilen yüzün veri tabanında olup olmadığı belirlenmiş ve en yüksek oranla hangi resme benzediği bulunarak ekranda gösterilmiştir. Görüntü işleme adımlarının uygulanabilmesi ve yüz bölgesinin belirlenebilmesi için OpenCVSharp kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

OpenCV, Intel tarafından 1999 yılında geliştirilen açık kaynak kodlu görüntü işleme kütüphanesidir [1]. C, C++, Python ve Java arayüzleri bulunan OpenCV, Windows, Linux, Mac OS, iOS, Android gibi farklı platformlarda çalışabilmektedir [2]. BSD (Berkeley Software Distribution) lisansı sayesinde her türlü projede ücretsiz olarak kullanılabilir. OpenCV, hesaplama verimliliğini artırmak ve gerçek zamanlı uygulamalar için tasarlanmıştır [3].

OpenCV'nin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Yüz, göz, ağız, burun tanıma,
- Herhangi bir nesneyi tanıma,
- Videodaki hareketleri algılama,
- Şablon ve şekil eşleştirme,
- Kamera kalibrasyonu,..

OpenCV kütüphanesi CV, MLL, HighGUI ve CXCore şeklinde isimlendirilen 4 adet ana bileşenden oluşmaktadır.

- CV bileşeni: Görüntü işleme ve yüksek seviyeli görüntü işleme algoritmalarını içerir.
- MLL bileşeni: Birçok istatistiksel sınıflandırıcı ve kümeleme aracı içeren makine öğrenme komutlarını içerir.
- HighGUI bileşeni: Video ve görüntülerin saklanması ve yüklenmesi için I/O işlemlerini ve fonksiyonlarını içerir.
- CXCore bileşeni: Temel veri yapıları ve içeriğini, resim çizme gibi bölümleri içerir.

Bu çalışmada gerekli işlemlerin yapılabilmesi için OpenCV'nin C# için geliştirilmiş olan wrapperlarından olan OpenCVSharp kütüphanesi, veri tabanı olarak Access tercih edilmiştir.

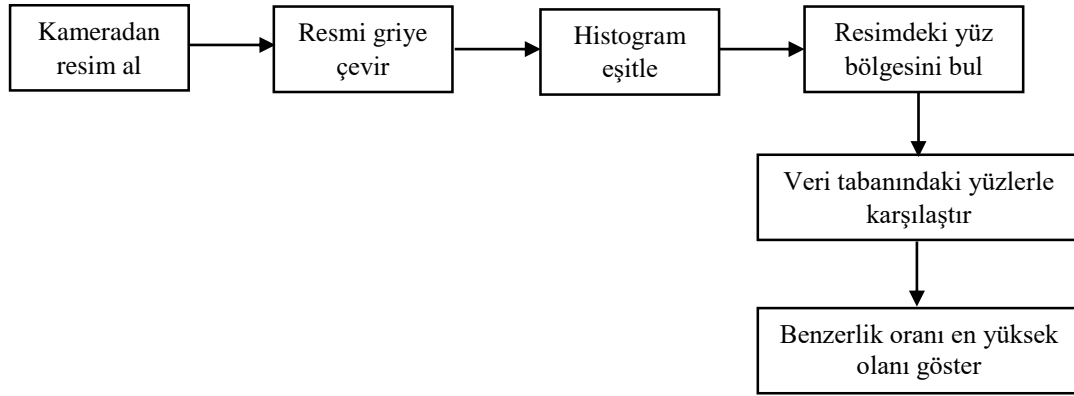
## 3. Bulgular ve Tartışma

Geliştirilen uygulamada ilk olarak bireylerin resimleri kamera aracılığıyla alınmıştır. Bireylerle bilgisayar kamerasının arasındaki uzaklık 60 cm olarak ayarlanmıştır. Ardından her bireye bir numara verilmiş, bireyin adı soyadı ve ilgili kişinin resminin adı da verilen numara olacak şekilde veri tabanına Tablo 1'de gösterildiği gibi kaydedilmiştir. 100 kişiye ait kayıt oluşturulmuş olup resimler kaydedilirken resimlerin sadece yüz bölümü kaydedilmiştir.

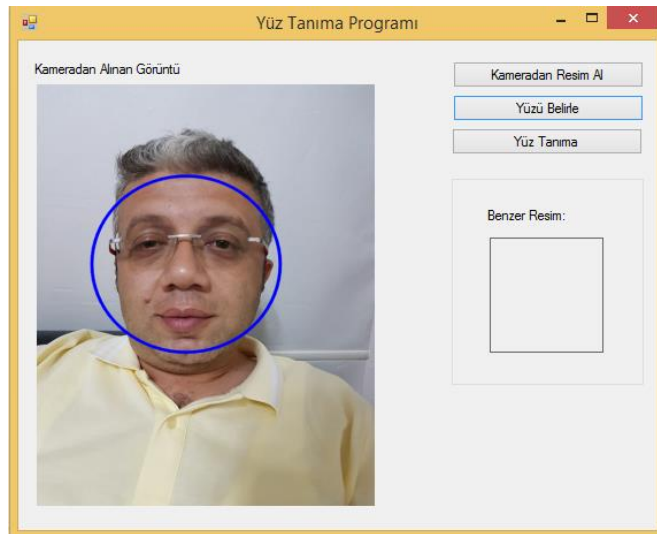
**Tablo 1.** Veri tabanında depolanan bilgiler

Birey Numarası	Ad Soyad	Resim Adı
1	Ayşe ELDEM	1.jpg
2	Büşra ONAT	2.jpg
....	...	...
99	Hüseyin ELDEM	99.jpg
100	Abdurrahman PALALI	100.jpg

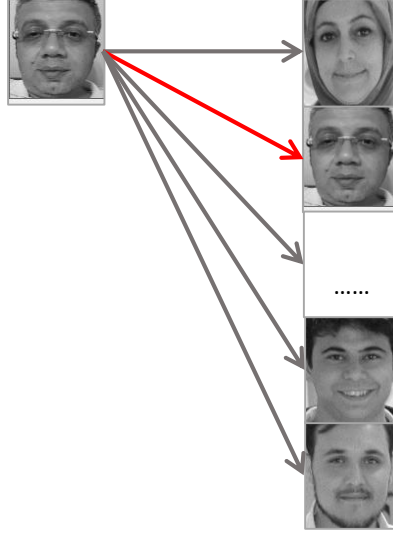
Veri tabanı oluşturulduktan sonra herhangi bir bireyin kamera aracılığıyla görüntüsü alınarak veri tabanında var olup olmadığı kontrol edilmektedir. Bireyin görüntü alındıktan sonra gerekli kontrolün yapılabilmesi için uygulanan işlem adımları Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 2’de de geliştirilen yazılımsal arayüz gösterilmiştir.

**Şekil 1.** İşlem Adımları

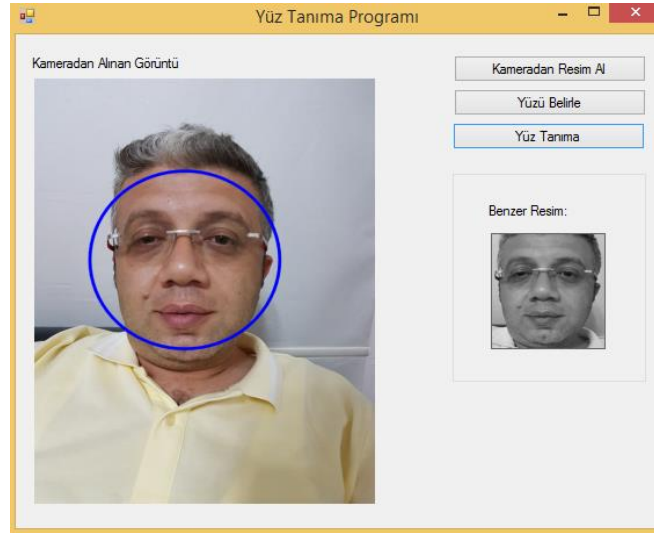
Şekil 2’de gösterilen program arayüzü kullanılarak “Kameradan Resim Al” butonu sayesinde kamera aracılığıyla resim sisteme yüklenmektedir. Bireyin görüntüsü alındıktan sonra bireyin yüz bölgesinin bulunabilmesi için “Yüzü Belirle” butonu kullanılmaktadır. Burada geliştirilen yazılımda ilk olarak renkli resim gri resme dönüştürülmektedir. Resim griye çevrilirken herhangi bir noktadaki piksel değerine ait RGB (kırmızı, yeşil, mavi) renk değerleri toplanarak 3’e bölünüp gri piksel değeri elde edilmektedir. Ardından EqualizeHist komutu ile resmin hem parlaklığı azaltılır hem de kontrastı düşürülerek resim daha belirgin hale getirilmektedir [4]. Daha sonra bireye ait yüz bölgesinin bulunabilmesi için OpenCV’ nin haarcascade yapısı kullanılmıştır.

**Şekil 2.** Geliştirilen Yazılım

“Yüz Tanıma” butonu ile Tablo 1’deki daha önce oluşturulan yüz verileriyle o anda alınan bireyin yüz fotoğrafı Şekil 3’te gösterildiği üzere şablon eşleştirme yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Hata değeri en düşük olan resim en çok benzeyen resim olduğu için 100 kaydı kontrol ettikten sonra hata oranı en düşük olan resim programdaki Benzer Resim bölümüne Şekil 4’te gösterildiği gibi yüklenmektedir.



Şekil 3. Veritabanındaki Verilerle Karşılaştırma



Şekil 4. Karşılaştırma Sonucu

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, gelişen teknoloji ile birlikte artan güvenlik sistemleri için temel bir uygulama geliştirilmiştir. Bireylerin profil fotoğrafları kamera aracılığıyla alınarak bireylerin yüz bölgeleri OpenCV kütüphanesi kullanılarak elde edilip yüz fotoğrafları veri tabanına kaydedilmiştir. Ardından herhangi bir bireyin profil fotoğrafı alındığında o bireyin ilgili veri tabanında kayıtlı olup olmadığını bularak en çok hangi bireye benzediğini bulan bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulamada yaklaşık %79 oranında bir başarı elde edilmiştir.

## Kaynaklar

1. Erişti E. 2010. Görüntü İşlemede Yeni Bir Soluk, OPENCV, Akademik Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 10-12 Şubat, Muğla.
2. OpenCV. 2017. <http://www.opencv.org> (Erişim Tarihi: 8.7.2017).
3. Bradski G., Kaehler A. 2008. *Learning OpenCV*, O'Reilly Media Inc., USA .
4. Karakoç M. 2012. [http://ab.org.tr/ab12/sunum/21-goruntu\\_isleme-Karakoc.pdf](http://ab.org.tr/ab12/sunum/21-goruntu_isleme-Karakoc.pdf) (Erişim Tarihi: 08.07.2017).

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Probiyotik Maya Olarak *Saccharomyces cerevisiae*'nın Gelişimine *Citrus limon* (L.) Burm. f. (Limon)'un Bazı Fitokimyasal Etkileri**

Pınar ERECEVİT<sup>1\*</sup>, Sevda KIRBAĞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Munzur Üniversitesi, Pertek Sakine Genç Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, TR 62500-  
Pertek/Tunceli/Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 23119-Elazığ/Türkiye

**Özet**

Bu çalışmada; besin olarak tüketilen *Citrus limon* (L.) Burm. f. (limon) ile muamele edilen *Saccharomyces cerevisiae* ekstraktlarının yağ asidi, vitamin, fitosterol, flavonoid ve resveratrol içerikleri ile antimikrobiyal aktiviteleri belirlenerek karşılaştırmalar yapıldı.

Elde edilen sonuçlara göre; limon ekstraktındaki toplam yağ asidi düzeylerinin belirgin, vitamin ve fitosteroller içeriklerinin kısmi seviyelerde olduğu gözlemlendi. *S. cerevisiae* ile hazırlanan limon ekstraktlarının toplam yağ asidi düzeylerinin çok belirgin, vitamin içeriklerinin farklı miktarlarda arttığı, flavonoid içeriklerinin ise farklı oranlarda azaldığı saptandı. Çalışmada limonun değişen oranlarda antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelere sahip olduğu görüldü. *S. cerevisiae* içeren limon ekstraktlarının ise antimikrobiyal aktiviteleri incelendiğinde yağ asidi ekstraktlarının tüm bakteri, maya ve dermatofit funguslarda değişen oranlarda etkili olduğu görülürken, vitamin ekstraktlarının *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* FMC 5 ve flavonoid ekstraktlarının ise *Bacillus megaterium* DSM 32, *Staphylococcus aureus* COWAN 1, *Trichophyton* sp. dışındaki tüm mikroorganizmalarda az miktarlarda antimikrobiyal aktivite gösterdiği saptandı.

Sonuç olarak; besinsel lif kaynağı olan limonun, bu çalışmada kullanılan potansiyel probiyotik olarak kabul edilen *S. cerevisiae* için hem enerji kaynağı hemde olumlu yönde etkilerinin olduğu ve limondan elde edilen ekstraktlar içerisinde gelişen bu maya türünün faydalı bitkisel biyolojik bileşiklere değişen oranlarda etki gösterdiği saptandı.

**Anahtar Kelimeler:** *Saccharomyces cerevisiae*, Yağ Asidi, Vitamin, Fitosterol, Antimikrobiyal Aktivite.

**Determination of Phytochemical Characteristics of *Citrus limon* (L.) Burm. f. (Lemon) on the development of *Saccharomyces cerevisiae* as probiotic yeast**

**Abstract**

In this study; fatty acid, vitamin, phytosterol, flavonoid and resveratrol contents and antimicrobial activities of *Citrus limon* (L.) Burm. f. (lemon) extracts treated with *Saccharomyces cerevisiae* were determined and compared. *C. limon* (L.) Burm. f. (lemon) is consumed as food worldwide both by humans and animals.

According to the results obtained; it was observed that total fatty acid contents in lemon extract were at certain levels and vitamin and phytosterol contents were at moderately significant. It was detected that total fatty acid levels of lemon extracts prepared with *S. cerevisiae* increased at significantly high and vitamin contents on the other hand increased at different rates; however, flavonoid contents decreased at different rates. In the study, it was noticed that Lemon had antioxidant and antimicrobial activities at changing rates.

When antimicrobial activities of lemon extracts containing *S. cerevisiae* were analyzed, it was observed that they had effect at changing rates against all of the bacteria, yeasts and dermatophyte fungi of fatty acid extracts. On the other hand, vitamin and flavonoid extracts demonstrated scarcely any antimicrobial activity against all of the microorganisms except *E. coli*, *K. pneumoniae* and *B. megaterium*, *S. aureus*, *Trichophyton* sp.

In conclusion, it was detected that lemon, which is known as dietary fiber source, had both energy source and positive effects for the development of *S. cerevisiae* used in this study which is also accepted as a potential probiotic. It was observed that this yeast type developing in extracts obtained from lemon affected beneficial phto- bioactive compounds at changing rates.

**Key words:** *Saccharomyces cerevisiae*, Fatty Acid, Phytosterol, Vitamin, Antimicrobial Activity.

\* Sorumlu yazar: [perecevit@munzur.edu.tr](mailto:perecevit@munzur.edu.tr); [pinarerecevit@hotmail.com](mailto:pinarerecevit@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 16/12/2016 Kabul Tarihi: 29/09/2017

## 1. Giriş

Probiyotik kültürler, bağırsakta doğal olarak bulunan mikroorganizma popülasyonunu olumlu yönde değiştirerek, insan ya da hayvan sağlığı üzerinde yararlı etkiler yaratan tek veya karışık kültürler olarak tanımlanmaktadır. Mide bağırsakta bulunan mikroorganizmalar ile konakçı arasında bir denge vardır. Bu denge bozulduğu zaman klinik hastalıklar oluşur. Son yıllarda bağışıklık ile sağlıklı yaşam arasındaki ilişki üzerine çalışmalar artmış ve bu çalışmalar sonunda da sindirim sisteminin mikrobiyal dengesi ile sağlıklı beslenme ve yaşam arasında doğrudan bir ilişki olduğu netlik kazanmıştır [1].

Hamur mayası olarak bilinen ve fırıncılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan *S. cerevisiae*, gastroenterit tedavisi için probiyotik olarak, endojen floranın ve immün sistemin düzenlenmesinde kullanıldığı, probiyotiklerin besinsel kaynaklarından kefir tanelerinde fungal mikrobiyota'da bulunduğu, istenmeyen mikroorganizmaların gelişiminin engellenmesi ve enzim üretimi gibi birçok önemli etkilerinin olduğu ifade edilmiştir [2-9]. Aynı zamanda vücudumuz için yararlı olan bu mikroorganizmaların beslenmesi için prebiyotikler gereklidir [10]. Prebiyotik kaynak olarak sindirilemeyen karbonhidratların üzerinde daha çok durulmaktadır [11]. Prebiyotiklerin insan ve hayvan sağlığı üzerine olumlu etkileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [12-15].

Doğadaki mikro-organizmaların insan sağlığına olan olumlu etkilerine dikkat çekmek amacıyla, son yıllarda probiyotik- prebiyotik konusu üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada hazım kolaylaştırıcı ve besinsel lif kaynağı olarak bilinen limonun, potansiyel probiyotik olan *S. cerevisiae*'nin gelişimine nasıl etki ettiği araştırılarak bazı fitokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Böylece bitkisel olarak beslenmenin canlıların sağlığına yararlı olan probiyotik- prebiyotik ilişkisi üzerine yapacağı olumlu etki bakımından çalışmanın önemi vurgulanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan limon örnekleri Elazığ ilinden temin edildi. Kabuk kısımları ile birlikte ekstrakt edilinceye kadar -20 °C'de derin dondurucuda muhafaza edildi.

### 2.1. Şeker Analizi

10 g limon örneği distile su ile homojenize edildi. Daha sonra santrifüj edilip (5000 rpm+4 °C) pellet ile süpernatant kısmı ayrıldı. Toplam filtratın hacmi belirlendikten sonra HPLC cihazı ile analiz edildi ve Shim-Pack HRC NH<sub>2</sub> (150x4.6 mm, 5µ.) kolonu kullanıldı. Mobil faz olarak Asetonitril+Su (v/v) (%75/%25) karışımı kullanıldı [16].

### 2.2. Lipid Ekstraksiyonu

Örnek 50/200 oranında metanol ile hazırlanıp steril cam erlene bırakıldı. Ekstrakt blenderda çözücüler içerisinde parçalanmasıyla elde edildi. Parçalama işleminden sonra santrifüj edilip (5000 rpm+4 °C) elde edilen süpernatandan rotavapor kullanılarak çözücüler ortamdan uzaklaştırıldı. Yaş ağırlığı belirlenen hücre pelletleri 3/2 (v/v) Hekzan-İzopropanol karışımı ile homojenize edildi. 5000 rpm'de 4 C°'de 5dk. santrifüj edildikten sonra süpernatant kısmı yağ asidi ve ADEK vitamin analizi için kullanıldı [17]. Alınan ağırlıklar total yağ asidi miktarının hesaplanmasında kullanıldı.

### 2.3. Yağ Asidi Metil Esterlerinin Gaz Kromatografik Analizi

Süpernatant kısmından 5 mL örnek alınıp üzerine 5 mL %2'lik metanolik sülfirik asit (2 mL sülfirik asite yavaş yavaş 98 mL metanol eklenerek hazırlanır) ilave edildi. Vortekslelendikten sonra 50° C'de 12 saat bırakıldı ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra üzerine 5 mL % 5'lik sodyum klorür (NaCl) çözeltisi ilave edilerek vortekslelendi. Yağ asidi metil esterleri 5 mL hekzan ile ekstrakte edildi. Bu karışım 5 mL % 2'lik KHCO<sub>3</sub> çözeltisi ile muamele edildikten sonra, hekzan fazı azot akımı ile uçuruldu ve 1 mL hekzanda çözülerek yağ asidi metil esterlerine dönüştürüldü. Yağ asidi metil esterleri analizi SHIMADZU GC 17 cihazıyla yapıldı [18, 19].

## 2.4. ADEK Vitaminleri ve Sterol Miktarının HPLC Cihazı ile Analizi

Süpernatant kısmından alınan 5 mL örnek üzerine % 5'lik KOH çözeltisi ilave edilip vortekslendi ve 85 °C'de 15 dk. bekletildi. Sonra oda sıcaklığı düzeyinde soğutuldu ve üzerine 5 mL saf su ilave edildi ve vortekslendi. Lipofilik moleküller 2x5 mL hekzan ile muamele edildikten sonra ortamdaki hekzan uzaklaştırıldı. Sonra 1 mL (%50+%50, v/v) asetonitril/metanol karışımında çözdürülüp HPLC cihazı ile analiz edildi [20, 21].

## 2.5. Fitosterollerin Ekstraksiyonu ve Analizi

Hekzan/izopropil alkol karışımı (3/2 v/v oranında) ile homojenize edilen limon örneği üzerine % 5'lik KOH ilave edildi ve 85 °C'de hidroliz edildi. Ekstraksiyon n-heptan ile muamele edildi.

Analiz, Shimadzu marka HPLC cihazı ile yapıldı. Cihazda pompa olarak LC-10 ADVP UV-visible detectör olarak SPD-10AVP, kolon firması olarak CTO-10ASVP, otosampler olarak SIL-10ADVP, degasser ünitesi olarak DGU-14A ve Class VP software (Shimadzu, Kyota Japan), mobil faz olarak asetonitril/metanol (%60+%40, v/v) karışımı kullanıldı. Mobil faz akış hızı 1ml olarak belirlendi. Analiz için UV dedektör kullanıldı. Kolon olarak da Süpelcosil LC 18 (15x4.6 cm, 5 µm; Sigma, USA) kolonu kullanıldı. A vitamini için dedeksiyon dalga boyu 326 nm, E vitamini için 202 nm, D ve K vitaminleri için 265 nm kullanıldı [20].

## 2.6. Resveratrol ve Flavonoid İçeriğinin Belirlenmesi

Flavonoidlerin kromatografik analizi için 5 µm iç çapında PREVAIL C18 (15x4.6 mm) ters-faz kolon kullanıldı. Mobil faz olarak %1 asetik asit içeren metanol/su/asetonitril (46/46/8, v/v/v) karışımı kullanıldı. Flavonoid ve resveratrol analizi HPLC cihazında yapıldı ve tüm işlemler 25 °C'de gerçekleştirildi [22].

## 2.7. DPPH Radikal Temizleme Aktivitesi

Serbest radikal 25 mg/L DPPH metanolik çözelti hazırlandı. Deney sırasında 3.9 mL DPPH radikalının metanolik çözeltisi üzerine 25, 50, 100 ve 250 µL konsantrasyonlarda bitki örnekleri ilave edilip vortekslendi ve oda sıcaklığında karanlık bir ortamda 30 dakika inkübe edildi. Absorbans değerleri için 517 nm'de blanka karşı spektrofotometrede okundu [23, 24].

Radikal temizleme aktivitesi % olarak hesaplandı. DPPH radikal temizleme aktivitesi; (%)=[(Kontrolλ-Örnekλ)/(Kontrolλ)]x100 formülü ile hesaplandı.

## 2.8. Antimikrobiyal Aktivite

### 2.8.1. Çalışmada Kullanılan Test Mikroorganizmaları

Çalışmada probiyotik maya olarak kullanılan; *Saccharomyces cerevisiae* Fırat Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Mikrobiyoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan elde edilerek, ekstraktların antimikrobiyal etkilerinin test edilmesinde kullanılan patojen mikroorganizmalardan; *Staphylococcus aureus* COWAN 1, *Bacillus megaterium* DSM 32, *Klebsiella pneumoniae* FMC 5, *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterileri, *Candida albicans* FMC 17, *Candida glabrata* ATCC 66032 mayaları, *Trichophyton* sp., *Epidermophyton* sp. dermatofit fungus türleri de aynı kültür koleksiyonundan sağlandı.

### 2.8.2. Mikroorganizma Kültürlerinin Hazırlanması ve Ekim

Bakteri suşları; Nutrient Buyyon'a aşılansak 35±1°C'de 24 saat, maya suşları; Yeast Malt Ekstrakt Buyyon'da ve dermatofit funguslar Glukozlu Sabouroud Buyyon'da 25±1°C'de 48 saat süre ile inkübe edildi. Sıvı besiyerinde gelişen kültürler, Mc Farland (0.5) standart tüpüne göre bulanıklık ayarı yapıldıktan sonra buyyon tüplerine aktarıldı. Erlenmayerde steril edilen ve 45-50°C'ye kadar soğutulan Mülller Hinton Agar, Yeast Malt Ekstrakt Agar ve Sabouraud Dextrose Agar yukarıda belirtildiği şekilde hazırlanıp bakteri, maya ve fungusların buyyondaki kültürü ile %1 (kültür

örneklerinin alınacağı halkalı özenin çapı 0.01 mL sıvı alacak şekilde olmalı) oranında aşılansarak ( $10^6$  bakteri/ mL,  $10^4$  maya/ mL,  $10^4$  fungus/ mL) iyice çalkalandıktan sonra 9 cm çapındaki steril petri kutularına 15'er mL konuldu ve besiyerinin homojen bir şekilde dağılması sağlanmış oldu.

### 2.8.3. Oyuk Agar Metodu

Her mikroorganizma için ayrı olarak agar hazırlandı. Bakteriler; müller hinton agara içine ekim, mayalar; yeast malt ekstrakt agara ve dermatofit funguslar; sabouraud dextrose agara yüzeysel ekim yapıldı. Katılaştıran agar üzerine 6 mm çapında oyuk açıldı. Açılan oyuklara bir damla besiyerinden sonra 10 µL flavanoid, vitamin, yağ asidi örnekleri direkt olarak aktarıldı. Bu şekilde hazırlanan petri kutuları 4°C'de 1.5-2 saat bekletildikten sonra bakteri aşılansan plaklar  $37\pm 1^\circ\text{C}$ 'de 24 saat, maya ve dermatofit aşılansan plaklar ise  $25\pm 1^\circ\text{C}$ 'de 3 gün süre ile inkübe edildi. Çalışma 3 paralel olarak yürütülerek ve sonuçlar ortalama değer olarak inhibisyon zonu (mm) şeklinde değerlendirildi [25, 26].

### 2.9. *Saccharomyces cerevisiae*'nın Geliştirilmesi ve *Citrus limon* (limon) Ekstraktı ile Muamele Edilmesi

*S. cerevisiae*'nin gelişimi ve çoğalması için Yeast Malt Ekstrakt Buyyon'a ekimi yapıldı. Spektrofotometre'de 517 nm'de absorbans değerleri okunduktan sonra hazırlanan minimal besiyeri ve (0.019 M NaCl, 0.022 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0.049 M  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 0.019 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 0.002 M  $\text{MgSO}_4$ , 0.011 M Glukoz) [27] limon ekstraktınının olduğu ortama steril şartlarda *S. cerevisiae*'nin buyyondaki kültürü ile %1 oranında aşılansarak ( $10^4$  maya/ mL) uygun pH (4.8) ortamı sağlandı. Minimal besiyerinde gelişim gösteren ekstraktlar alınıp canlı hücre sayımı için 6 h., 12 h., 24 h., 36 h., 48 h., 60 h. ve 72 h.'de spektrofotometre de 517 nm'de okunduktan sonra Malt Ekstakt Agar'a ekim yapılarak inkübasyona bırakıldı ve koloni sayımlarına bakıldı. Gelişim durma noktasına geldiği anda örnekler santrifüj edilerek pelletleri toplandı. Bu pelletlerin yağ asidi, vitamin, flavonoid ve resveratrol ile antimikrobiyal aktiviteleri incelendi. Kontrol grubu olarak aynı işlemler sadece minimal besiyeri ortamında geliştirilen *S. cerevisiae* ve limon üzerinde de uygulandı ve kıyaslamalar yapıldı. Çalışmalar 3 paralel halinde yürütüldü.

### 2.10. İstatistik Analizi

SPSS 15.0 software programı istatistik analiz için kullanıldı. ANOVA ve LSD testleri de gruplar ve kontrol grubu (limon ve *S. cerevisiae*) arasındaki karşılaştırmalar için kullanıldı. Sonuçlar mean  $\pm$  SEM olarak verildi. Gruplar arasındaki farklılıkların yorumlanmasında  $p < 0.001$  (çok yüksek istatistiksel anlamlılık),  $p < 0.01$  (kısmen istatistiksel anlamlılık),  $p < 0.05$  (Çok az istatistiksel anlamlılık) kullanıldı.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3. 1.Şeker Analizi Sonuçları

Limon ekstraktının şeker analizi sonuçları incelendiğinde (Tablo 1); maltoz, fruktoz, glukoz miktarının yüksek düzeylerde bulunduğu görüldü.

**Tablo 1.** *Citrus limon* (limon) ekstraktının şeker içerikleri

Şeker	LM
Arabinoz	0.0001 $\pm$ 0.00002
Fruktoz	<b>0.0575<math>\pm</math>0.00005</b>
Glukoz	<b>0.0837<math>\pm</math>0.00001</b>
Sakkaroz	0.0294 $\pm$ 0.00001
Maltoz	<b>0.0340<math>\pm</math>0.0001</b>

LM:Limon



### 3.2. Yağ Asidi, Vitamin, Fitosterol, Flavonoid ve Resveratrol İçerikleri

#### 3.2.1. Yağ Asidi

Limon ekstraktlarının yağ asidi içerikleri incelendiğinde sırasıyla (Tablo 2); palmitik asit (16:0), oleik asit (18:1), linoleik asidin (18:2), linolenik asit (18:3) bulunduğu ve 16:0, 18:2'yi yüksek düzeyler de içerdiği gözlemlendi. *S. cerevisiae* ile muamele edilmiş limon ekstraktlarının kontrol grubu limon ve *S. cerevisiae*'ya göre kıyaslandığında; 16:1, 18:0, 18:1, 18:2, 18:3 miktarlarının çok önemli seviyede ( $p<0.0001$ ,  $p<0.001$ ), 16:0 miktarlarının çok düşük seviyede arttığı tespit edildi ( $p<0.05$ ). Bu durum probiyotik olarak kabul edilen *S. cerevisiae*'nın limon ekstraktı ile simbiyotik olarak bir arada bulunup, ortamdaki karbon kaynağından etkilenecek yağ asidi sentezinden sorumlu enzimleri aktive ettiğini göstermektedir. Böylece *S. cerevisiae*'nın gelişimini destekleyen bu ortamın yağ asidi içeriğinde yükselmeler gösterdiği sonucuna varıldı. Yapılan çalışmalarda *Citrus sinensis*, *C. paradisi*, *C. limon*, *C. aurantifolia* türlerinde palmitik asit (16:0), palmitoleik asit (16:1), oleik (18:1), linoleik (18:2) ve linolenik (18:3) asitin bulunduğu, toplam yağ asidi içeriğinin ise %92 den fazla olduğu [28], *Citrus sinensis*, *C. paradisi*, *C. limon aurantifolia* ve *C. limettoides* saks ile yapılan çalışmada bu dört türün yağ asidi içeriği incelendiğinde; 16/16:1'in her ekstrakt için farklı seviyelerde olduğu, linoleik asitin bulunduğu belirtilmiştir [29].

**Tablo 2.** *S. cerevisiae* ile muamele edilen *Citrus limon* (limon)'un yağ asidi düzeyleri ( $\mu\text{g/g}$ )

Yağ Asidi	LM+SC	LM	SC
16:0	105.23±1.00 <sup>b</sup>	93.73±0.08	44.19±4.14
16:1	172.43±3.29 <sup>d</sup>	-	<b>264.00±0.38<sup>cd</sup></b>
18:0	98.00±1.09 <sup>d</sup>	46.00±0.08	26.00±2.08
18:1	<b>267.53±5.20<sup>cd</sup></b>	-	124.60±0.05
18:2	<b>785.76±4.01<sup>cd</sup></b>	89.23±0.26	43.16±2.88
18:3	159.00±4.53 <sup>d</sup>	57.63±0.120	43.23±4.34
Total $\mu\text{g/g}$	<b>1532.43±44.07<sup>cd</sup></b>	<b>286.60±0.23</b>	<b>545.49±0.24</b>

LM+SC: Limon+S. cerevisiae, LM: Limon SC: S. cerevisiae, 16:0: palmitik asit, 16:1: palmitoleik asit, 18:0: stearik asit, 18:1: oleik asit, 18:2: linoleik asit, 18:3: linolenik asit, cd:  $p<0.0001$ , d:  $p<0.001$ , c:  $p<0.01$ , b:  $p<0.05$

#### 3.2.2. Fitosterol ve Vitamin Analiz Sonuçları

Limon ekstraktları vitamin ve fitosterol içerikleri bakımından incelendiğinde (Tablo 3); K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, D vitamini  $\delta$ -tokoferol  $\alpha$ -tokoferol, ergosterol, fitosterollerden; stigmasterol,  $\beta$ -sitosterol'un bulunduğu saptandı. *S. cerevisiae* ile muamele edilen limon ekstraktlarının kontrol grubu limon ve *S. cerevisiae* ile kıyaslandığında D vitamini, retinol ve retinol asetat miktarının çok az ( $p<0.05$ ); K<sub>1</sub>, ergosterol,  $\delta$ -tokoferol'ün anlamlı seviyelerde ( $p<0.001$ ); K<sub>2</sub> vitamini,  $\alpha$ -tokoferol, stigmasterol,  $\beta$ -sitosterol'ün ise çok daha anlamlı seviyelerde ( $p<0.0001$ ) yükseldiği tespit edildi. Buna göre limon ekstraktının, *S. cerevisiae*'nın gelişimini olumlu yönde etkilemesi sonucunda vitamin ve fitosterol üretiminde artışın olduğu düşünülmektedir.

Sadece limon üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada birkaç limon kabuğu ve çekirdeğinden hazırlanan metanol ekstraktlarının antioksidan aktiviteye sahip olduğu ve fenolik asit ve flavonol içeriklerine karşın yüksek oranlarda flavon ve glukosilat içerdikleri [30], yine başka bir çalışmada; limon meyvesinde C vitamini,  $\beta$ -karoten, flavonoid, limonoid, folik asit ve bitkisel bir polisakarit olan diyet lifi gibi bileşiklerin mevcut olduğu ve bu biyoaktif bileşiklerin koruyucu etkiye sahip oldukları buna bağlı olarak antioksidan aktivite gösterdikleri belirtilmiştir [31].

#### 3.2.3. Flavonoid İçerikleri ve DPPH Radikal Temizleme Etkisi

Limon da rutin, kuarsetin, kamferol, kateşin, naringin, naringenin ve resveratrol'ün mevcut olduğu; mirisetin ve morin'in olmadığı ve bu bitkide rutin, kateşin, naringin, kamferol ve naringenin miktarlarının diğer fenolik bileşiklere kıyasla daha yüksek oranlarda bulunduğu belirlendi (Tablo 4). *S.*

*cerevisiae* ile muamele edilen limon ekstraktında ise; limon'a göre (kontrol), rutin, kateşin, naringinin, kamferol, naringenin, kuarsetin ve resveratrolün limona göre farklı seviyelerde azaldığı saptandı ( $p<0.0001$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.001$ ,  $p<0.05$ ). Flavonoidler dahil fenolik bileşikler lipid serbest radikallerini yok ederek yada serbest radikallerde bulunan hidroperoksitlerin ayrışmasını önleyerek antioksidan aktivite gösterdiği için oldukça önemli bitki bileşenleridir [32, 33]. Sonuç olarak fenolik bileşiklerdeki azalma *S. cerevisiae*'nın limondaki bu bileşikleri kullandığının bir belirtisidir.

Yapılan birçok çalışmada limon meyvesinin içerdiği naringin ve limonin bileşiklerinin bulunduğu ayrıca pektin ve diyet lifi bakımından bitkisel bir kaynak olduğu [34], vitamin, flavonoid, karatenoid, mineral ve diyet lifi bakımından zengin olan limon meyvesinin sağlığa faydalı biyoaktif bileşikler olduğu [35], *Citrus myrtifolia* Raf. ekstraktlarının süperoksit ve radikal temizleme aktivitesinin çok etkin düzeylerde olduğu tespit edilmiştir [36].

Limonun DPPH ( $\alpha,\alpha$ -Diphenyl- $\beta$ -picrylhydrazyl) serbest radikalini temizleme etkisi incelendiğinde gittikçe artan bir antioksidan etkiye sahip olduğu ve özellikle 100-250  $\mu$ l'lik konsantrasyon da belirgin bir etki gösterdiği bulundu (Şekil 1).

Limonda bulunan limonoid, limonin, nomilin ve glukozid bileşiklerinin 1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl (DPPH) radikal temizleme aktivitesini düşük seviyelerde olduğu [37], limonda bulunan limonoid, flavonoid, kumarin gibi fenolik bileşiklerin antioksidan özelliği üzerine yapılan bir çalışmada, limonin, limonin glukozid, neorositrin gibi bileşiklerin güçlü bir antioksidan etkiye sahip olduğu yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir [38].

**Tablo 3.** *S. cerevisiae* ile muamele edilen *Citrus limon* (limon)'un vitamin ve fitosterol düzeyleri ( $\mu$ g/g)

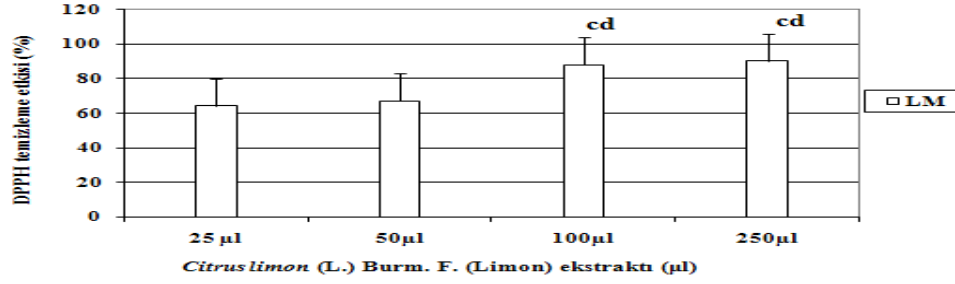
Lipofilik vitaminler ve fitosteroller	LM +SC	LM	SC
Vitamin K <sub>1</sub>	0.025±0.00 <sup>d</sup>	0.0008±0.0004	0.0022±0.0003
Vitamin K <sub>2</sub>	<b>0.0056±0.00</b> <sup>cd</sup>	0.0002±0.0001	0.0020±0.0007
Vitamin D	0.0076±0.001 <sup>c</sup>	<b>0.0064±0.0028</b>	0.0020±0.00007
$\alpha$ Tokoferol	<b>0.24±0.003</b> <sup>cd</sup>	<b>0.0089±0.009</b>	0.040±0.0011
$\delta$ Tokoferol	0.0033±0.00 <sup>d</sup>	0.0001±0.0001	0.0005±0.0001
Retinol	0.0008±0.00 <sup>b</sup>	-	-
Retinol Asetat	0.0001±0.00 <sup>b</sup>	-	0.0002±0.00
$\beta$ -sitositerol	<b>0.87±0.0003</b> <sup>cd</sup>	<b>0.049±0.0067</b>	<b>0.31±0.008</b>
Stigmasterol	<b>0.72±0.003</b> <sup>cd</sup>	<b>0.015±0.0038</b>	<b>0.12±0.013</b>
Ergosterol	0.0164±0.001 <sup>d</sup>	0.0020±0.0001	0.009±0.0006

LM+SC: Limon+S. *cerevisiae*, LM: Limon **cd**: $p<0.0001$ , **d**: $p<0.001$ , **c**: $p<0.01$ , **b**: $p<0.05$

**Tablo 4.** *S. cerevisiae* ile muamele edilen *Citrus limon* (limon)'un flavonoid ve resveratrol düzeyleri ( $\mu$ g/g)

Flavonoidler	LM+SC	LM
Rutin	<b>0.00±0.00</b> <sup>cd</sup>	<b>0.0232±0.004</b> <sup>cd</sup>
Kuarsetin	0.0001±0.00 <sup>c</sup>	0.0002±0.0001
Mirisetin	-	-
Morin	-	-
Kamferol	<b>0.00±0.00</b> <sup>cd</sup>	0.0047±0.0003 <sup>d</sup>
Kateşin	<b>0.002±0.001</b> <sup>cd</sup>	<b>0.0234±0.011</b> <sup>cd</sup>
Naringin	0.042±0.0001 <sup>d</sup>	<b>0.056±0.00025</b> <sup>cd</sup>
Naringenin	<b>0.00±0.00</b> <sup>cd</sup>	0.0057±0.0008 <sup>d</sup>
Resveratrol	<b>0.00±0.00</b> <sup>cd</sup>	0.0010±0.0001 <sup>c</sup>

LM+SC: Limon+S. *cerevisiae*, LM: Limon **cd**: $p<0.0001$ , **d**: $p<0.001$ , **c**: $p<0.01$



Şekil 1. *Citrus limon* (limon) ekstraktlarının DPPH radikali temizleme aktivitesi LM: Limon

### 3.2.3. Antimikrobiyal Aktivite

Çalışmada kullanılan limon meyvesinden elde edilen yağ asidi, vitamin ve flavonoid ekstraktlarının antibakteriyel ve antifungal etkileri Tablo 5'te verildi. Probiyotik maya ile ekstrakte edilmiş limon yağ asidi vitamin ve flavonoid ekstraktlarının antibakteriyel ve antifungal etkileri Tablo 6'da verildi.

Limon meyvesinin (LM) yağ asidi ekstraktlarının çalışmada kullanılan test mikroorganizmalarından *K. pneumoniae*, *S. aureus* dışında tüm bakteri, maya ve fungusların gelişimlerini değişen oranlarda önlediği saptandı. Bu ekstraktların, gram (-) bakterilerden; *E. coli* de (15.6 mm) çok yüksek, gram (+) bakterilerden; *B. megaterium* (27.6 mm), mayalardan; *C. albicans* (12.6 mm), *C. glabrata* da (11.6 mm) kısmi, funguslardan; *Epidermophyton* sp. (23.6 mm), *Trichophyton* sp. (17.6 mm) üzerinde belirgin bir antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahip olduğu belirlendi. Negatif ve pozitif kontrol grubuna ile karşılaştırıldığında; farklı oranlarda antimikrobiyal etkiye sahip olduğu görüldü (Tablo 5). Probiyotik maya ile ekstrakte edilmiş limon yağ asidi ekstraktının (LM+SC: limon+*S. cerevisiae*), bütün maya ve dermatofit funguslarına karşı antifungal aktiviteye sahip olduğu görüldü (8.33-11.66 mm/ inhibisyon zonu). Bakteri türlerinden ise *E. coli*, *K. pneumoniae*, *B. megaterium* da etki gösterdiği (9.66 mm, 11.66 mm), buna karşılık *S. aureus* da herhangi bir etki göstermediği tespit edildi (Tablo 6). Ayrıca *S. cerevisiae* yağ asidi ekstraktlarının ise özellikle maya ve dermatofit fungusların gelişimini engellediği belirlendi. Bakterilerden ise sadece *S. aureus* da etki gösterdiği saptandı (Tablo 6).

Limon meyvesindeki vitamin ekstraktlarının bakteri, maya, dermatofit fungusların gelişimlerine etkisi incelendiğinde; *E. coli*, *Epidermophyton* sp., *Trichophyton* sp. de kısmen (13.66 mm, 11.66 mm, 15.66 mm), *K. pneumoniae*, *B. megaterium*, *C. glabrata*'da belirgin (26.0 mm, 18.6 mm, 15.66 mm), *S. aureus*, *C. albicans*'da çok yüksek seviyede (sırasıyla; 28.5 mm, 27.5 mm, 26.5 mm) bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu gözlemlendi (Tablo 5). Probiyotik maya ile ekstrakte edilmiş limon vitamin ekstraktlarının; bakterilerden *B. megaterium*, *S. aureus* (9.66 mm, 11.66 mm) ve maya ve dermatofit funguslarının (8 mm-11.66 mm) tümüne düşük oranda etki gösterdiği ancak *E. coli*, *K. pneumoniae* türlerine etki etmediği görüldü (Tablo 6). Ayrıca *S. cerevisiae* vitamin ekstraktlarının ise özellikle maya ve dermatofit fungusların gelişimini engellediği belirlendi. Bakterilerden ise *E. coli* (9.66 mm), *B. megaterium* da (8.0 mm) az; *K. pneumoniae* (11.66 mm) ve *S. aureus* da (15.66 mm) yüksek etki gösterdiği saptandı (Tablo 6).

Limon flavonoid ekstraktları antibakteriyel ve antifungal aktivitelerine göre incelendiğinde çok önemli düzeylerde bir etkinin olmadığı tespit edildi (8.66 mm-13.66 mm) (Tablo 5). *S. cerevisiae* ile hazırlanmış limonun flavonoid ekstraktlarının ise bakterilerden *B. megaterium*, *S. aureus* ve *Trichophyton* sp. dışındaki mikroorganizmalara karşı düşük seviyede antimikrobiyal aktivite sergilediği gözlemlendi (8-9 mm) (Tablo 6).

Yapılan bir çalışmada limon meyvesinde yüksek oranlarda bulunan sekonder metabolitlerden; limonoidlerin antikanser, kolesterol düşürücü ve antiviral özelliğe sahip oldukları [39], limonda mevcut olan flavonoidlerden dolayı bir çok biyolojik aktivite dahil olmak üzere, tıbbi etkilerinin olduğu belirtilmiştir [40].

Limon ile yapılan birçok araştırma elde edilen limon ekstraktlarının sonuçlarını destekler niteliktedir. Nitekim *Citrus microcarpa* ekstraktlarından izole edilen 2-Hydroxypropane-1, 2, 3-tricarboxylic asidin çalışmada kullanılan mikroorganizmalara [*Escherichia coli* (ATCC 25922), *Citrobacter freundii*, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus agalatae*, *Edwardsiella*

*tarda* ve *Yersinia enterocolitica*] karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği yapılan çalışmalarla belirtilmiştir [41].

Çalışmamızda *S. cerevisiae* içeren limon ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri incelendiğinde yağ asidi ve vitamin ekstraktlarının kontrol gruplarına (limon ve *S. cerevisiae*) kıyasla, kullanılan bakterilerin bazılarında, maya ve dermatofit fungusların tümünde belirgin ve değişen oranlarda etkili olduğu görülürken, flavonoid ekstraktlarının ise yok denecek kadar az miktarlarda antimikrobiyal aktivite gösterdiği saptandı. Antimikrobiyal aktivite de görülen azalmaların nedeninin yapılarında doğal olarak bulunan biyoaktif bileşiklerin *S. cerevisiae* tarafından tüketilmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca daha önceki araştırmalarında belirttiği gibi mikroorganizmaların kemoterapotik maddelere karşı duyarlılıklarının suştan suşa [42] bitkilerin fitokimyasal özelliklerinin ise türdenden türe farklılık gösterebileceği, bu yüzden kullanılan bazı bitki ekstraktlarının antimikrobiyal aktivite gösterebileceği çalışmanın sonuçlarını destekler niteliktedir. Buna göre elde edilen bu verilerin yapılan yağ asidi, vitamin ve fitosterol, flavonoid ve resveratrol analizi ile paralel sonuçlar gösterdiği ortaya çıkmıştır.

**Tablo5.** *Citrus limon* (limon)'un yağ asidi, vitamin ve flavonoid ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri (mm)

Mikroorganizmalar	LM			Negatif Kontrol		Pozitif Kontrol
	Yağ Asidi	Vitamin	Flavonoid	Metanol	Hekzan	Standart
<i>E. coli</i>	<b>15.6±0.33<sup>cd</sup></b>	13.66±0.33 <sup>c</sup>	<b>13.6±0.33</b>	-	15.33±0.3	10.3±0.3**
<i>K. pneumoniae</i>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	26.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	14.6±0.3	9.6±0.3**
<i>B. megaterium</i>	<b>27.6±0.33<sup>cd</sup></b>	<b>18.66±0.33<sup>d</sup></b>	10.0±0.00	-	13.0 ±0.6	13.3±0.3**
<i>S. aureus</i>	0.00±0.00 <sup>a</sup>	<b>36.66±0.33<sup>cd</sup></b>	8.66±0.33	-	12.3±0.3	9.3±0.3**
<i>C. albicans</i>	12.6±0.33 <sup>c</sup>	<b>37.66±0.33<sup>cd</sup></b>	<b>11.66±0.33</b>	-	17.0±0.0	18.0±0.6*
<i>C. glabrata</i>	11.6±0.33 <sup>c</sup>	23.66±0.33 <sup>d</sup>	11.0±0.0	-	11.0 ±0.0	12.6±0.3*
<i>Epidermophyton sp.</i>	<b>23.6±0.33<sup>cd</sup></b>	11.66±0.33 <sup>c</sup>	<b>9.66±0.33</b>	-	9.3±0.3	NT
<i>Trichophyton sp.</i>	<b>17.6±0.33<sup>cd</sup></b>	15.66±0.33 <sup>c</sup>	<b>9.0±0.00</b>	-	17.3±0.3	NT

**Standart:** \*:Nystatin (Antifungal, 30 µg/disk), \*\*:Streptomycin sulphate (antibakteriyal,10 µg/disk), Kontrol (negatif kontrol: metanol ve hekzan):10 µL, NT:Test edilmedi  
**cd:p<0.0001 (çok yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık var), d:p<0.001 (belirgin düzeyde istatistiksel anlamlılık var), c:p<0.01(kısmen istatistiksel anlamlılık var), b:p<0.05 (çok az düzeyde istatistiksel anlamlılık var), a:p >0.05 (istatistiksel anlamlılık yok)**

**Tablo6.** *S. cerevisiae* ile muamele edilen *Citrus limon* (limon)'un yağ asidi, vitamin ve flavonoid ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri (mm)

Mikroorganizmalar	LM+SC			SC	
	Yağ Asidi	Vitamin	Flavonoid	Yağ Asidi	Vitamin
<i>E. coli</i>	9.66±0.33	-	8.0±0.00	-	9.66±0.33
<i>K. pneumoniae</i>	11.66±0.33	-	8.0±0.00	-	<b>11.66±0.33</b>
<i>B. megaterium</i>	11.66±0.33	9.66±0.33	-	-	<b>8.00±0.00</b>
<i>S. aureus</i>	-	11.66±0.33	-	8.00±0.00	<b>15.66±0.33</b>
<i>C. albicans</i>	11.66±0.33	8.00±0.00	9.0±0.00	18.66±0.33	<b>15.66±0.33</b>
<i>C. glabrata</i>	10.66±0.33	11.66±0.33	8.0±0.00	9.66±0.33	<b>15.66±0.33</b>
<i>Epidermophyton sp.</i>	9.66±0.33	<b>10.33±0.33</b>	9.00±0.00	27.66±0.33	<b>20.66±0.33</b>
<i>Trichophyton sp.</i>	8.33±0.00	<b>11.33±0.33</b>	-	9.66±0.33	<b>19.66±0.33</b>

LM+SC: Limon+S. cerevisiae, SC:S. cerevisiae

### 3. Sonuç ve Öneriler

Besinsel liflerin sağlık üzerine olumlu etkileri pek çok araştırmaya konu olmuştur [43,44]. Besinsel lifli bir bitki olan limonun biyoaktif bileşenler ve etkileri üzerine (yağ asidi, vitamin ve fitosterol, flavonoid ve resveratrol, DPPH) çalışmalar yapılmasına karşın, bu lifli gıdanın probiyotik maya olan *S. cerevisiae* gelişimine etkileri ve bu maya üzerindeki etkiyi belirleyen çalışmalara rastlanılmamıştır. Ancak bu yönde pre ve probiyotik ilişkisi bakımından yapılan iki çalışma mevcuttur. Buna göre; *Saccharomyces boulardii* ile hazırlanan *Zea mays L.* (mısır) ekstraktlarının fitokimyasal özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmada *S. boulardii* ile hazırlanan *Z. mays L.* (mısır) bitkisinin yağ asidi, vitamin, fitosterol, flavonoid, resveratrol içerikleri, antimikrobiyal aktiviteleri belirlenmiştir. Bitkiden elde edilen ekstraktlarda gelişen *S. boulardii*'nin biyoaktif bileşikleri farklı oranlarda etkilediği tespit edilmiştir [45]. Diğer çalışmada ise lifli besin olarak tüketilen *Avena sativa* (yulaf) ile muamele edilen *Debaryomyces hansenii* ekstraktlarının yağ asidi, vitamin, fitosterol, flavonoid ve resveratrol içerikleri ile antimikrobiyal aktiviteleri belirlenerek karşılaştırmalar yapılmış ve *A. sativa* (yulaf)'nın probiyotik olarak kabul edilen *D. hansenii*'nin gelişimine olumlu yönde etkilerinin olduğu ve bu lifli bitkiden elde edilen ekstraktlar içerisinde gelişen bu maya türünün biyoaktif bileşiklere değişen oranlarda etki gösterdiği saptanmıştır [46].

Sonuç olarak; elde edilen veriler ışığında limon meyvesinin, çalışmamızda kullanılan sağlık açısından yararlı probiyotik maya olarak kabul edilen *S. cerevisiae* gelişimine olumlu yönde etkilerinin olduğu, bu meyveden elde edilen ekstraktın içerisinde gelişen *S. cerevisiae*'nin, biyoaktif bileşiklere değişen oranlarda etki gösterdiği saptandı. Böylece bitkisel olarak beslenmenin, uzun ve sağlıklı yaşam için gerekli olan probiyotikler üzerine yapacağı olumlu etki (bitki-probiyotik ilişkisi) bakımından çalışmanın önemi vurgulandı. Ayrıca; bitkisel lif kaynaklı besinlerle çoğaltılan probiyotik mayalardan elde edilen ekstraktlarında, patojen bakteri ve maya ve dermatofit funguslar üzerine olan etkilerinin saptanmış olması bu konuda yapılacak olan çalışmalara katkı sağlayacak niteliktedir.

### Teşekkür

Bu çalışma, FÜBAP Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü (1909 nolu proje) tarafından desteklenmiştir. Çalışmalarımız sırasında teknik desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ökkeş Yılmaz'a teşekkürü borç bilirim.

## Kaynaklar

1. Alkan R. 2012. Probiyotik Maya: *Saccharomyces Boulardii*, *Tünav Bilim Dergisi*, 5(4): 13-16.
2. Ouwehand A.C., Niemi P., Salminen J. 1999. The Normal Faecal Microflora does not Affect the Adhesion of Probiotic Bacteria in Vitro, *FEMS Microbiol Letters*, 177 (1): 35-38.
3. Jespersen L. 2003. Occurrence and Taxonomic Characteristics of Strains of *Saccharomyces Cerevisiae* Predominant in African Indigenous Fermented Foods and Beverages, *FEM Yeast Research*, 3 (2): 191-200.
4. Turan İ., İltter T. 2007. Kafkas Dağlarından Günümüze: Kefir, *Güncel Gastroenteroloji*, 11 (2): 65-75.
5. Kaleli İ. 2007. Probiyotiklerin Etki Mekanizması, *Ankem Dergisi*, 21 (2): 238-242.
6. Karademir G., Ünal Y. 2008. Broilerlerde Kefirin Probiyotik Amaçla Kullanılması, *Hayvancılık ve Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 49 (1): 47-54.
7. Marzouk M.S., Moustafa M.M., Nermeen M.M. 2008. The Influence of Some Probiotics on the Growth Performance and Intestinal Microbial Flora of *O. Niloticus*, 8 th International Symposium on *Tilapia in Aquaculture*, 1059-1071.
8. Uylaşer V. 2009. Boza Mikroflorasını Oluşturan Bazı Mikroorganizmalar ve Probiyotik Etkileri, <http://www.gelenekselgidalar.com/dosyalar2/view.php?file=Vildan+Uyla%FEer.pdf> (Erişim Tarihi: 01.01.2010).
9. Eren Z., Gürol Y., Sönmezoğlu M., Eren H.Ş., Çelik G., Kantarcı G. 2014. Probiyotik Tedavisinden Sonra Yaşlı Bir Hastada Gelişen *Saccharomyces Cerevisiae* Fungemisi, *Mikrobiyoloji Bülteni*, 48 (2): 351-355.
10. Çoşkun T. 2006. Pro-, Pre- ve Sinbiyotikler, *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 49 (2): 128-148.
11. Karakaya S. 2009. [http://food.ege.edu.tr/sunumlar/gida\\_biyokimya.pdf](http://food.ege.edu.tr/sunumlar/gida_biyokimya.pdf) 2009 (Erişim Tarihi: 01.02.2010).
12. Çelik L. 2007. Kanatlı Hayvanların Beslenmesinde Verim Artışı Sağlayıcı ve Ürün Kalitesini İyileştirici Doğal Organik etkili Maddeler, *Yem Magazin*, 47: 51-55.
13. Nehir El S. 2009. Ürün Geliştirmede Optimal Beslenme Yaklaşımı, [http://food.ege.edu.tr/RN\\_GEL\[1\].OPT.BES.YAKLAŞIMIDERSNOTU.pdf](http://food.ege.edu.tr/RN_GEL[1].OPT.BES.YAKLAŞIMIDERSNOTU.pdf) (Erişim Tarihi: 17.02.2009).
14. Yağcı R.V. 2005. Probiyotikler ve Prebiyotikler, *Güncel Gastroenteroloji*, 9 (4): 223-225.
15. Yılmaz M. 2004. Prebiyotik ve Probiyotikler, *Güncel Pediatri*, 2: 142-145.
16. Alltech Chromatography 2004. A Grace Company Catalog 600, Alltech. Associates. Inc. U.S., 497.
17. Hara A., Radin N.S. 1978. Lipid Extraction of Tissues with a Low Toxicity Solvent, *Analytical Biochemistry*, 90 (1): 420-426.
18. Christie W.W. 1992. *Gas Chromatography and Lipids*, The Oily Press Glaskow, Somerset.
19. Tvřzicka E., Vecka M., Stankova B., Zak A. 2002. Analysis of Fatty Acids in Plasma Lipoproteins by Gas Chromatography Flame Ionisation Detection Quantitative Aspects, *Analytica Chimica Acta*, 465 (1-2): 337-350.
20. Katsanidis E., Addis P.B. 1999. Novel HPLC Analysis of Tocopherols and Cholesterol in Tissue, *Free Radical Biology and Medicine*, 27 (11-12): 1137-1140.
21. Lopez-Cervantes J., Sanchez-Machado D.I., Rios-Vazquez N.J. 2006. High-performance Liquid Chromatography Method for the Simultaneous Quantification of Retinol,  $\alpha$ -Tocopherol, and Cholesterol in Shrimp Waste Hydrolysate, *Journal of Chromatography A*, 1105 (1-2):135-139.

22. Zu Y., Li C., Fu Y., Zhao C. 2006. Simultaneous Determined of Catechin, Rutin, Quercetin, Kaempferol and Isorhamnetin in the Extract of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Leaves by RP-HPLC with DAD, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41 (3): 714-719.
23. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity, *LWT- Food Science and Technology*, 28 (1): 25-30.
24. Hsu B., Coupar I.M., Ng K. 2006. Antioxidant Activity of Hot Water Extract from the Fruit of the Doum Palm, *Hyphaene Thebaica*, *Food Chemistry*, 98 (2): 317-328.
25. Özçelik S. 1992. *Gıda Mikrobiyolojisi Laboratuvar Kılavuzu*, Fırat Üniv. Fen-Edebiyat Fak. Yayınları, Elazığ.
26. Collins C.M., Lyne P.M. 1987. *Mikrobiyological Methods*, Butter Morths & Co (Publishers) Ltd., London.
27. Aydın S. 1999. *The Effect of Nitrite on Enhancement of Alpha-amylase Synthesis Afforded by Bacterial Hemoglobin in Genetically Engineered E. Coli*, Illinois Institute of Technology, Chicago.
28. Nagy S., Nordby H.E. 1974. Fatty Acids of Triglycerides from Citrus Juice Sacs, *Phytochemistry*, 13 (1): 153-157.
29. Nordby H.E., Nagy S. 1974. Fatty Acid Composition of Sterol Esters from Citrus Sinensis, C. Paradisi, C. Limon Aurantifolia and C. Limettioides Sacs, *Phytochemistry*, 13 (2): 443-452.
30. Bocco A., Cuvelier M.E, Richard H., Berset C. 1998. Antioxidant Activity and Phenolic Composition of Citrus Peel and Seed Extracts, *Agricultural Food Chemistry*, 46 (6): 2123-2129.
31. Silalahi J. 2002. Anticancer and Health Protective Properties of Citrus Fruit Components, *Asia Pacific J. Clin. Nutr.*, 11 (1): 79-84.
32. Montoro P., Braca A., Pizza C., Tommasi N.D. 2005. Structure-antioxidant Activity Relationships of Flavonoids Isolated from Different Plant Species, *Food Chemistry*, 92 (2): 349-355.
33. Maisuthisakul P., Suttajit M., Pongsawatmanit R. 2007. Assessment of Phenolic Content and Free Radical Scavenging Capacity of Some Thai Indigenous Plants, *Food Chemistry*, 100 (4): 1409-1418.
34. Baker R.A., 1994. Potential Dietary Benefits of Citrus Pectin and Fiber, *Food Technology*, 11: 133-139.
35. Gonzalez-Molina E., Dominguez-Perles R., Moreno D.A., García-Viguera C. 2010. Natural Bioactive Compounds of Citrus Limon for Food and Health, *Journal of Pharmaceutical Biomedical Analysis*, 51 (2): 327-345.
36. Barreca D., Bellocco E., Caristi C., Leuzzi U., Gattuso G. 2010. Flavonoid Composition and Antioxidant Activity of Juices from Chinotto (*Citrus Myrtifolia* Raf.) Fruits at Different Ripening Stages, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (5): 3031-3036.
37. Breksa A.P., Manners G.D. 2006. Evaluation of the Antioxidant Capacity of Limonin, Nomilin, and Limonin Glucoside, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 54 (11): 3827-3831.
38. Yu J., Wang L., Walzem R.L., Miller E.G., Pike L.M., Bhimanagouda S. 2005. Antioxidant Activity of Citrus Limonoids, Flavonoids and Coumarins, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53 (6): 2009-2014.
39. Manners G. 2007. Citrus Limonoids: Analysis, Bioactivity, and Biomedical Prospects, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (21): 8285-8294.
40. Del Rio J.A., Fuster M.D., Gomez P., Porrás I., Garcia-Lidon A., Ortuno A. 2004. Citrus Limon: A Source of Flavonoids of Pharmaceutical Interest, *Food Chemistry*, 84 (3): 457-461.



41. Lee S.W., Najiah M. 2009. Antimicrobial Property of 2-Hydroxypropane-1, 2, 3-Tricarboxylic Acid Isolated from Citrus Microcarpa Extract, Agricultural Sciences in China, 8 (7): 880-886.
42. Kızıll G., Toker Z., Özen H.Ç., Aytekin C. 2004. The Antimicrobial Activity of Essential Oils of Hypericum Scabrum, H. Scabroides, H. Triquetrifolium, Phytotherapy Research, 18 (4): 339-341.
43. Prosky L. 2000. When is Dietary Fiber Considered a Functional Food?, Biofactors, 12 (1-4): 289-297.
44. Prosky L. 2000. What is Dietary Fiber?, Journal of AOAC International, 83 (4): 985-987.
45. Erecevit P., Kırbağ S., Yılmaz Ö. 2013. Determination of Phytochemical Characteristics of Zea Mays (Corn) Extracted with Saccharomyces Boulardii, Chemistry of Natural Compounds, 49 (1): 12-16.
46. Erecevit P., Kırbağ S., Zengin F. 2013. Determination of Phytochemical Contents of Avena Sativa (Oat) and Its Impact on Debaryomyces Hansenii, Proceedings of the National Academy of Sciences India, Section B: Biological Sciences, 84 (2): 365-371.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## ***Myriophyllum spicatum*'un Süperoksit Dismutaz Enzim Aktivitesi, Lipid Peroksidasyonu ve Hidrojen Peroksit Seviyesi Üzerine Nano ve Mikro Bor Partiküllerinin Etkisi**

Yeşim DAĞLIOĞLU<sup>1\*</sup>, Sevda TÜRKİŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu

<sup>2</sup>Ordu Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, Ordu

---

### **Özet**

Bitkiler, karşılaştıkları stres faktörleri karşısında antioksidan enzim savunması ile karşılık verir. Bu enzimlerden birisi süperoksit dismutaz (SOD) olup süperoksit radikalini yok etmeden sorumludur. Lipid peroksidasyonu, reaktif oksijen türlerinin (ROT)'nin membran lipit tabakasının peroksidasyonu sonucu olarak hücre membran sistemlerinde metabolik değişikliklere yol açan oksidatif hasarlardır. Bu çalışmada, *Myriophyllum Spicatum* 72 saat boyunca nano ve mikro B partiküllerinin 50, 100 ve 200 ml<sup>-1</sup> konsantrasyonlarında maruz bırakılmıştır. Yapılan istatistik çalışmasında, kontrol grubuna göre nano ve mikro B partiküllerinin MDA, SOD, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri açısından tüm maruz kalan gruplarda önemli farklılıklar olduğu tespit edilmiştir ( $p < 0.01$ ). Genel olarak, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA ve SOD enzim aktivitesi nano borda mikro bordan daha yüksek ölçülmüştür. Ayrıca, *Myriophyllum spicatum* membranları genel olarak nano ve mikro B partiküllerinden zarar görmemiştir sadece, nano B'un 50 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonunda düşük seviyede membran hasarı gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre nano bor partikül toksisitesinin mikro bordan daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca, nano borun düşük konsantrasyonlarda daha toksik olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar nanopartiküllerin yoğun konsantrasyonlarda agregasyon oluşturması ve bundan dolayı hücre içerisine alınımın daha az olması şeklinde tahmin edilir.

**Anahtar kelimeler:** Bor, Nanopartikül, *Myriophyllum spicatum*, SOD, MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

---

## **Effect of Nano and Micro-Particle Boron on Hydrogen Peroxide and Lipid Peroxidation Enzyme Activity Superoxide Dismutase of *Myriophyllum Spicatum***

---

### **Abstract**

Plants respond with antioxidant enzyme defense against the stress factors they meet. One of these enzymes is superoxide dismutase (SOD) and is responsible for eliminating the superoxide radical. Lipid peroxidation is the oxidative damage caused by reactive oxygen species (ROS) metabolic changes in cell membrane systems resulting in peroxidation of the lipid layer of the membrane. In this study, *Myriophyllum spicatum* were exposed to nano and micro boron particles 72 hours 50, 100 and 200 ml<sup>-1</sup> concentration. According to the statistical study, nano and micro boron particles were significantly different in MDA, SOD, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> values in all exposed groups according to control group ( $p < 0.01$ ). In general, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, MDA and SOD enzyme activity is measured higher in nano boron than in micro boron. *Myriophyllum spicatum* membranes were generally not damaged by nano and micro boron particles, only low level membrane damage was observed at a concentration of 50 mg<sup>-1</sup> of nano boron. According to these results, we can say that nano boron particle toxicity is more than micro boron. Moreover, it can be said that nano boron is more toxic at low concentrations. These results are estimated to be that the nanoparticles aggregate at dense concentrations and therefore less intracellular uptake.

**Keywords:** Boron, Nanoparticles, *Myriophyllum spicatum*, SOD, MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

---

---

\*Sorumlu yazar: [yozkan52@gmail.com](mailto:yozkan52@gmail.com)

Geliş Tarihi: 13/01/2017 Kabul Tarihi: 03/07/2017

## 1. Giriş

Nanopartikül (NP) (<100 nm) toksisitesi, ekotoksikolojik araştırmalar için nisbeten oldukça yeni bir bilim dalı olup ‘nanotoksikoloji’ olarak literatüre geçmiştir. Nanotoksikoloji, NP’lerden kaynaklanan sağlığa zararlı etkilerin açıklandığı toksikolojinin yeni bir alt dalı olarak ifade edilmektedir [1]. Nanoteknoloji endüstrisi, maddelerin nano ölçekte alışılmamış özelliklerinin keşfedilmesiyle hızlı bir gelişim göstermiş ve bu özellikleri ile potansiyel toksisiteleri ve ekotoksikolojileri hakkında endişelere sebep olmuştur. NP’lerin kuantum davranışlarının değişmesi ve reaktivitelerinin artması bunları pek çok uygulamada kullanılabilir hale getirmiştir. NP’lerin üretimi ve uygulamalarının hızlı artışı, insan sağlığı, çevre ve canlı organizmalar üzerinde beklenmedik etkiler meydana getirebilme olasılığını artırmıştır [2]. NP’ler, küçük (nano-ölçek) boyutu, spesifik yüzey alanı ve yüzey enerjisinden dolayı aynı kimyasal bileşime sahip moleküller ve yığın malzemeler ile kıyaslandığında oldukça farklı fiziko-kimyasal özelliklere sahiptir [2], [3]. Ayrıca, NP’ler zeta potansiyeli, hidrodinamik çapı, partikül boyut dağılımı, parçacık boyutu, kimyasal kompozisyonu ile karakterize edilir [2]. Bor (B) ile üretilen malzemelerin, koruyucu kaplamalar [4], yüksek yoğunluklu yakıtlar [5] ve kanser tedavisi [6] gibi yarı iletken alanlarında çok çeşitli uygulamaları vardır [7]. NP’lerin bu yaygın kullanımlarından dolayı önemli miktarları, akuatik, karasal ve atmosferik çevrelerde bulunmaktadır [8]. NP’lerin serbest kalmasıyla ilişkili risklerinin, yaşayan organizmalar üzerinde biyolojik etkilerini araştıran çalışmalara ihtiyaç vardır [9], [10], [42]. Bununla birlikte, çevrede degradasyon ve biyoyararlanımını içeren NP’lerin akıbeti hakkında daha fazla bilgi gereklidir [3]. NP’lerin bitkiler tarafından alımı ve birikimi araştırmacılar tarafından önemi giderek artan bir konu olup son zamanlarda bu konuyla ilgili bazı bilimsel çalışmalar yayınlanmıştır. NP’lerin bitkilerde yapraklara kadar ulaşması için, öncelikle vasküler dokulara (ksilem) girmesi gerekir. Bunun için NP’ler köklerde epidermal katmanların plazma membranlarını ve hücre duvarlarını geçmek zorundadır. Köklerin hücre duvarları polisakarit fiber matris gözenekli ağ yapısında olmasından dolayı su molekülleri ve diğer çözünenlerin öncelikle bu ağı geçmesi gerekir. Bitki duvarlarının gözenek boyutları tipik olarak 3-8 nm aralığında olup test edilen pek çok nanopartikülden daha küçüktür [11]. Navarro vd., 2008 hücre duvarlarının tipik olarak doğal elekler gibi yaklaşık 5 ila 20 nm kalınlığında olduğu hipotezini kurmuştur. En büyük gözeneklerden daha küçük bir boyuta sahip NP ve NP agregatlarının plazma zarına ulaşması ve geçmesi beklenirken, daha büyüklerini bitki hücrelerinden geçememesi beklenir. Ayrıca, NP’lerin, hücre duvarlarını etkilemesi sayesinde, büyük NP’lerinde hücre duvarından geçmesine izin veren büyük ve yeni gözeneklerin oluşumuna neden olabilir [12], [13]. Bununla birlikte, farklı bitki türlerinde farklı boyut ve bileşimli NP’lerin hücreler tarafından içselleştirmesi gözlenmiştir [14], [15].

Metal ve metal oksit, karbon nanotüp (CN), fullerenler, gibi çeşitli kimyasal kompozisyonlu nanopartiküllerin oksidatif strese neden olduğu daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir [16], [17], [18]. Abiyotik stres şartları altında bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROT) olarak adlandırılan oldukça toksik ve reaktif moleküller oluşmaktadır. Bu moleküller protein, lipid, karbohidrat ve DNA’nın yapısını bozarak oksidatif stresin oluşmasına neden olmaktadır. Bitkiler, bu hasarları önlemesi için antioksidant savunma sistemlerine sahiptir. Bu antioksidant sistemler enzimatik (süperoksit dismutaz, katalaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz vb.) ve enzimatik olmayan (fenolik bileşikler, alkaloid, askorbik asit, glutatyon vb.) şekilde ikiye ayrılır [19]. NP kaynaklı ROT oluşumunda kilit rol oynayan faktörler NP’lerin reaktif yüzeyi üzerinde bulunan pro-oksidan işlevsel gruplar ve metal bazlı NP’lerin geçişinden dolayı nanopartikül yüzeylerinde oluşan aktif redoks döngüsü ve partikül hücre etkileşimleridir [20], [21]. Hem *in vivo* hemde *in vitro* da çeşitli NP’lerin ROT oluşturduğu gösterilmiştir. Hücrede ROT üretimi, C60, SWCNT, kuantum noktaları ve ultra ince partiküller gibi çeşitli NP’ler tarafından olduğu gözlenmiştir [22]. Endüstriyel atıkların çoğunun ve şehirselleşmiş su deşarjlarının nehirlere, göllere ve kıyısallara karıştığı iyi bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, nano-ölçekli endüstriyel ürünler ve yan ürünlerin sucul ortamlara karışması kaçınılmazdır [23].

Sucul bitkiler ve algler, kirlenen sulardan metal ve diğer toksik elementleri biriktirmesi ile bilinmektedir [24], [25], [26], [27]. Başaklı su civanperçemi (*Myriophyllum spicatum* L.) farklı su sistemlerine hâkim hızla bitki sağlayan güçlü büyüme ve yayılma stratejileri gösteren sualtı bir türdür [28], [29]. Göllerde, ırmaklarda ve sulama sistemlerinde gelişir. Tatlı sulardan, tuzlu sulara kadar değişik nitelikli sularda, 5 m derinliğe kadar yaşayabilir. Serin sularda da kışlayabilir. Tohumla ya da bitki parçaları aracılığıyla ürerler. Türkiye’de çeşitli su kaynakları ile sulama ve boşaltma kanallarında yaygın olup sorun yaratan bir türdür [30]. Su içinde çok dallı bir yapıya sahip, 90 cm ile 3 m aralığındaki derinliklerde

görülebilmektedirler [31]. Bu doğal bitki örtüsü yerini değiştirebilir. Civanperçeminin hâkim olduğu göller genellikle düşük fitoplankton yoğunluklarına sahiptir. Canopy (örtü) yapımı, açık sulardan besin kaldırma, otomatik parçalanmayla yayılan yoğun bitki örtüsü ve düşük ışık ve CO<sub>2</sub> karşılama noktaları gibi çeşitli morfolojik ve fizyolojik stratejileri olan civanperçeminin son derece rekabetçi gücünden dolayı bu çalışmada tercih edilmiştir [28], [32], [33], [34], [35].

Bazı nanopartiküllerin algler, tatlı su omurgasızları ve balıklarında dahil olduğu sucul organizmalar üzerinde yoğun çalışmaları olmasına rağmen akuatik bitkiler üzerinde bor nanopartiküllerinin etkileri hakkında çalışmalar henüz yapılmamıştır. Bu çalışmada, yüksek su bitkileri için model organizma olan ve laboratuvar çalışmalarında yaygın kullanılan test bitkisi *Myriophyllum spicatum* kullanılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı büyüme koşulları altında nano ve mikro B partiküllerine 72 saat maruz bırakılan *Myriophyllum spicatum*'un malondialdehit (MDA), Süperoksit dismutaz (SOD) ve Hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) seviyelerinin karşılaştırılmalı değerlendirilerek akut toksik etkileri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bitki materyali ve bor partiküllerin uygulaması

*Myriophyllum spicatum* (Civanperçemi) Muğla-Köyceğiz Kargıcak Dere'sinden toplanarak temin edilmiştir. Denemeye başlamadan üç gün önce laboratuvar koşullarına uyum sağlaması için laboratuvarında bekletilmiştir. Daha sonra, bitki örneklerinin mineral beslenme ortamlarında deneme süresince uygulanmak üzere modifiye edilmiş Hoagland besin çözeltisi hazırlanmıştır [36]. *Myriophyllum spicatum*'ne stres faktörü olarak mikro ve nano B partikülleri 500 ml polietilen şişelerde uygulanmıştır. Bu şişelerde karışımı sağlamak için akvaryum hava motoru kullanılmıştır.

### 2.3. Lipid peroksidasyonu (MDA)

Tiobarbiturik asit (TBA), lipid peroksidasyonunun son ürünü olan malondialdehiti (MDA) belirlemek için kullanıldı. Kontrol grubu ve maruz kalan gruplarda 200 mg bitki örnekleri 10 ml % 0.1 trikloroasetik asit (TCA) çözeltisi içinde homojenize edildi. Elde edilen homojenat 15 000 g de 10 dk santrifüj edildi. 1 ml süpernatant ve 4 ml TBA reaktifi (%5'lik TBA, 4 ml %20 TCA 1 ml %2 etanol de butile hidrositolüen) içeren reaksiyon karışımı 90 °C' sıcak su banyosu içinde 20 dakika boyunca ısıtıldı ve hemen buz banyosunda soğutuldu. Daha sonra, 15 000 g de 10 dakika santrifüjlenen MDA-TBA karışımı absorbanı 532 nm dalga boyunda belirlendi. MDA-TBA karışımının bu konsantrasyonu absorban katsayısından hesaplandı [38].

$$\text{MDA (nmol ml}^{-1}\text{)} = [(A_{532}-A_{600})/155\ 000] 10^6$$

### 2.4. Hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Hidrojen peroksit seviyesi küçük bir değişiklikte Mukherjee ve Choudhuri 1983 tarafından tanımlanan metoda göre belirlenmiştir [39]. Öncelikle titanyum çözeltisi hazırlanmıştır, bunun için 1 g TiO<sub>2</sub> ve 10 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 150 ml konsantre H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile ısıtıcı tablada 2 saat kaynatıldı soğutulduktan sonra 1.5 litreye tamamlandı. 0.5 gram tartılan bitki 10 ml soğuk aseton ile homojenize edilip homojenat Whatman filtre kâğıdı ile süzüldü. Ekstrakt üzerine 4 ml TiO<sub>2</sub> çözeltisi ve 5 ml konsantre NH<sub>3</sub> çözeltisi konuldu. 10 000 g de 5 dakika santrifüj edilip, berrak kısım döküldü ve çökelti 10 ml 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile çözüldü. Tekrar 10 000 g' de 5 dakika santrifüjlenerek çözünmeyen kısım atıldı ve 415 nm de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> belirlendi. [39], [40].

### 2.5. Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi

Beauchamp ve Fridovich 1971 tarafından tarif edildiği gibi SOD aktivitesi ölçülmüştür [41]. Bir birim, nitro mavi tetrazolyum (NBT) azalması ile % 50'lik bir azalmaya neden olan enzim miktarı olarak tanımlanmıştır. Kısaca, NBT'nin 560 nm' de inhibasyonu ile belirlenmiştir.

## 2.6. İstatistiksel analizler

*Myriophyllum spicatum* L. 50, 100 ve 200 ml<sup>-1</sup> konsantrasyonlarında nano ve mikro B miktarları için elde edilen değerlerin istatistiki açıdan farklılıkları SPSS 15 programında ANOVA, Tukey testleri ve Pearson korelasyonu yapılarak tespit edildi.

## 3. Bulgular

*Myriophyllum spicatum*, L. nano ve mikro B partiküllerine 50, 100 ve 200 ml<sup>-1</sup> konsantrasyonlarında 72 saat maruz bırakıldıkta sonra SOD enzim aktivitesi, MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> seviyesi spektrofotometre ile ölçüldü. Bor partiküllerinin etkilerine ait gerçekleştirilen ANOVA testi sonuçlarına göre  $p < 0.01$  düzeyinde önemli farklılıklar tespit edildi ve farklılıkların sebebi ise Tukey testi ile belirlendi.

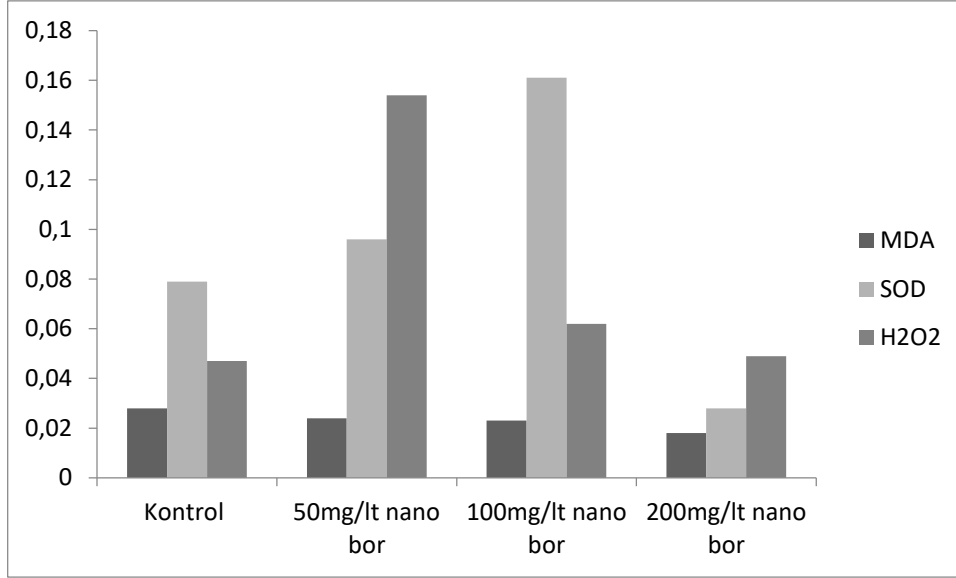
Tablo 1’de *M. Spicatum*’un 72 saat nano B partiküllerine maruz kalmada MDA, SOD, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri açısından tüm maruz kalan gruplarda önemli farklılıklar tespit edildi ( $p < 0.01$ ) (Şekil 1). Farklı konsantrasyon uygulamalarındaki önemli farklılığın sebebi Tukey testine göre tüm dozlar sebep olmuş olup, 50 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonda en fazla farklılık belirlenmiştir. MDA ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 50 mg<sup>-1</sup> SOD da ise 100 mg<sup>-1</sup> de en fazla farklılık tespit edilmiştir.

**Tablo 1.** Farklı enzim aktivitelerinde nano B varyans analiz sonuçları.

ANOVA					
	Enzim aktivitesi (unit.mg-1)	Serbestlik faktörü	F oranı	P değeri	Tukey Testi
MDA	Gruplar arasında	2	301.00	<b>0.00</b>	0.0243 <sup>a</sup>
	Gruplar içinde	6			
	Toplam	8			(50mg/lt)
SOD	Gruplar arasında	2	119.431.00	<b>0.00</b>	0.1610 <sup>a</sup>
	Gruplar içinde	6			(100mg/lt)
	Toplam	8			
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Gruplar arasında	2	89.053.00	<b>0.00</b>	0.1543 <sup>a</sup>
	Gruplar içinde	6			(50mg/lt)
	Toplam	8			

\* $p < 0.01$

*Myriophyllum spicatum* 72 saat nano B uygulamasında kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, MDA seviyesi bakımından 100 ve 200 mg<sup>-1</sup> maruz kalan gruplarda düşük olmasına rağmen 50 mg<sup>-1</sup> (en düşük konsantrasyon) da yüksektir. Maruz kalınan konsantrasyon arttıkça kontrol grubu seviyelerinden daha düşük ölçülerde MDA seviyesi kaydedilmiştir. SOD enzim aktivitesinde maruz kalan grupların konsantrasyon miktarı arttıkça kontrol grubundan çok daha fazla enzim aktivitesi ölçülmüştür. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> enzim aktivitesi tüm maruz kalan gruplarda kontrol grubundan daha yüksektir. Fakat 100 ve 200 mg<sup>-1</sup> maruz kalan gruplarda 50 mg<sup>-1</sup> (en düşük konsantrasyon)’dan daha az ölçülmüştür (Şekil 1).



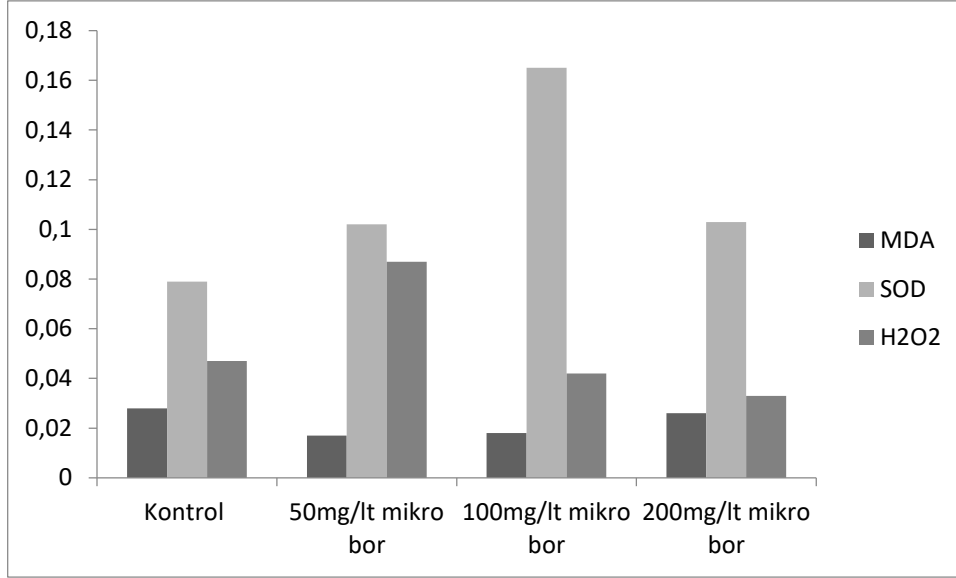
Şekil 1. Enzim aktivitelerinde farklı nano B miktarlarının karşılaştırılması

Tablo 2’de *M. Spicatum*’un 72 saatlik zamanda MDA, SOD, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri açısından mikro B partiküllerinde tüm dozlar arası önemli farklılıklar tespit edilmiştir ( $p < 0.01$ ). Farklı doz uygulamalarındaki önemli farklılığın sebebi Tukey testine göre MDA için 200 mg<sup>-1</sup>, SOD için 100 mg<sup>-1</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> için 50 mg<sup>-1</sup> de en fazla farklılık belirlenmiştir.

Tablo 2. Farklı enzim aktivitelerinde mikro B’un varyans analiz sonuçları

ANOVA					
	Katalaz enzim aktivitesi (unit.mg-1)	Serbestlik faktörü	F oranı	P değeri	Tukey Testi
MDA	Gruplar arasında	2	628.00	<b>0.000</b>	0.0260 <sup>a</sup>
	Gruplar içinde	6			
	Toplam	8			(200mg/Lt)
SOD	Gruplar arasında	2	35356.00	<b>0.000</b>	0.1650 <sup>a</sup>
	Gruplar içinde	6			(100mg/Lt)
	Toplam	8			
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Gruplar arasında	2	22411.00	<b>0.000</b>	0.0870 <sup>a</sup>
	Gruplar içinde	6			(50mg/Lt)
	Toplam	8			

*Myriophyllum spicatum* 72 saat mikro B uygulamasında kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, MDA seviyesi bakımından maruz kalan gruplarda kontrole göre daha az ölçülmüştür. SOD da ise tüm maruz kalan gruplarda çok daha yüksek ölçülmüş, özellikle 100 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonda kontrol grubunun iki katından fazla ölçülmüştür. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de ise en yüksek konsantrasyonlarda (100 ve 200 mg<sup>-1</sup>) düşük ölçülmüş, 50 mg<sup>-1</sup> (en düşük) konsantrasyonda kontrol grubunun iki katından daha fazla ölçülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Enzim aktivite ve konsantrasyon ilişkisi

Gerçekleştirilen Pearson korelasyon sonuçlarına göre ise  $p < 0.05$  önemlilik düzeyinde korelasyonlar tespit edilmiştir (Tablo 3 ve 4). *Myriophyllum spicatum* 72 saat nano ve mikro B uygulamalarında Pearson korelasyon sonuçlarına göre; nano B uygulamalarında MDA ile SOD, MDA ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve SOD ile H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> arasında 50 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonda pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir (Tablo 3). Mikro B uygulamalarında ise SOD ile MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile MDA arasında 50 mg<sup>-1</sup>de negatif korelasyonlar tespit edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı enzim aktivite ve konsantrasyon ilişkisi

		MDA	SOD			MDA	SOD
Nano B	SOD	0.616*	-	Mikro B	SOD	-0.740*	-
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.895*	0.827*		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-0.704*	-

(SOD, MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, \* $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir).

#### 4. Sonuç

*Myriophyllum spicatum* membranlarının nano ve mikro B partikülü stres uygulamasında zarar görmemiştir. Çünkü maruz kalan grupların lipid peroksidasyon miktarı, kontrol grubunda ölçülen MDA miktarı ile karşılaştırıldığında MDA seviyesinde azalma olmuştur. Sadece nano B'un 50 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonda düşük seviyede membran hasarı gözlenmiştir. Ayrıca, nano B'un SOD enzimi aktivitesi ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> seviyesi tüm maruz kalan gruplarda kontrol grubuna kıyasla yüksek ölçülmüştür. Fakat, SOD için 100 mg<sup>-1</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> için 50 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonları kontrol grubu ve diğer konsantrasyon gruplarından çok daha yüksek seviyede ölçülmüştür. MDA seviyesi SOD ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> den farklı olarak en yüksek konsantrasyonlarda 100 ve 200 mg<sup>-1</sup> da kontrol grubundan daha az ölçülmüştür. En düşük konsantrasyon olan 50 mg<sup>-1</sup> da kontrol ve diğer maruz kalan gruplardan daha yüksek ölçülmüştür. Mikro B partiküllerinin MDA aktivitesi, maruz kalan tüm konsantrasyon grupları kontrol grubundan daha az ölçülmüştür. SOD da ise tüm konsantrasyonlarda enzim aktivitesi çok daha fazla ölçülmüş olup 50, 100 ve 200 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonlarda sırasıyla %129, %208 ve %130 oranındadır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de en düşük konsantrasyon hariç diğer konsantrasyonlarda enzim aktivitesi düşük ölçülmüştür (Tablo 4).

**Tablo 4.** Nano ve mikro B partiküllerinin MDA, SOD ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri

Konsantrasyonlar (mg <sup>-1</sup> )	MDA		SOD		H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
	nano bor	mikro bor	nano bor	mikro bor	nano bor	mikro bor
0	28	28	79	79	47	47
50	<b>29</b>	17	96	102	154	87
100	18	23	161	165	62	42
200	26	18	28	103	49	33

Değerler bin ile çarpılmıştır (x1000)

Nano ve mikro B partiküllerinin MDA, ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> seviyeleri ile SOD enzim aktiviteleri birbiriyle ve maruz kalınan konsantrasyon gruplarına göre karşılaştırdığımızda, MDA seviyesi, nano B'un 50 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonunda en yüksek miktarda tespit edilmiştir ve buda nano B'un hücre hasarının mikro B'dan fazla olduğunu gösterir. Ayrıca genel olarak, MDA seviyesi üzerine B partikülleri etkili değildir. SOD enzim aktivitesi üzerine mikro B daha etkili olup 200 mg<sup>-1</sup> nano B konsantrasyonunda SOD aktivitesi oldukça fazla düşmüştür. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> seviyesinde ise nano B mikro B'a göre daha toksiktir. Mikro B'un 50 mg<sup>-1</sup> konsantrasyonu hariç diğer konsantrasyonları kontrol grubundan daha düşük ölçülmüştür. Bu verilere baktığımızda genel olarak nano B partiküllerinin toksisitesinin mikro B dan daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca, yine genel olarak nano B'un düşük konsantrasyonlarda daha toksik olduğu söylenebilir. Bunu sebebinin nanopartiküllerin yoğun konsantrasyonlarda agregasyon (kümeleşme) oluşturması ve bundan dolayı hücre içerisine alınımının daha az olması şeklinde tahmin edilir.

### Kaynaklar

1. Handy R.D., Owen R., Valsami-Jones E. 2008. The Ecotoxicology of Nanoparticles and Nanomaterials: Current Status, Knowledge Gaps, Challenges, and Future Needs, *Ecotoxicology*, 17: 315-325.
2. Donaldson K., Stone V., Tran C.L., Kreyling W., Borm P.J.A. 2004. *Nanotoxicology, Occup. Environ. Med.*, 61: 727-728.
3. Juhel G., Batisse E., Hugues Q., Daly D., Van Pelt N.A.M.F., O'Halloran J., Jansen A.K.M., 2011. Alumina Nanoparticles Enhance Growth of Lemna Minor, *Aquatic Toxicology*, 105: 328-336.
4. Bekish Y.N., Poznyak S.K., Tsybulskaya L.S., Gaevskaya T.V. 2010. Electrodeposited Ni-B Alloy Coatings: Structure, Corrosion Resistance and Mechanical Properties, *Electrochim. Acta*, 55: 2223-2231.
5. Van Devener B., Perez J.P.L., Jankovich, J., Anderson, S.L. 2009. Oxide-free, Catalyst-coated, Fuel-soluble, Air-stable Boron Nanopowder as Combined Combustion Catalyst and High Energy Density Fuel, *Energy and Fuels*, 23 (12): 6111-6120.
6. Mortensen M.W., Sorensen P.G., Bjorkdahl O., Jensen M.R., Gundersen H.J.G., Bjornholm T. 2006. Preparation and Characterization of Boron Carbide Nanoparticles for Use as a Novel Agent in T Cell-guided Boron Neutron Capture Therapy, *Appl. Radiat. Isotopes*, 64: 315-324.
7. Zhang X.W., Zou Y.J., Yan, H., Wang B., Chen G.H., Wong S.P. 2000. Electrical Properties and Annealing Effects on the Stress of RF-sputtered c-BN Films, *Mater Lett.*, 45: 111-115.
8. Nowack B., Bucheli T.D. 2007. Occurrence, Behavior and Effects of Nanoparticles in the Environment, *Pollution*, 150: 5-22.
9. Özkan Y., Altınok İ., İlhan H., Sökmen M. 2015. Determination of TiO<sub>2</sub> and AgTiO<sub>2</sub> Nanoparticles in Artemia Salina: Toxicity, Morphological Changes, Uptake and Deputation, *Bull. Environ. Contam. Toxicology*, 96 (1): 36-42.



10. Özkan Y., İrende İ., Akdeniz G., Kabakçı D., Sökmen M. 2015. Evaluation of the Comparative Acute Toxic Effects of TiO<sub>2</sub> and Ag-TiO<sub>2</sub> and ZnO-TiO<sub>2</sub> Composite Nanoparticles on Honey Bee (*Apis Mellifera*), *J. Int. Environmental Application & Science*,10(1): 26-36.
11. Carpita N.C., Gibeaut D.M. 1993. Structural Models of Primary Cell Walls in Flowering Plants: Consistency of Molecular-structure with the Physical Properties of Walls During Growth, *Plant Journal*, 3: 1-30.
12. Navarro E., Baun A., Behra R., Hartmann N.B., Filser J., Miao A., et al. 2008. Environmental Behavior and Ecotoxicity of Engineered Nanoparticles to Algae, Plants and Fungi, *Ecotoxicology*, 17: 372-86.
13. Navarro E., Piccapietra F., Wagner B., Marconi F., Kaegi R., Odzak N., et al. 2008. Toxicity of Silver Nanoparticles to *Chlamydomonas Reinhardtii*, *Environ. Sci. Technology*, 42: 8959-8964.
14. Lin S., Reppert J., Hu Q., Hunson J.S., Reid M.L., Ratnikova T., et al. 2009. Uptake, Translocation and Transmission of Carbon Nanomaterials in Rice Plants, *Small*, 5 (10): 1128-1132.
15. Liu Q., Chen B., Wang Q., Shi X., Xiao Z., Lin J., et al. 2009. Carbon Nanotubes as Molecular Transporters for Walled Plant Cells, *Nano Letter*, 9: 1007-1010.
16. Vallyathan V., Shi X. 1997. The Role of Oxygen Free Radicals in Occupational and Environmental Lung Diseases, *Environmental Health Perspectives*, 105: 165-177.
17. Bonner J.C. 2007. Lung Fibrotic Responses to Particle Exposure, *Toxicologic Pathology*, 35 (1): 148-153.
18. Manke A., Wang L., Rojanasakul Y. 2013. Mechanisms of Nanoparticle-Induced Oxidative Stress and Toxicity, *Biomed Research International*, 2013: 1-15.
19. Gill S.S., Tuteja N. 2010. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants, *Plant Physiol. Biochem.*, 48 (12): 909-930.
20. Knaapen A.M., Borm P.J.A., Albrecht C., Schins R.P.F. 2004. Inhaled Particles and Lung Cancer, Part A: Mechanisms, *International Journal of Cancer*, 109 (6): 799-809.
21. Risom L., Møller P., Loft S. 2005. Oxidative Stress-induced DNA Damage by Particulate Air Pollution, *Mutation Research*, vol. 592 (1-2): 119-137.
22. Oberdörster G., Oberdörster E., Oberdörster J. 2005. Nanotoxicology, An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles, *Health Perspective*, 113: 823-839.
23. Daughton C.G. 2004. Non-Regulated Water Contaminants: Emerging Research, *Environmental Impact Assessment Review*, 24: 711-732.
24. Wolverton B.C., McDonald R.C. 1975. Water Hyacinths and Alligator Weeds for Removal of Silver, Cobalt, and Strontium from Polluted Waters, *NASA Tech. Memo. No. TM-X-72727*.
25. Wilde W.E., 1993. Benemann, J.R. Bioremoval of Heavy Metals by the Use of Microalgae, *Biotechnology Advances*, 11 (4): 781-812.
26. Maeda S., Skaguchi T. 1990. *Accumulation and Detoxification of Toxic Metal Elements by Algae in: I. Akatsuka (Ed.), Introduction to Applied Phycology*, Academic Publishing, Hague.
27. Dağlıoğlu Y., Altınok İ., İlhan H., Sokmen M. 2016. Determination of the Acute Toxic Effect of ZnO-TiO<sub>2</sub> Nanoparticles in Brine Shrimp (*Artemia Salina*), *Acta Biologica Turcica*, 29 (1): 6-13.
28. Grace J.B. Wetzel R.G. 1978. The Production Biology of Eurasian Watermilfoil (*Myriophyllum Spicatum* L.): A review, *J. Aquat. Plant Manage*, 16: 1-11.
29. Smith C.S., Barko J.W. 1990. Ecology of Eurasian Watermilfoil, *J. Aquat. Plant Manage*, 28: 55-64.
30. Altınayar G. 1988. *Su Yabancı Otları*, T.C. Bayındırlık ve İskan Bak. Dev. Su İşleri Genel Müd. İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara.

31. Aiken S.G., Newroth P.R., Wile I. 1979. The Biology of Canadian Weeds.: 34. *Myriophyllum Spicatum* L., Canadian Journal of Plant Science, 59: 201-215.
32. Adams M.S., Titus J., McCracken M. 1974. Depth Distribution of Photosynthetic Activity in a *Myriophyllum, Spicatum* Community in Lake Wingra, Limnology and Oceanography, 19 (3): 377-389.
33. Barko J.W., Smart M. 1986. Sediment-related Mechanisms of Growth Limitation in Submersed Macrophytes, Ecology, 67: 1328-1340.
34. Gross M.E., Meyer H., Schilling G. 1996. Release and Ecological Impact of Algicidal hydrolysable polyphenols in *Myriophyllum Spicatum*, First Publ.in : Phytochemistry, 41: 133-138.
35. Planas D., Sarhan F., Dube L., Godmaire H., Cadieux C. 1981. *Ecological Significance of Phenolic Compounds of Myriophyllum Spicatum*, Verh. Int. Verein. Limnol. 21, 1492.
36. Hothem S.D., Marley K.A. Larson R.A. 2003. Photochemistry in Hoagland's Nutrient Solution, Journal of Plant Nutrition, 26 (4): 845-854 .
37. Defontaine A., Lecocq M.F., Hallet J. 1991. A Rapid Miniprep Method for the Preparation of Yeast Mitochondrial DNA, Nucleic Acids Research, 19 (1): 185.
38. Heath R.L., Packer L. 1968. Photoperoxidation in Isolated Chloroplast: I. Kinetics and Stoichiometry of Fatty Acid Peroxidation, Arch. Biochem. Biophys, 125: 189-198.
39. Mukherjee S.P., Choudhuri M.A. 1983. Implications of Water Stress-induced Changes in the Levels of Endogenous Ascorbic Acid and Hydrogen Peroxide in *Vigna* Seedlings, Physiol. Plant, 58: 166-170.
40. Teranishi Y., Tanaka A., Osumi M., Fukui S. 1974. Catalas Activity of Hydrocarbon Utilizing *Candida* Yeast, Agr. Biol. Chemistry, 38: 1213-1216.
41. Beauchamp C., Fridovich I. 1971. Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels, Analytical Biochemistry, 44 (1): 276-287.
42. Çolak A.D., Has B. 2016. NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanokompozitinin Olası Toksik Etkisine Karşı Olueropein'in Koruyucu Rolü, Erzincan University Journal of Science and Technology, 9 (2): 172-183.

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## **Biyosensörler ve Nanoteknolojik Etkileşim**

Zülfü TÜYLEK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Inönü Üniversitesi, Yeşilyurt MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, Yeşilyurt/Malatya*

---

### **Özet**

Bilim dünyası tarafından geliştirilen teknolojinin ışığında, doğadaki olaylar moleküler boyutta inceleme olanağı kazanmıştır. Bilim dünyasının gelişen olayları giderek daha küçük boyutta gözleme ve tanımlama imkânına kavuşması, fiziolojinin ve patolojinin moleküler temellerinin aydınlatılmasını sağlamıştır. Araştırmacılar, moleküler düzeyde biyolojik işlevlere müdahale etme imkânlarını araştırmaktadır. Günümüz bilim dünyasındaki en yeni kavramlardan biri olan biyosensörler, insan sağlığına yeni bir sıçrama imkânı getirmektedir. Bu biyosensörler, biyolojik sistemler ile birleştirilen sensör sistemlerini kapsar. Bu biyosensörler iki ana bölüme ayrılır. Bunların birincisi biyolojik algılayıcı elemandır. Diğerisi ise fizikokimyasal dönüştürücüdür.

Yaşam ortamında meydana gelen değişiklikleri algılama ve bunlara cevap verme işleyişi, biyosensörlerin gelişiminin temelini oluşturmuştur. Mikroelektronikteki son gelişmeler ve biyolojik moleküllerin olağanüstü duyarlılıktaki yanıt verme kapasitelerinin keşfedilmesi, biyosensör teknolojilerinin hızla gelişmesine neden olmuştur. Nanoteknoloji, tıbbi görüntüleme, farmakoloji, mikrobiyoloji, yara iyileşmesi, dokuların yenilenmesi, bazı kronik hastalıkların tedavisi, aşı ve genetik alanında uygulamaya girmiştir. Nanoteknolojik ürünler; hızlı teşhis ve tanı işlemlerini gerçekleştirmek, kanserin erken safhasında tanınması, patojenlerin belirlenmesi, detaylı görüntüleme ve enfeksiyonların önlenmesi için fayda sağlamaktadır. Sonuç olarak; tıp, eczacılık, gıda güvenliği, çevre kirliliği, askeri uygulamalar gibi çeşitli alanlarda kullanılmak üzere farklı tipte biyosensörler geliştirilmiştir. Bu derlemede, tıbbi ölçüm ve analizlerde kullanılan biyosensörlerin özellikleri belirlenmiş ve literatür de yer alan farklı özelliklere göre sınıflandırmalara yer verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Biyosensörler, Enzim Sensörleri, Nanoteknoloji, Transduserler.

---

## **Biosensors and Nanotechnological Interaction**

### **Abstract**

In the light of the technology developed by the scientific world, it gained the ability to examine the events in the nature at the molecular level. The world of science has been able to observe and identify developing events at ever smaller dimensions, and to illuminate the molecular bases of physiology and pathology. Researchers are exploring the possibility of interfering with biological functions at the molecular level. Biosensors, one of the newest concepts in today's scientific world, bring a new leap forward in human health. These biosensors are sensor systems that are combined with biological systems. These biosensors consist of two main parts. The first of these is the biological sensor element. The other is physicochemical converter.

Sensing and responding to changes in the environment of living Mechanisms, the basis for the development of biosensors created. Recent developments in microelectronics and the discovery of extraordinarily sensitive response capacities of biological molecules have led to the rapid development of biosensor technologies. Nanotechnology has entered applications such as medical imaging, pharmacology, microbiology, wound healing, tissue regeneration, the treatment of certain chronic diseases, genetic and vaccines. Nanotechnology products; provide benefits for carrying out testing and diagnostic procedures rapidly, diagnosing the cancer in the early stage, identification of pathogens, detailed imaging and preventing infections. Development in the recent year micro-electric field, and the discovery of the high-sensitive response capacity of the biological molecules have led rapid advancements on biosensor technology in many areas of the science. As a result; Different types of biosensors have been developed for use in a variety of fields such as medicine, pharmacy, food safety, environmental pollution, military applications. In this review, characteristics of biosensors that are used in medical measuring and analyzing have been determined and classifications of biosensors according different features that are found in literature are presented.

---

\*Sorumlu yazar: [zulfu.tuylek@inonu.edu.tr](mailto:zulfu.tuylek@inonu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 22/03/2017 Kabul Tarihi: 03/07/2017

**Keywords:**Biosensor, Enzyme Sensors, Nanotechnology, Transducers.

## 1. Giriş

Doğada yaşam mücadelesi veren canlılar, yaşadıkları ortamlarda belli bir süreç içinde meydana gelen değişimlerin tümünü algırlar. Yaşamlarını devam ettirebilmek adına bu değişimlere ayak uydurmak zorundadırlar. Canlılardaki bu algılama mekanizması (Göz, Burun, Deri, Dil ve Kulak) araştırmacılar tarafından örnek alınarak laboratuvar ortamında elde edilmeye çalışılır. İşte biyolojik bir olayın elektriksel sinyale dönüşümünün laboratuvar ortamında elde edilmesi sonucu biyosensörler elde edilmiştir. Canlılar, yaşam süreci içinde gerçekleşen uyarıların algılanmasını sağlayan biyolojik maddeleri temel parçalarına ayırır. Daha sonra bu parçalar ve aralarındaki ilişkiler bir bütün halinde incelenir. Bu araştırmalar sonucu elde edilen sistemlerin (biyolojik bir olayın elektriksel sinyale dönüşümü) birleştirilmesi sayesinde biyosensör yapıları oluşur [1]. Günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde biyosensörler çok hızlı bir gelişim göstermektedir. Sensör teknolojisinin kimya, biyoloji, malzeme bilimi, mühendislik gibi çalışma alanlarını kapsaması ve bu disiplinlerdeki yeni teknolojilerle güncellenmesi biyosensörlerin gelişimine bariz şekilde katkı sağlamıştır.

Biyosensörler amperometrik, potansiyometrik, piezoelektrik, ısı, akustik ve optik sensörler gibi mevcut yapılar sayesinde enzimler, hücreler, mikroorganizmalar, kimyasal reseptörler ve immunolojik ajanlar gibi biyolojik sistemlerin bir araya getirilmesi sonucu ortaya çıkmışlardır [2]. Biyosensörler, canlı vücudunda gerçekleşen (dış etkenlere bağlı olarak) biyolojik bir olayın elektrik sinyali haline dönüştürülmesi şeklinde tanımlanır. Fizik, kimya, biyoloji, biyokimya, mühendislik gibi birçok bilim dalından elde edilen bilgi birikimlerinden yararlanılarak, biyolojik moleküllerin veya sistemlerin seçicilik özellikleri sayesinde ileri elektronik işlem yeteneklerinin birleştirilmesi sonucu geliştirilir. Biyosensörler, tıp ve eczacılığın yanında birçok farklı endüstriyel alanda kullanılmak üzere geliştirilmiş biyoanalitik cihazlardır.

Biyosensörler, biyolojik analizlerde kullanılan ve farklı özellikteki kimyasal maddelere karşı verilen biyolojik yanıtların optik, ısı, elektrik gibi sinyallere dönüştürülmesini sağlar. Biyosensörler, elektronik devrelerin zaman içinde gelişim göstermesi sonucu küçük boyutlu yapılar haline gelmişlerdir. Biyosensörlerin nano boyutlu çalışmalar sayesinde çipler üzerine montajı sağlanmıştır. Bununla birlikte elektronik alanda biyolojik yapıların bulundurulması ve farklı yanıt verme yetenekleri geliştirilmiştir [3]. Biyosensör teknolojisi incelendiğinde nanoteknolojiden etkilendiği görülmektedir. Nanoteknoloji sayesinde boyutları daha küçük, hassas, uzun ömürlü ve ucuz olacak şekilde elde edilir. Biyosensörler yeni gelişen teknolojiler sayesinde gelişmeye devam edecektir.

## 2. Biyosensörler

Canlılar yaşamlarını sürdürebilmek için buldukları ortamda meydana gelen değişimleri algılayıp en kısa sürede adapte olmak zorundadır. Sergiledikleri bu davranışlar sayesinde, dışarıdan gelebilecek tehlikelere karşı koruyucu kalkan oluşturmak için çoğunlukla saf enzim, doku ve mikroorganizma özelliğine sahip doğal sensörleri kullanırlar [4]. Canlılarda var olan algılama mekanizması birçok bilim adamı tarafından örnek alınarak biyosensörler elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sayesinde elde edilen enzim elektrodu, glukoz ve oksijen içeren biyolojik çözeltiyle temas ettirildiğinde her iki bileşik enzim membran içinden geçer. Çözelti içerisindeki elektrot oksijeni kullanarak glukozu glukonik aside oksitler. Bu sayede enzim elektrotu oksijenin kısmi basıncında meydana gelen azalma miktarını ölçer. Biyolojik sensörler bu değişimlerden yararlanarak fiziksel verileri elde eder. Analitlerin (Biyolojik veya biyolojik olmayan uygulamalarda analizi yapılan madde veya materyal), biyolojik algılayıcıların (Enzimler, antikorlar, nükleik asitler (Deoksiribonükleik asit, ribonükleik asit), mikroorganizmalar, hücreler, dokular, yapay biyolojik algılayıcılar) ve seçici olarak etkileşimde bulunan fizikokimyasal dönüştürücülerin (Elektrodlar, transistörler, termistörler, optik fiberler, piezoelektrik kristaller) bir araya getirilmesi sonucu fiziksel sinyallerin ölçülmesi sağlanır. Ölçülen bu fiziksel sinyallerden elektriksel sinyaller elde edilir. Bu şekilde çalışma sergileyen yapılar biyosensör olarak adlandırılır [5]. Şekil 1’de biyosensörlerin blok gösterimi verilmektedir.



Şekil 1. Biyosensörlerin blok gösterimi

Biyosensörler, biyolojik reaksiyonlarda hedef analit materyalleri denetlemek amacıyla kullanılan ve algılama özelliğine sahip olan cihazlardır. İç içe geçmiş biyokimyasal ve elektrokimyasal özellikteki iki anahtar yapıdan oluşur. Biyokimyasal kısım analiz edilecek maddeyle etkileşime girer ve onun tanınmasını sağlar. Bu işlem sırasında biyokimyasal ürün meydana gelebilir. Biyosensörlerin elektrokimyasal kısmında ise tanıma olayı sonucu elde edilen verinin okunabilir (ölçülebilir) sayısal bir değere dönüşmesi sağlanır [6]. Biyosensörler, biyolojik moleküllerin veya kullanılan düzeneklerin seçicilik özellikleri ile kullanılan ileri elektronik yöntemlerin işlem kabiliyetlerinin birleştirilmesi sonucu geliştirilen modern yapılar olarak adlandırılır. Günümüz teknolojisi sayesinde geliştirilen ve geniş kullanım alanına sahip olan biyosensörlerin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Biyosensörler genellikle biyolojik veya kimyasal etkiye sahip bir maddeye seçici olarak, hızlı ve devamlı bir şekilde reaksiyon göstermesi sonucu işlevlerini yerine getirir [7]. İşlevini yerine getirirken biyoaktif ve biyoalgılama materyaline sahip olmak zorundadır. Bu materyaller, analitleri tanıyabilmeli ve transdüser ile yakın temas içinde bulunmalıdır. Aksi takdirde biyosensör uygulamalarında elde edilen büyüklükler üzerinde işlem yapılması sırasında sıkıntılar ortaya çıkar. Bu yapılar biyoloji, fizik, kimya, biyokimya gibi bilim alanlarından elde edilen deneyimler sayesinde bilimsel veya teknik açıdan birçok bilim dalının birlikte kullanılması sonucu ortaya çıkmıştır. Elde edilen bu yapıların, uzun depo kararlılığı, kısa analiz süresi, tepkimelerde işlenen maddelerin orijinalliyi gibi birçok üstün özelliği bulunur. Yapılan analizlerde tekrarlanabilirlik özelliği yüksek olduğundan tüm laboratuvar ortamlarda kolaylıkla uygulanabilir. Bu metodun uygulanması için fazla zamana ihtiyaç yoktur. Yapılan ölçüm işlemleri esnasında işlem basamak sayısı daha az olur. Bu nedenle yapılan işlemler esnasında yüksek fiyatlı cihazlara ve çeşitli kimyevi materyallere gereksinim duyulmaz.

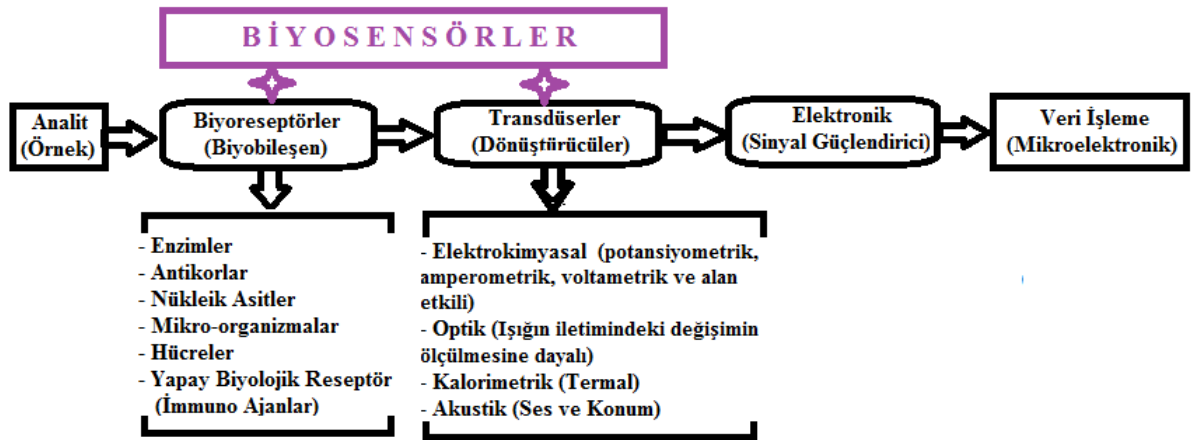
### 3. Biyosensörlerin Yapısı ve İşlevleri

Biyosensörler, biyobileşenlerin (reseptör) ve fiziksel bileşenlerin (transducer) bir araya getirilmesi sonucu ortaya çıkarlar. Reseptörler, biyomoleküller bir yapıya sahip olduğundan biyoreseptör olarak adlandırılır. Biyoreseptörler, analiti algılayabilen biyomoleküller bir yapıya sahiptir. Biyosensörlerin gelişiminde anahtar rolü bulunan biyoreseptörler, analiz edilecek madde ile seçici olarak etkileşim içerisine girebilen oldukça duyarlı biyolojik yapılardır. Biyoreseptör yapılarda, biyolojik moleküller (antikor, enzim, protein, nükleik asitler gibi) veya canlı biyolojik sistemler (hücre, doku ve mikroorganizmalar gibi) kullanılabilir [8]. Günümüzde biyosensörler biyobileşen ve transducer olarak birçok farklı madde ve sistem içerir. Bunların en önemlileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Biyosensör bileşen içerikleri [9]

Analit (Örnek)	Biyobileşen (Reseptör)	Sinyali İleten Sistem
Metaller		Elektrokimyasal Esaslı
Hormonlar	Enzimler	Elektrokimyasal Esaslı
Enzim	Antikorlar	Yan iletken Esaslı
Koenzimler	Hücre	Optik Esaslı
Substrat	Doku kesitleri	Fotometri Esaslı
Aktivatör	Reseptörler	Fluorometri Esaslı
Inhibitör	Mikroorganizmalar	Fluorometri Esaslı
Antikor - Antijen	Nükleik asitler	Piezoelektrik Esaslı
Nükleik asit	Lipitler	Kuartz Kristal Mikrobaleans
Mikroorganizmalar	Hücre organelleri	Mikrokantileverler
Glikoz	Glikoz oksidaz	Amperometrik
L - aminoasitler	Horsarodis, peroksidaz	Potansiyometrik
Herbist	Antibadiler	Piezoelektrik kuartz kristal

Biyosensörler, biyolojik bir olayın elektriksel sinyale dönüştürülmesini sağlar. Genel olarak analizi yapılacak olan madde ile isteğe bağlı olarak etkileşime giren biyoaktif bileşenin etkileşmesi sonucu ortaya çıkan sinyali ileten bir iletici düzencekle birleştirilmesi ve ölçüm düzenekleriyle birlikte kullanılması sonucu oluşur. Oluşan sistem özelliklerine bağlı olarak yükseltici, mikroişlemci, dijital görüntüleyici gibi yapılara ihtiyaç duyulduğunda sistem içerisine sonradan dahil edilebilir. Sistem içerisine sonradan dahil edilen bu fiziksel bileşenler, biyobileşenlerin biyolojik fonksiyonlarını ölçebilme özelliğine bağlı olarak fiziksel sinyale dönüştürür. Oluşan biyokimyasal reaksiyon göz önünde bulundurularak uygun fiziksel büyüklük seçilir. Fiziksel büyüklük (transduser) olarak sistem içerisinde kullanılan elektrotlar (İletken çubuk) amperometrik ve potansiyometrik gibi ölçme işlemlerinde kullanılır [10]. Ayrıca bu ölçme işlemleri dışında transistör ve termistör gibi elektronik elemanlar da fiziksel bileşen olarak sistem içerisinde kullanılabilir. Biyosensörlerde, biyoaktif bileşenleri tayin eden maddenin etkileşimi sonucu gerçekleşen sinyalin ölçülmesi ve iletilmesi sırasında elektrokimyasal, optik, kalorimetrik ve piezoelektrik gibi elektronik düzenekler kullanılır. Sistem içerisinde kullanılan bu düzenekler sayesinde uzun süren tahliller daha kısa sürede sonuçlandırılır. Şekil 2’de biyosensör bileşenleri verilmektedir.



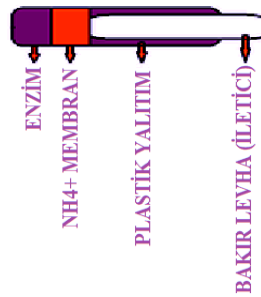
Şekil 2. Biyosensörleri oluşturan bileşenler

Biyosensör uygulamalarında, analiz edilecek madde ve yapılar analit olarak tanımlanır. Biyosensör yapısındaki bileşik veya karışımları oluşturan unsurlar, biyoreseptör olarak adlandırılır. Biyoreseptörler, analit maddeleri olduğundan farklı bir biçime dönüştürür. Bu işlemler sırasında yaygın olarak kullanılan analitler, enzimler ve antikorlardır. Enzim-substrat ve antikor-antijen arasındaki ilişkilerin ilk adımı analitlerin protein moleküllere bağlanmasıdır. Kimyasal bağın hidrolizini katalizleyen enzimler dışındaki esas işi yapan enzimlerin yokluğunda yalnızca tepkime esnasında işlenen maddeler enzime bağlanır. Esas işi yapan enzimlerin varlığında ise tepkime esnasında işlenen maddelerin kimyasal dönüşüme uğraması sonucu gerçekleşir. Son yıllarda geliştirilen katalitik antikorlar yalnız antijenleri benimsemekle kalmaz bunlarla kimyasal tepkimeye giren bir maddeyi, hiçbir değişikliğe uğratmadan, tepkimenin gerçekleşmesini veya tepkime hızının değişmesini sağlar. Protein yapılı küçük maddelerin polimerleşmesi sonucu büyük moleküller oluşur [11]. Ayrıca nükleik asitler ve karbonhidratlar da bir türe özgü gen halkası analizleri ve hücre yüzeyi karakterizasyonu gibi alanlarda kullanılır. Böylece biyosensör uygulama alanları geliştirilir. Biyosensörler için pek çok sınıflandırma yapılmaktadır. Örneğin biyoreseptör (Antikor / antijen etkileşimi, Nükleik asit etkileşimi, Enzimatik etkileşimler, Hüresel etkileşimler, Biomimetrik malzeme etkileşimi) veya dönüştürücü tipine göre (Optik ölçümler, elektrokimyasal, Kütle hassasiyetine dayalı ölçümler) sınıflandırılırlar [12]. Biyosensör sınıflandırılmasında farklı bir bakış açısı ise iletim ve ölçüm sistemleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak gerçekleşir. Buna ilişkin yapılan sınıflandırma tablo 2’ deki gibidir.

**Tablo 2.** Biyosensörlerin, iletim ve ölçüm sistemlerine göre sınıflandırılması

Biyosensörler	Sınıflandırılması
<b>Elektrokimyasal Esaslı Biyosensörler</b>	- Amperometri Esaslı Biyosensörler (Elektrotlar) - Potansiyometri Esaslı Biyosensörler (Elektrotlar) - Yan İletken (kondüktometri) Esaslı Biyosensörler (Transistörler)
<b>Optik Esaslı Biyosensörler</b>	- Fotometri Esaslı Biyosensörler (Optik Lifler) - Fluorometri Esaslı Biyosensörler (Optik Lifler) - Biyoluminesans Esaslı Biyosensörler (Optik Lifler)
<b>Kalorimetri Esaslı Biyosensörler</b>	- Termistörler (İst. İzotermal, İzoperibol)
<b>Piezo elektrik Esaslı Biyosensörler</b>	- Piezoelektrik Kristaller

Transduserler, reseptörlerin oluşturduğu biyolojik reaksiyonları ölçen ve fiziksel bir sinyale dönüştüren yapılardır. Analitin tanınmasından sonra fiziksel ve kimyasal değişim algılanır, ölçülür ve dijital sinyallere dönüştürülür. Biyokimyasal tepkimeler göz önüne alınarak transduser seçimi yapılır. Enzim elektrotlar, amperometrik ve potansiyometrik ölçme işlemlerinde kullanılan hedef bir maddedir. Biyosensör yapısında bir enerji biçimini başka bir enerji biçimine dönüştüren cihazlar (Transduserler), elektrokimyasal (Amperometrik, voltametri, potansiyometrik, kapasitif, iletken, impedans olanlar dahil), optik (Yüzey plazmon rezonans, emilim, kimyasal ışıltama, biyolojik ışıltama, flüoresans, optik fiber olanlar dahil), piezoelektrik (kuartz kristal mikrobalsans, yüzey ses dalgası), kalorimetrik ve manyetik özellikler sergiler [13]. Biyosensörler günümüzde ağırlıklı olarak biyomedikal alanlarda teşhis amaçlı kullanılır. Hiç şüphesiz biyomedikal cihaz teknolojisi biyosensör için en iyi uygulama alanlarından biridir. Biyomedikal alanında uygulama imkânı bulan ilk sensör enzim biyosensördür. Ticari amaçla üretilen ilk biyosensör şeker hastalığı teşhisi, kan ve idrarda glukoz tayini için geliştirilen glikoz oksidaz elektrotudur. Bu enzim sensörlerine vücuttaki glukoz, üre, şeker gibi biyolojik ürünlerin takip edilmesi, kanserlerin izlenmesi ve mikropların sebep olduğu vakaların tespiti amacıyla sıklıkla başvurulur [14]. Biyosensör teknolojisinin tarihi gelişimine bakıldığında bu alandaki ilk çalışmanın enzim sensörleriyle başladığı görülmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalar sayesinde, oluşturulan yeni analitik sistemler, biyolojik sistemin (enzim) yüksek seçiciliği ve fiziksel sistemin (sensör) tayin duyarlılığı gibi birçok biyolojik parametreye yönelik uygulamaların yapılmasıyla çeşitli tipte biyosensörler geliştirilir. Şekil 3’de enzim biyosensörünün genel görünümü verilmektedir.

**Şekil 3.** Enzim biyosensörünün genel görünümü

Enzim sensörünün şematik görünümü incelendiğinde genel çalışma prensibi anlaşılabilir. Bunun için enzim veya enzimlerin immobilize edilmiş biyoaktif tabakasındaki olayların yakından incelenmesi gerekir. Enzim elektrotundaki biyoaktif tabaka, enzimi katalizleyip reaksiyona sokan uygun bir iletim ve ölçüm sistemi ile birleştirilir. İletim sistemleri, biyoaktif tabakada meydana gelen enzimatik reaksiyon sonucu substrat, kosubstrat konsantrasyonundaki azalış veya artış miktarına uygun olarak seçilir. Konsantrasyonların hızlı bir şekilde dengeye kavuşması için difüzyonu azaltmak amacıyla biyoaktif tabaka kalınlığı mümkün olan en ince hale getirilir. Biyoaktif tabakada sabit enzim tepkimesi şeklinde gerçekleşen madde konsantrasyonu için ölçüm çözeltisinin yeterli miktarda karıştırılması

gerekir. Kullanılacak olan doğal ölçüm çözeltisi, biyoaktif tabaka ve biyoaktif tabaka-iletici ara yüzeyinde oluşan konsantrasyondan farklılık gösterir. İletici sistemin ölçeceği sinyal, biyoaktif tabaka-iletici ara yüzeyindeki oluşan konsantrasyonlarla ilişkilidir [15]. Enzim sensörleri genel olarak, biyoaktif tabaka, transduser (iletici) ve ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Biyosensörlerin diğer sensörlerden farkı biyoaktif tabaka üzerinde biyomolekül olarak enzim materyalinin bulunmasıdır. Buna karşılık diğer biyosensörlerde olduğu gibi biyoaktif tabakanın iç ve dış yüzeyindeki ince zar, iletici ile ölçüm sistemleri arasındaki sinyal yükselten devreler, mikroışlemciler, ölçüm sistemi ile bağlantılı kaydediciler veya bilgisayar sistemlerine ihtiyaç duyulduğunda sonradan dâhil edilebilir [16]. Temel bilimlerdeki gelişmeler enzimlerin ve diğer biyolojik materyallerin işlevlerini çok daha ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarılmasına imkân sağlar. Bu gelişmeler sonucu farklı biyolojik materyaller ve iletim düzenekleri birleştirilerek yeni özelliklere sahip biyosensör yapılar elde edilir. Bu alanda hangi temel iletim sistemi uygulanmış olursa olsun elektrokimyasal esaslı biyosensör kullanımı tartışmasız bir üstünlüğe sahiptir [17]. Pratikte enzim elektrotlarının kullanım sahaları oldukça fazladır. Tercih edilmelerindeki en önemli faktör canlı sistemler sayesinde her türlü maddenin doğrudan veya dolaylı yollarla analiz işleminde kullanılacak bol miktarda enzimin bulunmasıdır. Bilinen veya bilinmeyen enzimlerin potansiyel varlığı, yüzlerce enzim preparatının bulunabilmesi ve sayılarının her geçen gün artması enzim sensörlerinin tartışmasız üstünlüğünün devam edeceğini göstermektedir.

#### 4. Biyosensörlerin Tasarımı

Biyosensör tasarımı esnasında temel olarak kullanılan ileri teknolojiler, örnekler, çalışma koşulları ve elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulur. Bunlarla ilgili veriler Tablo 3’de verilmiştir [18].

**Tablo 3.** Biyosensör tasarımında kullanılan önemli unsurlar

BİYOSENSÖR			
Kullanılan Teknolojiler	Analitler	Çalışma Koşulları	Elde Edilen Sonuç
- Kimya, Biyokimya - Biyoloji, Moleküler Biyoloji - MEMS, NEMS, - Mikroakışkan - Nanotüp, Nanotel, - Nanopartikül - Enstrümantasyon	- Katı - Sıvı - Gaz - Karışım (Organik ve inorganik materyaller)	- Çevrim içi - Gerçek zamanlı - Sürekli veya Kesikli - Tek veya çoklu hedefler - Otomatik veya yarı otomatik - Tezgah üstü veya taşınabilir - Sahada veya laboratuarda	- Seçicilik - Duyarlılık - Ölçüm aralığı ve süresi - Tekrarlanabilirlik - Hız - Maliyet - Tutarlılık - Kararlılık

Kullanılan analitler, birçok bilinen, bilinmeyen, organik ve inorganik materyallerden oluşur. Bu nedenle analitlerin konsantrasyonu önemlidir. Hedef analitlerin ayrıştırılması sonucu belirginlik sağlanır. Böylece konsantrasyon alt tespit limiti iyileştirilerek arzu edilen değere ulaşılır. Bunun için genellikle filtrasyon, santrifüj ve manyetik imüno-ayırıştırma metodları kullanılır. Manyetik imüno-ayırıştırma, hızlı, kolay ve otomatik bir uygulama olduğundan biyosensör çalışmaları esnasında tercih edilir. Ayırıştırma metodu uygulamalarında, doğal mıknatis veya elektro-mıknatis kullanıldığında manyetik nanopartiküller ve mikropartiküller manyetik olarak manipüle edilebilir. Manipüle edilmiş hücreler, bir manyetik ortam içerisinde kaldığında seçilebilir, ayrıştırılabilir ve sıralanabilir özelliğe kavuşur [19].

Biyosensörlerde belirlilik veya seçicilik performans değerlendirmesinde kullanılan en önemli kriterlerdir. Biyosensörün sadece analit maddeye olan ilgisi özgünlüğünün belirtisidir. Bu nedenle başka reaktiflere ilgi göstermez ve hatalı sonuç vermez [20]. Biyosensör çıkış sinyalindeki değişimin hedef analit konsantrasyonundaki değişime oranlanması hassaslığının ölçüsünü belirler. Sinyaldeki değişim biyosensörün farklı konsantrasyonlarda hedef analit içeren standart bir çözeltiye maruz bırakılması sonucu gözlemlenebilir. Farklı biyoalgılama materyalleri ve dönüştürme cihazlarına bağlı olarak bir biyosensörün hassaslığını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Biyosensörün hassaslığının her zaman aynı kalması ve güvenilir sayısal sonuçlar vermesi beklenir. Elde edilen sonuçların doğruluk oranının yüksek olması gerekir [21].



Biyosensörün tespit süresi, örnekleme aşamasından sonuçların görüntülediği ana kadar geçen süredir. Bazen cevaplama ve sıfırlama süresi de bu hesaplama dâhil edilir. Cevap süresi, bir biyosensör ölçüm sinyalinin bir denklem içinde elde edilmesi için geçen zamandır. Sıfırlama süresi, bir biyosensörün bir sonraki örneğin kullanıma başlama aşamasına kadar gerek duyulan hazırlık süresidir. Biyolojik örneklerde ve biyoalgılama materyallerinde büyük değişkenlik beklendiğinden biyosensör değerlendirmelerinde tekrar edilebilirlik ve yeniden üretilebilirlik önemlidir. Biyoalgılama materyalleri, zamanla ısdan, nemden, pH ve diğer faktörlerden etkilenir. Bu ortamlarda bozulan organik materyallerin kullanım ömürleri dikkat edilmesi gereken önemli bir diğer faktördür. Gerçekte, bir biyosensörün standart örnek değişikliklerine cevap sinyali, kullanılan biyoalgılama materyallerine bağlı olarak aylar, günler hatta saatlerle ifade edilebilir [22].

## 5. Nanoteknoloji ve Biyosensörler

Nanoteknoloji, maddeyi nano boyutlarda, yani atomik, moleküler ve supramoleküler düzeydeki yapılar seviyesinde denetlenmesi yoluyla yeni malzeme, cihaz ve düzeneklerin tasarlanması ve üretilmesi işlemlerini konu alan bir teknoloji bilimidir. Nanoteknoloji malzemelerin atomik ve moleküler düzeyde işlenmesi ile uğraşır. Bu çalışmalarda elde edilen özellikler sayesinde, istenen işlevleri yerine getirebilen, insan eliyle tasarlanabilen ve moleküler/atomal düzeyde kontrol edilebilen, hiç bilmediğimiz yeni malzemeler, yapılar, organizmalar, sistemler ve cihazların geliştirilmesi sağlanır. Nanoteknolojinin sağlık alanındaki işleyişini incelediğimizde, ilaç geliştirme, teşhis, tedavi, hastalık ve dıştan bir etki sonucu oluşan organ ya da doku yapısını veya biçimini bozmaya yol açan yaralanmaların önlenmesi, ağrının kontrolü, insan sağlığının korunması ve geliştirilmesi, su dekontaminasyonu (Nesne ve canlı dokulardan patojen mikroorganizmaların dezenfeksiyon, sterilizasyon, temizlik ve/veya antisepsi ile uzaklaştırılması), bilgi ve iletişim teknolojileri, daha hafif ve dayanıklı malzemelerin üretimi gibi birçok alanda önemli katkılar sağladığı görülmektedir [23].

Nanoteknoloji ayrıca farmakoloji ve ilaç dağıtım sistemleri, hasta takip cihazları ve rejeneratif bilimlerdeki gelişmeler sayesinde ağırlık kazanmıştır [24]. Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen bu ürünler kullanılarak, ilaçlar hedef doku ve hücrelere taşınmakta, hasta dokular onarılabilmekte, tıkanan damarlar açılabilir [25]. Sağlık alanında birçok soruna çözüm bulan nanoteknoloji, kullanım alanlarındaki artışa paralel olarak önemini giderek artırmaktadır.

Nanoteknoloji kullanılarak üretilen biyosensör MEMS/NEMS/BioNEMS (mikro, nano veya biyosensör elektromekanik sistem), nanoteknoloji ve biyoteknoloji alanında elde edilen gelişmelere paralel olarak daha fazla özelliğe sahip olması beklenmektedir. Modern zaman biyosensörleri olarak adlandırılan, nanoteknoloji ve chip teknolojisi kullanılarak geliştirilen yeni nesil biyosensörler sayesinde sonuçların daha kolay izlenmesi ve değerlendirilmesi sağlanır. Bu teknoloji sayesinde, biyoçip yerleştirilen bireyde oluşacak varyasyonların bireyin hastaneye gitmeden takibini mümkün kılacaktır. Ayrıca, moleküllerin temel yapılarını çoğaltma ve görüntüleme yöntemlerinin hızla gelişmesi, nanoteknoloji ile birlikte değerlendirilmesi, nükleotit esaslı biyosensörlerin kullanım alanlarının daha da yaygınlaşmasına neden olacaktır [26, 27].

Sağlık alanında kullanılan nano boyutlu biyosensörler ilk olarak Dr. Meyyappan tarafından yarı iletken biçiminde tasarlanmış ve küçük moleküllerin büyük moleküllere dönüştürülmesi sayesinde karbon nanotüp yapılar incelenmeye başlanmıştır [28]. Yapılan araştırmalar sonucu karbon nanotüp yapılar biyoalgılayıcı ve elektronik parçaların küçültülmesi çalışmalarının eşlenmesi biyolojik sistemlerdeki elektrik veya elektrokimyasal sinyallerin tanınması ve okunabilmesini sağlar [29]. Tıp alanında gerçekleştirilen bu nanoteknolojik çalışmalar, nanotüp olarak adlandırılır. Tıp alanında nanoteknolojinin kullanılması sayesinde hücre fonksiyonları kontrol altında tutularak hastalıkların önlenmesi sağlanır. Ayrıca erken teşhis ve tedavi, yara iyileşmesi, vücudun moleküler bilgilerinin kullanılabilmesi, sağlığın geliştirilmesi ve korunması gibi moleküler araçların üretilmesi de sağlanır [30]. Günümüzde kullanılan tıbbi yöntemler hücre düzeyinde etkili olamadığından, bazı hastalık ve yaralanmaların teşhis ve tedavisinde güçlük yaşanmaktadır. Bu amaca yönelik nanoteknoloji kullanımı sonucu, biyomedikal ve tıp alanlarında akıllı ilaç taşıyıcıları, tıbbi görüntüleme araçları, biyosensörler, nanomakineler (biyrobotlar), vücut içerisine ve canlı dokulara yerleştirilen cansız maddeler ve yapay doku materyalleri geliştirilmektedir. Ayrıca nükleik asit analizleri, biyolojik bilginin bilgisayar yardımıyla incelenmesi ve işlenmesi, farklı türlerin yapısal ve işlevsel uygulamaları için DNA

çiplerinin nanofabrikasyonu, kök hücre bazlı doku mühendisliği (Organ ve doku nakli) uygulamaları ve nanocerrahi girişimler uygulanabilmektedir [31].

Günümüzde nanotıp alanı, özellikle belirli doku ve organları hedef alan nanorobotlar ve sağlıklı hücreye zarar vermeden hedefe yönelik ilaç verebilen yapıların geliştirilmesi sayesinde birçok hasta için umut ışığı olmaktadır. Günümüzde ilaç salan sistemlerin en büyük problemi, ilacın istenilen yere ulaşımının sağlanmasıdır. Bu zorluk, nanoküreler içerisine hapsedilmiş ilaçların hedeflenen dokuya ulaştırılması esnasında daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. Vücut içerisine alınan nanoküre yabancı cisim olarak algılandığından bağışıklık sistemi tarafından yok edilmeye çalışılır. Bunun için nanoküreler biyouyumlu polimerlerle kaplanarak bağışıklık sisteminin etkisinden uzak tutulur. Böylece nanokürenin hedef hücreye ulaşımı sağlanır [32]. İlaç taşıyıcı sistemler sayesinde canlılarda çeşitli biyomoleküllerin tanınması ve istenilen şekilde cevap verilmesi mümkün olmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde özgül DNA dizilerini veya herhangi bir serum biyomolekülünü tanımak, sisteme odaklanma süresini saptamak ve nanoteknolojik araçların yapımının gerçekleşmesi mümkün olur [33]. Benzer şekilde reseptörler aracılığıyla, vücuda giren antikorları zararsız duruma getirmek için organizmanın çıkardığı maddelerle veya biyokimyasal usullerle çeşitli hücre içi ve hücre dışı olayları algılayabilen ve tanıdığı bölgede ilaç salınımı yapabilen, olağanüstü katalitik aktiviteye sahip moleküllerin etkinliği veya mekanik bir etkileşimde bulunabilen nano yapılar konusunda araştırmalar devam etmektedir. Nanoteknoloji alanının tıp dünyasına getirdiği en önemli yenilik kanser oluşumu, damar sertleşmesi, yeni damarlanma ve benzeri birçok patolojinin görüntülenmesi, erken teşhis aşamaları ve takibi gibi işlemlerde gelişmiş görüntüleme yöntemlerinin kullanılmasıdır [34]. Radyolojide teşhis amacıyla kullanılan X ışınları, takip edilebilen nanoparçacıkların doku çeşidine, hücre çeşidine, belirli bir kimyasal bağlanma çeşidine ve hatta reseptörlerin alt ünitelerine orijinallik gösterecek şekilde hedeflenebilmesi, gelecekte yeni görüntüleme teknolojilerinin uygulanmasına imkân sağlayacaktır [35].

## 6. Nanoteknolojinin Biyosensörlerde Kullanılma Nedenleri [1]

- Doğadaki büyük boyutlu yapılar yerine nano boyutlu yapılarla çalışma imkânına kavuşmak.
- Uygulamalarda kullanılan nano yapı malzemeler sayesinde yüksek duyarlılık sağlamak.
- Biyosensörlere nano yapı elektronik parçacık eklendiğinde bellek ve işlem yetenekleri artar.
- Karmaşık yapı nano moleküllerin analizlerini kolaylaştırır.
- Çeşitli kimyasal ajanların, mikroorganizmaların ve minerallerin teşhisini mümkün kılar.
- Yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip kablo kullanımı sayesinde yüksek seçicilik sağlar.
- Nanoteknolojik ürünler çalışma esnasında az enerjiye ihtiyaç duyarlar.
- Nanoteknoloji ile üretilen biyosensörlerde difüzyon problemi gözlenmez.
- Biyosensörlerin daha uzun ömürlü olmaları sağlanır.
- Araştırmacılara canlı hücrelere zarar vermeden çalışma imkânı sunar.

## 7. Sonuç ve Öneriler

Doğadaki canlılar hayatlarını devam ettirebilmek amacıyla çevrelerindeki değişimleri hızlıca algılayıp bunlara adapte olmak durumundadır. Canlıların yaşadığı çevrede ya da kendi içlerinde meydana gelen değişimleri algılama gücü, araştırmacıların ilgisini çeken ve onlara ilham kaynağı olan önemli bir unsur olmuştur. Kusursuz işleyişe sahip olan biyolojik sistem ile teknolojinin birleşmesinin ürünü olan biyosensörler günümüzde göz kamaştırıcı bir seviyededir. Hiç şüphesiz, gerek biyolojide her geçen gün yeni bir bilginin ortaya çıkması gerekse teknolojideki gelişmelerin hız kesmeden devam etmesi, yeni biyosensörlerin çok yakın zamanda geliştirileceğinin habercisidir. Bilim adamları bulunduğumuz yüzyılda nanoteknoloji sayesinde ileri teknolojiye sahip birçok biyosensör üretmekte ve yeni özellikler kazandırmak için çalışmalar yapmaktadır. Biyosensörler, analitin alınması ve sonuçların elde edilmesi arasında geçen süreyi oldukça kısaltmaktadır. Nanoteknoloji ile üretilen biyosensörler daha az analite ihtiyaç duyulmakta ve aynı zamanda yüksek düzeyde duyarlılık ve özgüllüğe sahip olmaktadır. Ölçüm düzeneklerinin otomasyon sistemine uygun ve taşınabilir olması değişik sektörlerde kullanılmasına imkân sağlar. Biyosensörlerin geleceği ise üretim maliyetine ve aktif kullanımına bağlıdır.

Biyosensörlerin ticarete dönüştürülmeleri, üretici firmalar veya ülkeler adına önemli kazançlar sağlarken, satın alan ülkeler ise büyük miktarda paraları üretici ülkelere ödemek zorunda kalacaklardır. Bu gelişmelerin dışında kalmamak için gelişen teknolojinin nimetlerinden üretici olarak faydalanabilmek gerekmektedir. Bu amaçla ülkemizde biyosensör konusunun daha sık gündeme getirilmesi ve devlet tarafından daha çok desteklenmesi şarttır.

## Kaynaklar

1. Bulut Y. 2011. Biyosensörlerin Tanımı ve Biyosensörlere Genel Bakış, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs, Elazığ, Türkiye.
2. Blum L.J., Coulet P.R. 1991. *Biosensor Principles and Applications*, CRC Press, Boca Raton.
3. Ratner B.D., Hoffman A.S., Schoen F.J., Lemons J.E. 1996. *Biomaterials Science*, Academic Press, San Diego.
4. Gümüşderelioğlu M., Karakeçili Gönen A. 2013. Nanotıp ve Nano Robotlar, Bilim ve Teknik Dergisi, 20-21.
5. Aykut U., Temiz H. 2006. Biyosensörler ve Gıdalarda Kullanımı, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3: 51-59.
6. Coulet P.R., 1991. What is a Biosensor? Chapter 1; *Biosensor Principles and Applications*, Ed: Blum, L. J. Coulet, P. R, Marcel Dekker Inc., New York, 1-6.
7. Patel P.D. 2002. (Bio)sensors for Measurement of Analytes Implicated in Food Safety: A review, TrAC Trends Anal. Chem., 21: 96-115.
8. Scott A.M., Jedd D., Wolchok J.D., Old L.J. 2012. Antibody Therapy of Cancer, Nature Reviews, 12: 278-287.
9. Akbayırlı P., Akyılmaz E. 2007. Activation-based Catalase Enzyme Electrode and Its Usage for Glucose Determination, Analytical Letters, 40: 3360-72.
10. Zhou Y.L., Zhi J.F. 2006. Development of An Amperometric Biosensor based on Covalent Immobilization of Tyrosinase on a Boron-doped Diamond Electrode, Electrochemistry Communications, 8: 1811-1816.
11. Kindschy L.M., Alocilja E.C. 2004. A Review of Molecularly Imprinted Polymers for Biosensor Development for Food and Agricultural Applications, Trans. ASAE, 47: 1375-1382.
12. Gutes A., Cespedes F., Alegret S., Del Valle M. 2005. Determination of Phenolic Compounds by A Polyphenol Oxidase Amperometric Biosensor and Artificial Neural Network Analysis, Biosensors and Bioelectronics, 20 (8): 1668-1673.
13. Şerbetçi Z., Alkan C. 2008. 4-(1h-İmidazo[4,5-F][1,10]Fenantrolin-2-İl)-N,N'-Dimetilbenzenamin Ligandı ve Metal Komplekslerinin Sentez ve Karakterizasyonu, Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilim Dergisi, 20 (1): 91-97.
14. Rainina E.I., Efremenco E.N., Varfolomeyev S.D., Simonian A.L. 1996. The Development of A New Biosensor based on Recombinant E. coli for the Direct Detection of Organophosphorus Neurotoxins, Biosens Bioelectron, 11: 991-1000.
15. Turna Ö. 2006. Aminoasit Biyosensörlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
16. Dinçkaya E. 1999. *Biyosensörler*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Baskı Atölyesi, İzmir.
17. Putzbach W., Ronkainen N.J. 2013. Immobilization Techniques in the Fabrication of Nanomaterial Based Electrochemical Biosensors: A Review, Sensors, 13: 4811-4840.
18. Ferrari M., Bashir R., Wereley S. 2007. *BioMEMS and Biomedical Nanotechnology*, Springer USA.

19. Tibbe A.G., de Grooth B.G., Greve J., Dolan G.J., Rao C., Terstappen L.W. 2002. Magnetic Field Design for Selecting and Aligning Immunomagnetic Labeled Cells, *Cytometry*, 47: 163-172.
20. Singh N., Manshian B., Jenkins G.J.S., Griffiths S.M., Williams P.M., Maffei T.G.G et al. 2009. Nanogenotoxicology: The DNA Damaging Potential of Engineered Nanomaterials, *Biomaterials*, 30 (23-24): 3891-914.
21. Ng H.T., Li J., Smith M.K., et al. 2003. Growth of Epitaxial Nanowires at the Junctions of Anowalls, *Science*, 300: 1249.
22. Rasooly A. 2005. Biosensor Technologies, *Methods*, 37(1): 1-3.
23. Snejdarkova M., Svobodova L., Gajdos V., Hianik T. 2001. Glucose Biosensors based on Dendrimer Monolayers, *J. Mater Sci. Mater Med.*, 12: 1079-82.
24. D'Souza S.F. 2001. Immobilization and Stabilization of Biomaterials for Biosensor Applications, *Appl. Biochem. Biotech.*, 96: 225-38.
25. Kuruca B., 2012. Nanotıp ve Nanoteknoloji, *Net Bilim Dergisi*, 14 (1): 17-23.
26. Arlett J.L., Myers E.B., Roukes M.L. 2011. Comparative Advantages of Mechanical Biosensors, *Nat. Nanotechnol.*, 6: 203-15.
27. Pan Y., Sonn G.A., Sin M.L., Mach K.E., Shih M.C., Gau V., Wong P.K., Liao J.C. 2010. Electrochemical Immunosensor Detection of Urinary Lactoferrin in Clinical Samples for Urinary Tract Infection Diagnosis, *Biosens Bioelectron*, 26: 649-54.
28. Noh J., Park S., Boo H., Kim H.C., Chung T.D. 2011. Nanoporous Platinum Solid-state Reference Electrode with Layer-by-layer Polyelectrolyte Junction for pH Sensing Chip, *Lab. Chip.*, 11: 664-71.
29. Tascia F., Ludwig R., Gortona L., Antiochia R. 2013. Determination of Lactose by a Novel Third Generation Biosensor based on a Cellobiose Dehydrogenase and Aryl Diazonium Modified Single Wall Carbon Nanotubes Electrode, *Sensors and Actuators B*, 177: 64-69.
30. Langer R., Weissleder R. 2015. Nanotechnology, *JAMA*, 313 (2): 135-136.
31. Manchester M., Singh P, 2006. Virus-based Nanoparticles (VNPs): Platform Technologies for Diagnostic Imaging, *Adv. Drug. Deliv. Rev.*, 58: 1505-22.
32. Kocafe Ç. 2007. Nanotıp: Yaşam Bilimlerinde Nanoteknoloji Uygulamaları, *Hacettepe Tıp Dergisi*, 38 (1): 33-8.
33. Staggers N., McCasky T., Brazelton N., Kennedy R. 2008. Nanotechnology: The Coming Revolution and Its Implications for Consumers, Clinicians and Informatics, *Nurs Outlook* 56 (5): 268-74.
34. Seimetz D. 2011. Novel Monoclonal Antibodies for Cancer Treatment: The Trifunctional Antibody Catumaxomab (Removab®), *Journal of Cancer*, 2: 309-316.
35. McGlennen R.C. 2001. Miniaturization Technologies for Molecular Diagnostics, *Clin Chem.*, 47: 393-402.

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## Türkiye’de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları

Halil ŞENOL<sup>\*</sup>, Emre Aşkın ELİBOL<sup>2</sup>, Ünsal AÇIKEL<sup>3</sup>, Merve ŞENOL<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Giresun Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Giresun

<sup>3</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sivas

<sup>4</sup>Bulancak Anadolu Lisesi, İngilizce öğretmenliği Bölümü, Giresun

---

### Özet

Biyokütle, biyolojik olarak elde edilebilecek enerji potansiyeline sahip olan bir enerji kaynağıdır. Biyokütle her durumda oluşması ve tükenmez bir enerji kaynağı olması bakımından çok önemli bir değere sahiptir. Biyokütlenin enerji potansiyeli yenilenebilir enerji statüsünde yer aldığından, bu enerjinin tükenme riski yoktur. Dünya nüfusunun hızla artması enerji ihtiyacının da hızla artmasına neden olmuştur. Dünyamızın enerji kaynaklarının kullanımının % 86’ lık kısmını petrol, kömür ve doğal gaz oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanım oranı yaklaşık % 2,7’ dir. Bu % 86’ lık kısım tükenmekte olan enerji rezervlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynakları iyice değerlendirilmeli ve bu enerji kaynaklarının kullanımı artırılmalıdır. Biyogaz yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki büyük öneme sahip bir enerji kaynağıdır. Ülkemiz biyogaz üretimi için oldukça fazla biyokütle kaynaklarına sahiptir. Bu çalışmanın amacı ülkemizde biyogaz için mevcut olan özellikle organik atıklardan oluşan biyokütle kaynaklarının belirlenmesinden oluşmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Biyokütle, Yenilenebilir Enerji, Biyogaz, Organik Atıklar.

---

## Primary Biomass Sources for Biogas Production in Turkey

---

### Abstract

Biomass is an energy source that has a biologically obtainable energy potential. Biomass has a very important value in that it is formed in every situation and is an inexhaustible source of energy. Since biomass is involved in the energy potential renewable energy status, there is no risk of exhaustion of this energy. The rapid increase in world population has led to a rapid increase in energy demand. 86% of the world's energy resources are made up of oil, coal and natural gas. The rates of renewable energy usage is approximately 2.7 %. This 86 % consists from exhaustible energy reserves. For this reason, renewable energy sources should be thoroughly evaluated and the use of these energy sources should be increased. Biogas is a major source of energy for renewable energy sources. Our country, for biogas production, has too many biomass sources. . The aim of this study is to identify biomass resources, especially organic wastes, which are available for biogas in our country.

**Keywords:** Biomass, Renewable Energy, Biogas, Organic wastes.

---

### 1. Giriş

Dünya nüfusunun ve sanayileşmenin hızla artması dünyada enerji ihtiyacını hızla artırmaktadır. Dünya enerji ihtiyacını yaklaşık %24,2 doğalgaz, % 29 kömür ve % 32,8 petrolden karşılamaktadır. Geriye kalan kısım ise sadece nükleer enerji, hidro enerji ve yenilenebilir enerjidir. Dünyada doğalgaz, kömür ve petrol rezervleri tükenmekte olan enerji kaynaklarıdır. Ayrıca bu enerji kaynakları atmosferdeki karbondioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonunu artırdığından dolayı bu enerji kaynakları aslında doğa için oldukça zararlıdır [1].Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogaz enerjisinde ise bu durum çok farklıdır. Çünkü biyogaz enerjisi bileşenlerinden biri olan CO<sub>2</sub> ise doğanın kullandığı karbondioksite eşittir ve bu

---

\* Sorumlu yazar: [halilsenol1990@hotmail.com](mailto:halilsenol1990@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 20/05/2017 Kabul Tarihi: 02/10/2017

Bu çalışma CÜBAP tarafından M-686 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

nedenle atmosfere zararlı değildir ve kirlilik etkisi yaratmaz [2]. Biyokütleden elde edilen biyogaz ise, içeriğindeki metan ( $CH_4$ ) gazı sayesinde tükenmekte olan doğal gaz enerjisinin yerine geçebilecek en büyük potansiyeldir [3].

Biyokütle kullanılarak farklı ihtiyaç alanlarına yönelik katı, sıvı ve gaz formlarında değişik enerji ürünleri elde edilebilir. Biyokütle enerjisinin kolay depolanabilir olması da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre avantaj sağlar [4]. Biyokütle genel olarak 6 farklı metotla kullanılabilir. Bunlar doğrudan yakma, gazlaştırma, piroliz, aneorobik çürütme ve co-firing metoduyla biyoyakıt ve kömür yakıtları beraber kullanılarak enerji üretiminde kullanılabilir [5].

Biyokütle dünya toplam birincil enerji ihtiyacının yaklaşık %10'unu oluşturan, ısıtma ve ulaşımdaki kullanımının yanı sıra, elektrik üretimi amacıyla da kullanılır. Elektrik üretiminde biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgardan sonra ikinci sırada gelmektedir, güneş enerjisine dayalı üretim ise üçüncü sırada gelmektedir [5].

Ülkemiz biyokütle kaynakları ve organik atık kaynakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Fakat ülkemiz ürettiği enerjinin yaklaşık üç katını tüketen bir ülkedir. Bu nedenle enerji ihtiyacı açısından dışarıya bağımlılığımız %70 in üzerindedir. Ayrıca Türkiye'nin biyogaz potansiyeli mevcut doğal gaz kullanımının % 88'ine eşdeğerdir [6].

Biyogaz birçok biyokütleden elde edilebilen bir enerji kaynağıdır. Böylece biyogaz çeşitli organik maddelerden veya organik atıklardan üretilebilen bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır [7]. Biyogaz üretimi sonucunda oluşan gaz saf bir gaz değildir. Bu gazın içeriğinde yaklaşık olarak % 55-75  $CH_4$  gazı, % 25-45  $CO_2$  gazı, %1-10 hidrojen gazı ( $H_2$ ), % 0 – 0,3 azot ( $N_2$ ) gazı ve % 0-3 hidrojen sülfür gazı ( $H_2S$ ) içermektedir [8].

Ülkemizdeki organik atıklar genel toplam atıkların % 65'i dir. Bu nedenle ülkemiz çok büyük bir organik atık kapasitesine sahiptir. Bu atıklar kontrolsüz bir şekilde çevreye atılmakta ve çürümeye terk edilmektedir. Bu nedenle çevre kirliliği oluşturmaktadır. Böylece bu atıkların değerlendirilmesi hem çevre kirliliği açısından hem de enerji ihtiyacı açısından önem kazanmaktadır [4].

Biyokütleden anaerobik sindirimle biyogaz üretiminin birçok avantajı vardır. Bu avantajlara ek olarak anaerobik sindirim doğa ve bitkiler için ihtiyaç olan N ve F un geri kazanılmasını sağlar [9,10].

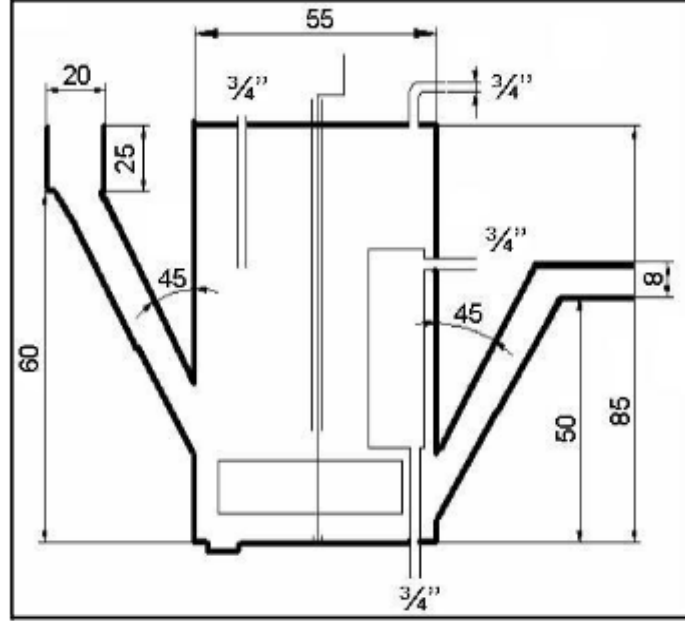
Bitkisel ve hayvansal organik maddeler, çoğunlukla ya çevreye atılarak doğaya zararlı bir hale gelmektedir ya da doğrudan yakılmaktadır. Bir başka alternatif olarak ise tarım için topraklara doğrudan gübre olarak kullanılabilir [11]. Fakat bu tür gübreler doğrudan toprağa kullanıldığı için zararlıdır. Çünkü bu gübrelerin oluşum aşamasında hayvanların veteriner tarafından kullanılan aşular, yedikleri zararlı yem karışımları vb. gibi maddelerden dolayı yapısında patojen bakterilerin oluşumu gerçekleşmektedir. Bu nedenle bu patojen bakteriler tarımda ki toprak verimini aksine daha da verimsiz hale getirebilir potansiyeline sahiptir [12]. Fakat biyogaz sonucu oluşan yan ürünler organik bir gübre olarak kullanılabilir potansiyeline sahiptir. Bu nedenle özellikle hayvan gübresinden oluşan organik atıklar anaerobik sindirim sonucu oluşan gübre özellikle toprak verimini %10 artırmaktadır. Böylece organik gübre için biyogaz üretimi yapmak hem biyogaz üretiminden enerji elde etmek için faydalı hem de organik gübre elde edilmesi açısından avantajlıdır [13].

### 1.1. Biyogaz Üretiminin Avantajları

- Temiz enerji kaynağıdır.
- Çevre dostu ve ucuz bir enerji ve gübre kaynağı olarak nitelendirilebilir.
- Atıkların değerlendirilmesini sağlar.
- Biyogaz üretimi sayesinde oluşan organik gübrede hayvan gübresinde bulunan yabancı ot tohumları çimlenme özelliğini kaybeder.
- Biyogaz üretimi sonucunda hayvan gübresindeki istenmeyen koku tamamen yok olmaktadır.
- Biyogaz üretimi sonucunda hem atıklar yok olmaz hem de çok değerli bir organik gübreye

dönüşür.

- Hayvansal kaynaklarda bulunan yabancı bileşenler yer altı sularını tehdit etmektedirler. Bu tehditler biyogaz üretimi sayesinde ortadan kalkmaktadır. Çünkü organik bileşenlerden üretilen biyogaz çok temiz bir yan ürüne sahiptir.
- Biyogaz çok yönlü bir enerji kaynağıdır ve hem ısıtma hem de elektrik üretimi amacıyla kullanılabilir.
- İçeriğinde % 95 CH<sub>4</sub> içeren biyogaz doğal gaz saatlerinde ufak bir değişiklik yaparak doğal gazın yerine kullanılabilir.
- Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme çaplarında basınç ayarlaması yapılarak kolaylıkla kullanılabilir [14].



Şekil 1. Biyogaz reaktörü örneği.

Yukarıdaki Şekil.1 de standart biyogaz üretim sisteminin reaktörü verilmiştir. Şekil 1 de görüldüğü gibi biyogaz üretim reaktörü oluşturulurken çok pahalı olan malzemeler kullanılmasına gerek yoktur ve reaktörün imalatı için çok özel işçilik maliyeti geliştirilmemiştir [15].

## 1.2. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

### 1.2.1. pH

Biyogaz üretimi için en uygun pH değeri 6,8 ila 7 arasında olmalıdır. Biyogaz oluşumu aşamasında yani anaerobik fermantasyon işlemi sırasında pH değeri 7 ile 7,5 arasında değişir. pH değerinin 6,7 nin altına düşmesi durumunda ise metanojen bakteriler üzerinde toksik etki yapar. Anaerobik fermantasyon sırasında asit oluşturucu bakterilerin artması pH in düşmesine sebep olmaktadır. Bu tür proseslerde reaktöre organik yükleme kesilerek asit oluşumunun düşmesi sağlanmaktadır. pH in kararlı hale gelebilmesi için sönmüş kireç olarak adlandırılan kalsiyum hidroksit Ca(OH)<sub>2</sub> kimyasalı da kullanılabilir [16].

### 1.2.2. C/N Oranı

Metanojen ve anaerobik bakteriler karbon (C) atomunu enerji elde etmek için ve azot (N) atomunu da bakterilerin büyümesi ve üremesi için gerekli bileşenlerdir. C/N oranı 23 den fazla ve 10 dan düşük olamaz. Eğer 10 dan düşük olursa reaktörde amonyak oluşumu olur ve bu oluşum biyogaz üretimini olumsuz etkiler. Eğer 23 ten fazla olursa uçucu yağ asitleri oluşur ve inhibitör etki yaparak biyogaz üretimini yavaşlatır. [16].

### 1.2.3. Organik Yükleme Hızı

Organik yükleme hızı  $m^3$  basına biyoreaktöre beslenen organik madde miktarıdır. Organik yüklenme hızı hesaplanarak optimum değerde sabitlenmelidir ki aksi halde pH yükselerek biyogaz üretimi durabilmektedir. Mezofilik şartlarda organik yüklenme hızı sığır gübresi için 2,5 – 3,5 kg UM/ $m^3$ .gün (uçucu madde/metre.küp. gün) olarak, besin maddeli organik beslemeler için 5,0-7,0 kg UM/ $m^3$ .gün, domuz gübresi için ise 3,0-3,5 kg UM/ $m^3$ .gün olmalıdır [16].

### 1.2.4. Toksisite

Biyoreaktöre beslenen tavuk ve büyükbaş hayvan gübrelere bazılarında antibiyotikler bulunmaktadır. Bu antibiyotikler biyogaz üretimini sağlayan biyoreaktör için olumsuz etki yapmaktadır. Aynı şekilde substrat olarak kullanılan organik maddenin içerisinde bulunan ağır metaller, mineraller, deterjanlar vb. yabancı maddeler biyogaz oluşumunu olumsuz etkilemektedir [16].

### 1.2.5. Sıcaklık

**Tablo 1.** Metanojen bakteri türleri ve çalışma sıcaklıkları

Bakteri türleri	Optimum aktivite ( °C )
Sakrofilik	5-25
Mezofilik	25-38
Termofilik	50-60

Yukarıdaki Tablo 1 de biyogaz üretimini gerçekleştiren bakteri türleri ve bu bakterilerin çalıştığı ortalama sıcaklık aralıkları verilmiştir [12]. Biyogaz üretimi için sıcaklık çok önemli bir değerdir. Özellikle bu sıcaklığın 10 °C' nin altına düşmesi durumunda biyogaz üretimi durmaktadır [17].

### 1.2.6. Katı Madde Oranı

Biyoreaktörde ki substratın optimum biyogaz oluşumu için tesis içi gübre-su karışımının katı madde oranının %7-9 olması gerekmektedir. Katı madde oranları; sığır gübresinde % 15-20 civarında, tavuk gübresinde %30 ve koyun gübresinde de % 40 civarındadır [18]. Uygun katı madde oranı belirli hesaplamalar doğrultusunda suyla karıştırılarak hesaplanabilir.

### 1.2.7. Karıştırma Hızı

Biyogaz üretiminde ayrıca karıştırma hızı ve substratın tanecik boyutu da etki etmektedir. Tanecik boyutuyla biyogaz üretim hızı ters orantılıdır. Karıştırma hızı ile biyogaz üretimi ile doğru orantılıdır [19]. Karıştırma aynı zamanda alt kısımlarda oluşan biyogazın yukarı çıkmasını ve daha iyi bir bakteri aktivitesi sağlar.

## 2. Biyogaz Üretimi İçin Çeşitli Biyokütle Kaynakları

Biyogaz üretimi için çeşitli biyokütle kaynakları olarak ülkemizde bulunan başlıca organik atıklardan bahsedilecektir. Bu organik atıkların bertaraf edilmesi çevre kirliliği açısından son derece önem kazanmaktadır.

### 2.1. Hayvan Gübrelere

Büyükbaş hayvan gübresi, biyogaz üretimi proseslerinde genel olarak sığır, manda, at ve domuz gübresi olarak nitelendirilir. Küçükbaş hayvanlar ise genellikle koyun ve keçi olarak bilinmektedir. Bu büyükbaş ve küçükbaş hayvanların gübrelere ahır gübresi de denilmektedir. Hayvan gübrelere biyogaz üretimi için önemli bir potansiyele sahiptir. Hayvanların merada veya ahırda beslenmeleri günlük gübre üretimini etkilemektedir. Ortalama olarak 1 ton sığır gübresinden yaklaşık 33  $m^3$ , 1 ton koyun gübresinden 58  $m^3$  ve 1 ton kümes hayvanları gübresinden 78  $m^3$  biyogaz üretilmektedir [20].



Hayvan gübrelerinden sığır gübresinin biyogaz verimi yaklaşık olarak 90-310 litre/kg olarak bilinmektedir ve sığır gübresinden oluşan metan gazı oranı hacimsel olarak % 65 dir [21]. Sığır gübresi sonucu üretilen biyogaz sonucunda oluşan yan ürün tarımda kullanılarak toprağa verilirse toprak verimi artmakta ve toprağın organik madde miktarını artırmaktadır. Ahır gübreleri hem bitki için besin maddesi kaynağıdır hem de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzenleyen bir toprak düzenleyicidir. Fermente olmuş ahır gübreleri toprağın işlenmesini kolaylaştırır. Toprağa bitki gelişimi için uygun hale getirir. Kumlu yapıdaki topraklarda ise toprakların birbirine yapışmasını sağlar. Ahır gübrelerinin en önemli özelliklerinden biride çok zengin bir mikroorganizma içeriğine sahip olmasıdır [22]. Biyogaz üretimi için sığır gübresinin C/N oranı 21 olup biyogaz üretimi için oldukça ideal bir gübredir. Ülkemiz 2016 yılında 14 milyon büyükbaş hayvana sahiptir ve yıllık gübre üretimi ise yaklaşık 50 milyon ton (megaton) yaş gübre mevcut olmaktadır. Bu da ülkemizin biyogaz potansiyeli bakımından çok zengin olduğunu kanıtlamaktadır.

## 2.2. Kanatlı Gübresi

Kanatlı üretimin başladığı ilk zamanlarda sorun olarak görülmemiş ve diğer hayvan gübreleri gibi geleneksel yöntemlerle tam olarak kompostlama yapılmadan tarım topraklarına verilmiştir. Fakat bu işlem sonucunda fermente olmamış yaş gübre toprağa verildikten sonra bu gübrenin patojen mikroorganizmaları barındırdığı ortaya çıkmıştır. Yeterli uygun değerlendirme yöntemlerinin olmaması ve kurutma tekniklerinin maliyeti artırmasıyla, yerleşim birimleri etrafında kurulmuş büyük kapasitedeki tavukçuluk işletmelerinin genelde % 50 civarında sulandırarak depoladıkları tavuk gübreleri çevre açısından koku, sinek kaynağı, atmosfer ve su kirliliğine neden olmaktadır [23].

Ekonomik yapısı gereği temelde bir tarım ve hayvancılık ülkesi olan yurdumuzda çok miktarda büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan yetiştirilmektedir. 1999 yılı itibarı ile ülkemizde 167,6 milyon et tavuğu ve 70,8 milyon yumurta tavuğu olmak üzere toplam 238,4 milyon kanatlı hayvan beslendiği göz önünde bulundurulacak olursa hayvancılıkta kanatlı hayvanların ayrı bir yer aldığı anlaşılır. 2016 yılında ise Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre bu sayı 320,4 milyona ulaşmıştır [24].

Çevre kirliliği konuları arasında kanatlı hayvanların yaş gübrelerinin büyük payı vardır. Özellikle tavuk gübresi hoş olmayan bir koku ile çevreyi kirletmektedir. Dünyada her ülke kendi ekonomisine ve gereksinimine uygun yöntem arayışı içerisine girmiştir. Gelişmiş ülkelerde de tavuk gübresi birçok şekilde değerlendirilmektedir. Bazı ülkelerde biyogaz tesisleri kurularak, tavuk gübresinden elde edilen biyogaz, enerjiye dönüştürülerek değerlendirilmektedir. Bu şekilde atık olarak nitelendirilen tavuk gübresinden hem biyogaz elde edilerek enerji sağlanması hem de kompost elde edilmesi sağlanmaktadır. Dünya da yaygın olarak tavuk gübrelerinin %95'i kompost gübre, büyükbaş hayvan yem üretimi ve yakıt olarak kullanılmaktadır [23].

Tavuk gübresinin C/N oranı 14' tür. [25]. Tavuk gübresi biyogaz üretimi için tek substrat olarak kullanılabilir. Çünkü biyoreaktörde gerekli olan ideal C/N oranı 10-21 arasındaki değeri karşılamaktadır.

1 ton yaş tavuk gübresinden ortalama 78 m<sup>3</sup> biyogaz üretilmektedir [26]. Tavuk gübresinden üretilen biyogazın içeriğindeki metan oranı ortalama % 60' tır [27]. 1 kanatlı günde ortalama 0,08-0,1 kg kadar yaş gübre üretmektedir [20]. Böylece ortalama bu rakamı 0.09 kg olarak kabul edersek ve ülkemizde toplam 320 milyon kanatlı gübre varsa 288.000 ton/gün yaş kanatlı hayvan gübresi üretilmiş olur. Buda çok büyük bir biyogaz üretim potansiyeline eşittir.

## 2.3. Kentsel Katı Atıklar

Biyogaz üretimini kentsel katı atıklardan sağlamak için iki tane genel yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntem bu kentsel katı atıkların organik kısmının diğer kısımlardan ayrılması ve bu organik kısımlardan oksijensiz fermantasyon biyogaz üretilmesidir. Bu yöntem biyometanizasyon denilmektedir. Bu yöntem ile gaz üretimi genellikle daha verimlidir. Çünkü üretilen gazın kaynağı sadece organik atılardır. İkinci yöntem ise bu kentsel katı atıkların atık depolarında biriktirilmesiyle doğrudan oksijensiz fermantasyon ile biyogaz üretimidir. Bu şekilde üretilen gaza ise LFG gaz (Land-fill gas) veya deponi gaz denilmektedir [28].

Anaerobik fermantasyon işlemi biyoreaktörlerde gerçekleşmektedir. Biyogazın üretimi yapıldığı biyogaz tesisleri bazı özelliklerine göre kendi içlerinde farklı gruplara ayrılmaktadırlar. Bu özellikler farklı katı madde yüzdesi, kademe sayısı ve prosesin sıcaklığıdır [29]. Standart bir evsel atığın depolama sahasının ömrü boyunca ürettiği depo gazı oranı ortalama  $200 \text{ m}^3 / \text{ton}$  dur.

Atık hizmeti veren belediyeler bir hesaplaması yapılabilir. Türkiye’de 3225 adet belediye bulunmaktadır ve bunlar arasında yer alan sadece 3129 belediye atık hizmeti vermektedir. Bu hizmeti alan toplam ortalama nüfus 57.800.347’dir. Kentsel atık miktarlarının ortalaması alındığında günlük olarak kişi başına düşen miktar  $1,15 \text{ kg/kişi.gün}$ ’dür [30]. Bu değere göre, bir kişi yıllık olarak ortalama  $0,42 \text{ ton/kişi.yıl}$  atık oluşturur [31]. Atık hizmeti alan toplam nüfusun ortalama yıllık atık miktarı  $24.276.145 \text{ ton/yıl}$  dır. Çöp gazının ısı değeri  $18-27 \text{ kJ/Nm}^3$  arasında değişmektedir.  $5.10-3 \text{ kWh/Nm}^3$  ısı değeri için çöp gazının ortalama enerji potansiyeli, yaklaşık olarak  $4,85$  milyon kWh olarak bulunur [32]. Bu değerler dikkate alınacak olursa ülkemiz devasa bir kentsel bir organik katı atıklara sahiptir. Bu da kentsel katı atıklarının oldukça iyi bir biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğunu açıklar.

#### 2.4. Tarımsal Atıklar

Ülkemizde ortalama olarak tarım sektöründen ( arpa, buğday, tütün, çeltik, pamuk vb. zirai atıklar) yıllık olarak  $65 \text{ Mton}$  atık üretilmektedir [33]. Bu atıklar tarımsal çevrede çok büyük bir kirliliğe sebep olmaktadır. Örneğin buğday samanı atıkları bertaraf edilmesi için yakılarak atmosfere  $\text{CO}_2$  salınmasını sağlamaktadır. Bu durumda hava kirliliğine yol açmaktadır [34].

Tarımda birim alan başına elde edilebilecek verimin artırılması belirli bir seviyeye kadar mümkün olabilmektedir. Ancak tarımsal ürünlerden daha fazla gelir elde etmenin ve yerel kalkınmayı desteklemenin ve köyden kente göçlerin azaltmayı desteklemenin önemli yollarından biride tarımsal organik biyokütleri değerlendirmektedir. Bu değerlendirmelere alternatif bir kaynak anaerobik fermentasyonla biyogaz üretimidir [35].

$1 \text{ kg}$  buğday ya da arpa samanından ortalama  $250$  litre biyogaz üretilebilmektedir ve bu biyogazın içeriğindeki  $\text{CH}_4$  oranı  $\%60$ ’dır. Mısır sapları ve atıklarından ortalama yaklaşık  $420$  litre biyogaz elde edilmektedir ve bu biyogazın  $\text{CH}_4$  içeriği ise ortalama  $\%59$  dur.  $1 \text{ kg}$  yer fıstığı kabuklarından ortalama yaklaşık  $365$  litre biyogaz üretilebilmektedir. [36].

$1 \text{ ton}$  mısır silajından yaklaşık  $185 \text{ m}^3$  biyogaz üretilmektedir. Mısır silajı, mısır bitkisinin kıyma şeklinde parçacıklar haline gelmesiyle oluşturulur ve bu parçacıklar sayesinde mısır bitkisinin yüzey alanı artırılır. Hem yüzey alanının artmasından dolayı hem de metrekaşe başına çok yüksek verim vermesinden dolayı biyogaz üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır [37].

#### 2.5. Yer Fıstığı Kabuğu

Kabukları  $\%5$  azot,  $\%3$  potas ve silis içerdiğinden hayvan yemi veya suni tahta yapımında da kullanılabilir. Kabuklar yakacak olarak kullanıldığı gibi, teneke ve bakır kapların parlatılmasının yanında biyogaz üretiminde de kullanılması alternatif bir kaynaktır. [38]. Ülkemiz yer fıstığı son yıllarda yıllık olarak yaklaşık  $123.600$  ton kadar üretilmektedir. Yer fıstığı üreticiliği açısından ülkemiz dünyada önemli bir yere sahiptir. Ülkemiz, Dünyada fıstık üreten sayılı ülkeler arasındadır [39].

Yer fıstığı bertaraf yöntemlerinin en kazançlı ve uygun yöntemi anaerobik fermantasyondur. Yukarıdaki paragrafta belirtildiği gibi ülkemiz yer fıstığı ve kabuğu açısından oldukça iyi bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle yer fıstığı kabuğu büyük bir biyogaz üretim potansiyeline sahiptir.  $1 \text{ kg}$  yer fıstığı fıstık kabuğundan ortalama  $365$  litre biyogaz üretilebilmektedir [40].

#### 2.6. Zeytin Karasuyu

2007 yılı verilerine göre; Marmara Bölgesi’nde üretilen yıllık zeytin miktarı yaklaşık  $1.200.000$  ton’ dur. Bunun  $365.000$  tonu sofrada yenilebilir olarak, geriye kalan  $835.000$  tonu ise yağlık zeytin olarak üretilmektedir. Sonuç olarak, takriben  $130.000$  ton zeytinyağı üretilmektedir [41]. Buna göre, zeytinyağı sıkma teknolojisine bağlı olarak oluşan sıvı atık kısmı değişmekle birlikte genel olarak açığa çıkan atık

su miktarı ortalama 0,5 – 1,5 m<sup>3</sup>/ton zeytin olmaktadır [42]. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda ortalama 450.000 ila 1.200.000 zeytin atığı işlenmediği takdirde çevreyi kirletmektedir [43].

Zeytin kara suyu derişimi, işletim koşullarına ve üretim sürecine bağlı olarak büyük değişimler gösterir. Geleneksel sıkma yönteminde, 1 ton zeytin başına ortalama 0,6 m<sup>3</sup> atıksu çıkmaktadır (KOİ = 90 – 130 g/L). Bu yöntemin iki fazlı sürekli sisteminde zeytin atıksu oranı 0,1 m<sup>3</sup> atıksu/ton zeytin dir. Bunun KOİ değeri de 10 - 15 g/L olarak bilinmektedir. Aynı şekilde bu yöntemin üç fazlı sürekli sistemde ise zeytin atıksu oranı 1 ton zeytin başına ortalama 1,0 – 1,2 m<sup>3</sup> atıksu/ ton zeytin dir. Bunun KOİ değeri ise 40-220 g/L olarak değişmektedir. Zeytinde açığa çıkan atıksu miktarının bir başka alternatifi ise zeytinyağı üretimidir. Bu üretimden açığa çıkan atıksu miktarı ise ortalama 0,5–1,5 m<sup>3</sup>/ton miktarları arasında değişiklik göstermektedir [44].

Ülkemizde bir yılda atık olarak üretilen zeytin karasuyu, yaklaşık olarak ülkemizde 20 milyon insanın oluşturduğu atık suya karşılık gelmektedir. Zeytin karasuyunu nehirlerle göllere atmak yerine doğrudan toprağa vermek te toprağın yapısına zarar vermektedir. Ayrıca zeytin karasuyunun yapısında bulunan fenolik bileşen içeriği yüksek olduğundan dolayı bu atığın toprağa atılması sırasında atıklar doğrudan yüzey sularıyla karışmakta ve kirlilik oluşturmaktadır. Zeytin karasuyunda bulunan yüksek miktardaki şeker ise mikrobiyal solunumu canlandırmaktadır ve suda çözünen oksijen miktarını azaltmaktadır. Bununla beraber zeytin karasuları buharlaşma havuzlarında kötü kokuya sebep olmakta ve kaynak sularını da kirletmektedir. Buda zeytin karasuların çok büyük bir çevre kirliliği oluşturduğunun belirtisidir. [45].

Zeytin karasuyunun pH ı 4,5-5 arasında bir değere sahiptir. Toplam katı madde içeriği % 12 dir. Toplam uçucu katı madde içeriği ise % 10,5' tir. Toplam N miktarı ise % 2-5 arasında değişmektedir. Toplam askıda katı madde miktarı ise yaklaşık olarak % 0,1'dir. Zeytin karasuyunun anaerobik olarak işlenmesi hem bu atığın değerlendirilmesini hem de bu atıktan enerji ve kompost gübre elde edilmesini sağlamaktadır [46].

### 2.6.1. Zeytin Karasuyundan Elde Edilen Kompost Gübrenin Toprağa Faydaları

- Toprağa humus kazandırır.
- Toprağın boşluk hacmini artırarak bitkilerin daha kolay yetiştirilmesini sağlar.
- Toprağın havalandırılmasına kolaylık kazandırır.
- Toprakta bitkilerin daha iyi yetişebilmesini sağlayan yararlı mikroorganizma sayısını artırır.
- Toprak zemininin su tutma kapasitesini artırır.
- Toprağın işlenmesini kolaylaştırır.
- Toprağa bitkiler için verilen ilave suni gübrelerin verimini artırır.

Zeytin üretimindeki atıklar yüksek miktarda KOİ, BOİ ve askıda katı değerlerine sahiptir. Bu atıklar eğer uygun bir şekilde değerlendirilmezse çok büyük bir çevre problemlerine sebep olurlar [47]. Değerlendirilemeyen zeytin atıkları ya da zeytin karasuları yer altı sularına ya da küçük göllerde su kirliliği oluştururlar. Bu kirlilikten suda yaşayan canlılar olumsuz olarak etkilenmektedir [48]. Zeytin karasuyu ve zeytin üretiminin yan ürünleri yüksek organik bileşenlere sahip olduğundan anaerobik olarak değerlendirilebilir. Bu değerlendirilme sayesinde hem atıklar bertaraf edilir hem de enerji üretilmiş olmaktadır [49].

### 2.7. Pancar Küspesi

Pancar küspesinden biyogaz üretimi ülkemizde alternatif bir çözüm kaynağıdır. Şeker pancarının biyogaz üretimi için toplam katı miktarı % 23' tür. 1 ton yaş şeker pancarı küspesinden yaklaşık 60-75 m<sup>3</sup> litre biyogaz üretilebilmektedir. 2015 TÜİK verilerine göre ülkemiz yaklaşık 9 milyon ton şeker pancarı üretmiştir ve bu şeker pancarının yan ürünü olan küspeler çevre kirliliği oluşturma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda çok fazla biyogaz üretimi potansiyeline de sahiptir. Fakat hayvan küspesinden biyogaz üretimi genel literatürde çok az bulunmaktadır.

## 2.8. Çay Atıkları

Ülkemizde Doğu Karadeniz bölgesinde toplanan çay miktarının yaklaşık % 17-18' i atık olarak kalmaktadır. Ülkemiz yıllık olarak ortalama 40.000 ton çay atığı üretmektedir. Bu atıkların çevreye çürümeye terk edilmesi ve doğaya bırakılması çok büyük bir çevre kirliliğine yol açmaktadır. Çay atıkları klor azot potasyum, karbon bakımından zengindir fakat fosfor bakımından fakirdir. Çay atığının C/N oranı 26'dır. Biyogaz üretimi yapılırken bu de değerlendirilmeler göz önünde bulundurulabilir. Çay atığının pH ı 5,3 tür.

Çay atıklarında protein metabolizmasını engelleyen yaklaşık % 6,3 oranında tannik asit bulunmaktadır. Bu nedenle hayvan yemi olarak kullanılması mümkün değildir. Fakat bir yöntem geliştirilmiştir ki çay atıkları gece 1/50 oranında seyreltilmiş klorsuz suyun içerisine bırakıldıktan sonra elde edilen ürünün protein içeriğinde herhangi bir değişim olmaksızın tannik asitten arıtılmış olur. Bu ürün böylece tavuk yemi olarak kullanılabilir hale getirilebilir. Bu da atığın değerlendirilmesi için alternatif bir çözüm kaynağıdır. Çay atıkları genel olarak kompost olarak, kafein üretilerek, torfla karıştırılmasıyla gübre olarak ve pellet haline dönüştürülüp yakıt olarak kullanılır. Fakat teorik olarak çay atıkları da organik bir bileşen olduğu için çeşitli düzenlemeler yapıp biyogaz da üretilebilir. Ülkemizde şimdiye kadar çay atıklarından bir biyogaz üretimi gerçekleştirilmemiştir. Fakat çok fazla organik bileşenlere sahip olması ve miktar açısından azımsanmayacak kadar fazla olması nedeniyle ülkemizde çay atıklarından biyogaz üretimi yapılarak hem çay atıklarının değerlendirilmesine alternatif bir çözüm kaynağı hem de atıklardan enerji üretme amacıyla yapılmasına ihtiyaç vardır [50].

## 2.9. Atık Su Çamuru

Biyogaz üretimi için substrat olarak kullanılan biyokütle kaynaklarından biride kentsel atıksu arıtma çamurudur. Atıksu; tarımsal veya evsel kullanımlar sonucu kirlenmiş olan ve özellikleri kısmen değişebilen sulardır [51]. Atık suların yapısında organik madde, besin maddeleri, ağır metaller, patojen mikroorganizmalar içerdiklerinden dolayı bu suların arıtılması önem kazanmaktadır. Ülkemizde toplamda 69 tane evsel atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu rakam ise ülkemizin nüfusunun yaklaşık %13 üne karşılık gelmektedir. Bu tesisler toplam olarak yıllık 500 bin tona yakın arıtma çamuru üretmektedir. Bu ise çok büyük bir biyogaz oluşum potansiyeline sahiptir [52].

Atıksu arıtma çamuru su arıtma tesislerinden elde edilen yan ürünlerdendir. Atıksu arıtma çamurundan elde edilen biyogaz içeriği ; % 60-70 CH<sub>4</sub>, % 30-35 CO<sub>2</sub>, % 1-2 H<sub>2</sub>S ve % 0,3-3 N<sub>2</sub> 'dir [53].

Atıksu arıtma çamurunun bertaraf yöntemlerinden biride biyogaz üretimidir. Atıksu arıtma çamurunun organik madde miktarı suyun cinsine göre değişiklik göstermektedir. Ülkemizdeki bu arıtma tesislerinden oluşacak gaz miktarı kişi başı 0,015 – 0,022 m<sup>3</sup> / kişi - gün arasında değişiklik göstermektedir. Oluşan gazın metan yüzdesi yaklaşık % 65 dir. Oluşan gazın ısıl değeri ise ortalama 22,4 MJ/m<sup>3</sup> dür [54]. Yurt dışı kaynaklı biyogaz üretimine ilişkin bilimsel makaleler incelendiğinde atık su arıtma çamurunun genellikle üretimde aşı olarak kullanıldığı görülür ve oldukça iyi bir biyogaz üretim potansiyeline sahiptir.

## 2.10. Diğer Biyogaz Üretimi İçin Biyokütle Kaynakları

Ülkemizde biyogaz üretimi için diğer kaynaklar keten, kenevir, dökülmüş ağaç yaprakları, meyve ve sebze atıkları, çimen atıkları, arpa samanı, çavdar samanı, orman ürünleri atıkları, gıda endüstrisi atıkları, organik yapılı endüstriyel atık sular, her türlü canlının yaş gübresi, her türlü atıkların organik kısımları ve bütün organik maddelerdir [55].

## 4. Sonuç ve Öneriler

Biyogaz enerjisinin diğer enerji kaynaklarından farkı ortaya çıkardığı karbondioksitin doğaya zarar vermeden bitkilerin kullandığı karbondioksite eşit olmasıdır [56]. Bu nedenle bu kaynakların yerini tutan özellikle ülkemizde büyük bir potansiyele sahip olan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim yöntemlerinin hızla kullanılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Biyogaz üretimi organik madde ve

bazı minerallerin geri kazanılmasını sağlaması açısından avantajlıdır. Ayrıca atıkların bertaraf edilmesi, enerji kazanılması ve organik gübre elde edilmesi açısından önem kazanmaktadır.

Ülkemiz yukarıda belirtildiği gibi oldukça fazla organik atık olarak bilinen biyokütle kaynaklarına sahiptir. Bu kaynakların çoğu enerjiye dönüştürülerek yeterince değerlendirilmemekte ve bu yüzden de çevre kirliliği oluşturmaktadır. Ne yazık ki ülkemizde çok az biyogaz tesisi vardır. Bu nedenle ülkemizde biyogaz üretim tesislerinin artırılmasına, biyogaz hakkında yapılan araştırmaların geliştirilmesine ve özellikle biyogaz tesislerinin kurulumunda ihtiyaç duyulan maddi desteklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Ülkemizde oluşturulacak olan biyogaz tesisleri, temiz enerji üretiminin yanında Türkiye' nin enerji açısından dışa bağımlılığını azaltacak ve ekonomiye katkı sağlayacaktır.

Organik maddelerin anaerobik mikro organizmalar vasıtasıyla uygun doğa şartlarında çürümesi sonucu her yıl 590-880 milyon ton metan gazı atmosfere atılmaktadır. Atmosfere salınan metan gazının %90'nın biyojenik kaynaklar oluşturur. Geriye kalanlar fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Kuzey yarımkürede atmosferdeki metan konsantrasyonu takriben 1,65 ppm dir. Metan gazı karbon dioksit göre 21 kat daha fazla küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Metan gazının yeryüzündeki sera etkisi %15' dir [57].

Bu makalede biyogaz üretimi için gerekli olan organik bileşenlerin ülkemizde ne kadar fazla olduğu vurgulanmak istenmiştir. Bu organik bileşenlerin çoğu genellikle atık haldedir. Bu nedenle biyogaz üretimi hem bu atıkların değerlendirilmesi hem de enerji üretimi açısından önem kazanmaktadır. Daha önceki çalışmalarda ülkemizde biyogaz üretimi için gerekli mevcut organik atıklardan bahsedilmemiştir. Bu makalenin amacı biyogaz hakkında bilgi vermek ve biyogaz üretimi için ülkemizde var olan mevcut organik atıkların vurgulanmasını sağlamaktır.

## Kaynaklar

1. Yürük F., Erdoğan P. 2015. Düzce İlinin Hayvansal Atıklardan Üretilebilecek Biyogaz Potansiyeli ve K-Means Kümeleme ile Optimum Tesis Konumunun Belirlenmesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 4(1): 47-56.
2. Toklu E., Güney M.S., Isık M., Comaklı O., Kaygusuz K. 2010. Energy Production, Consumption, Policies and Recent Developments in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14: 1172-1186.
3. Türkiye Petrolleri, Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu. 2015. [http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%20B6r%20Raporu%2FTP\\_HAM\\_PETROL-DOGAL\\_GAZ\\_SEKTOR\\_RAPORU\\_2015.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%20B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU_2015.pdf) (Erişim Tarihi: 01.03.2017).
4. Deloitte. 2014. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/energy-resources/Biyok%20C3%20tlenin%20alt%20C4%B1n%20C3%A7a%20C4%9F%20C4%B1Sonn.pdf> (Erişim Tarihi: 02.03.2017).
5. Cordell D., Drangert J.-O., White S. 2009. The Story of Phosphorus: Global Food Security and Food for Thought, Global Environ Change, 19: 292-305.
6. Kumbur H., Özer Z., Özsoy H.D., Avcı E.D. 2015. Türkiye'de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması, III. Yenilenebilir Enerji Sempozyumu, 19-21 Ekim, Mersin, Türkiye.
7. Weiland P. 2010. Biogas Production: Current State and Perspectives, Applied Microbiology and Biotechnology, 85: 849-860.
8. Şanlıurfa Karacadağ Kalkınma Ajansı, Kompost Tesisi Kurulması Amacına Yönelik Fizibilite Çalışması Projesi Kapsamında Hazırlanan Kompost ve Biyogaz Tesisi Fizibilite Raporu. 2014.

- <http://www.investsanliurfa.com/SayfaDownload/KOMPOST%20VE%20B%C4%B0YOGAZ%20TES%C4%B0S%C4%B0%20F%C4%B0Z%C4%B0B%C4%B0L%C4%B0TE%20RAPORU.pdf> (Erişim Tarihi: 15.03.2017).
9. Dawson C.J., Hilton J. 2010. Fertiliser Availability in A Resource-limited World: Production and Recycling of Nitrogen and Phosphorus, Food Policy, 36: 14-22.
  10. Chang I.S., Zhao J., Yin X., Wu J., Jia Z., Wang L. 2011. Comprehensive Utilizations of Biogas in Inner Mongolia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15: 442-1453.
  11. Ahır Gübresinin Zararları, 2013. <http://www.zararlari.org/ahir-gubresinin-zararlari/> (Erişim Tarihi: 03.02.2017).
  12. Alçiçek A., Demirulus H. 1994. Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması, Ekoloji Çevre Dergisi, 3: 5-9.
  13. Biyogaz Üretimi ve Faydaları. 2013. [http://www.alternatifpower.com.tr/resimler/2187644\\_1403534180.pdf](http://www.alternatifpower.com.tr/resimler/2187644_1403534180.pdf) (Erişim Tarihi: 01.03.2017).
  14. Çanka Kılıç F. 2011. Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri, Mühendis ve Makina, 52 (617): 94-106.
  15. Özkaya M.S., Varyenli H.İ., Yılmaz A. 2009. Güneş Enerjisi Destekli İçten Isıtmalı Fermantasyon Tankında Biyogaz Üretimi, Politeknik Dergisi, 12 (4): 255-261.
  16. Ziauddin Z., Rajesh R. 2015. Production and Analysis of Biogas from Kitchen Waste, International Research Journal of Engineering And Technology, 2 (4): 622-632.
  17. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Aile ve Tüketici Hizmetleri. Organik Atıklar. 2011. [http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Organik%20At%C4%B1klar.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Organik%20At%C4%B1klar.pdf) (Erişim Tarihi: 03.20.2017).
  18. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. 2017. <http://www.tarim.gov.tr/catalogs/masterpage/AnaSayfa.aspx> (Erişim Tarihi: 01.04.2017).
  19. Cestonaro T., Costa M.S., Costa L.A., Rozatti M.A., Pereira D.C., Lorin H.E., Carneiro L.J. 2015. The Anaerobic Co-Digestion of Sheep Bedding And  $\geq 50\%$  Cattle Manure Increases Biogas Production and Improves Biofertilizer Quality, Waste Management, 46: 612-618.
  20. Koçer N.N., Öner C., Sugözü İ. 2006. Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 4 (2): 17-20.
  21. Ilgar R. 2013. Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma, Doğu Coğrafya Dergisi, 35: 89-106.
  22. Ahır Gübresinin Faydaları Nelerdir? 2015. <http://www.sorhocam.com/etiket.asp?sid=1871&ahir-gubresi-faydaları-nelerdir/> (Erişim Tarihi: 06.03.2017).
  23. Şahin S., Altunal N. 2008. Etlik Piliç Dışkılarının Gübre Olarak Değerlendirilmesi ve Önemi, Veteriner Tavukçuluk Derneği Dergisi, 6 (3): 6-7.
  24. Türkiye İstatistik Kurumu. 2017. <http://www.tuik.gov.tr/Start.do> (Erişim Tarihi: 02.02.2017).
  25. Tüm Atık ve Çevre Yönetimi Derneği, Atık Geri Kazanımı ve Ülkemize Etkileri. 2016. [http://tayced.org/etkinlik\\_detay.asp?id=4](http://tayced.org/etkinlik_detay.asp?id=4) (Erişim Tarihi: 09.02.2017).
  26. Lia F., Chenga S., Yua H., Yangb D. 2016. Waste From Livestock and Poultry Breeding and Its Potential Assessment of Biogas Energy in Rural China, Journal of Cleaner Production, 126: 451-460.
  27. Bayrakçeken H. 1997. Biyogaz Üretim Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 63s, Afyon.

28. Özkaya B., Demir A. 2010. Kompost Teknolojileri ve Uygulama Örnekleri, Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi & Kompost Kullanım Alanları Çalıştayı-ORAK 2010, 8-9 Haziran, İstanbul, Türkiye.
29. Yıldız Ş., Balahorlı V., Sezer K. 2010. Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon) Projesi, Su ve Çevre Dergisi, 33: 90-105.
30. T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu, Belediye Atık İstatistikleri. 2008. *TÜİK Haber Bülteni*, Sayı:50, TÜİK, Ankara, Türkiye.
31. Sezgin N., Özcan H., Varınca K., Borat M. 2003. Katı Atık Depo Gazından Elektrik Üretiminin Türkiye’de Uygulanabilirliğine İki Örnek: İstanbul ve Bursa Tesisleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3: 89-96.
32. Özcan M., Öztürk S., Yıldırım M. 2011. Türkiye’nin Farklı Kaynak Tiplerine Göre Biyogaz Potansiyellerinin Belirlenmesi, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 10-12 Mayıs, Kocaeli, Türkiye.
33. Biyogaz. 2015. [www.biyogaz.org.tr](http://www.biyogaz.org.tr) (Erişim Tarihi: 02.02.2017).
34. Şanlıurfa Ticaret ve Sanayi Odası. 2010. [www.sutso.org.tr](http://www.sutso.org.tr) (Erişim Tarihi: 02.03.2017).
35. Boztepe E, Karaca A. 2010. *Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Tarımsal Atıklar*, A.Ü. Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Ankara, Türkiye.
36. Dahunsia S.O., Oranusib S., Efevbokhanc V.E. 2012. Optimization of Pretreatment, Process Performance, Mass and Energy Balance in the Anaerobic Digestion of Arachis Hypogaea (Peanut) Hull, Energy Conversion and Management, 139: 260-275.
37. Zhao Y., Yu J., Liu J., Hong Yan H., Yuan X. 2016. Material and Microbial Changes During Corn Stalk Silage and Their Effects on Methane Fermentation, Bioresource Technology, 186: 89-99.
38. Boydak Tarım Serbest Tarım Danışmanlığı. 2015. <http://www.boydaktarim.com/yer-fistigi-yetistiriciligi/> (Erişim Tarihi: 15.03.2017).
39. Yerfistigi Sektör Raporu. 2016. [http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr\\_620\\_KB1O20NE\\_Yerfistigi-Sektor-Raporu-2015.pdf](http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_620_KB1O20NE_Yerfistigi-Sektor-Raporu-2015.pdf) (Erişim Tarihi: 06.03.2017).
40. Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği. Biyogaz Üretimi. 2015. <http://www.albiyobir.org.tr/biyogaz02.htm> (Erişim Tarihi: 09.03.2017).
41. Zeytin Üretimi. 2014. [www.marmarabirlik.com.tr](http://www.marmarabirlik.com.tr) (Erişim Tarihi: 19.03.2017).
42. Beccari M., Bonemazzi F., Majone M., Riccardi C. 1996. Interactions Between Acidogenesis and Methanogenesis in the Anaerobic Treatment of Olive Mill Effluent, Water Research, 30: 183-189.
43. Gelegenisa J., Georgakakis D., Angelidakic I., Christopouloub N., Goumenakia M. 2007. Optimization of Biogas Production from Olive-oil Mill Wastewater, by Codigesting with Diluted Poultry-manure, Applied Energy, 84 (6): 646-663.
44. İkizoğlu E., Haskök S. 2005. Zeytin Karasuyunun Fiziksel Kimyasal ve İleri Yükseltgeme Yöntemleriyle Arıtımı, Kimya Mühendisliği Tmmob Kimya Mühendisleri Odası, 167: 48.
45. McNamara C.J., Anastasiou C.C., O’Flahert V., Mitchell R. 2008. Bioremediation of Olive Mill Wastewater, International Biodeterioration & Biodegradation, 61: 27-134.
46. Orhan B., Büyük Çolak S. 2008. Zeytin Karasuyu ve Değerlendirilmesi, Ulusal Öğrenci Zeytin Kongresi, 28-30 Mayıs, Balıkesir, Türkiye.
47. Roig A., Cayuela M.L., Sanchez-Monedero M.A. 2006. An Overview on Olive Mill Wastes and Their Valorisation Methods, Waste Management, 26: 960-969.

48. Azbar N., Bayram A., Filibeli A., Muezzinoglu A., Sengul F., Ozer A. 2004. A Review of Waste Management Options in Olive Oil Production, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34: 209-247.
49. Nilgun A.O., Alev C.U, 2015. Ultrasound Pretreatment for Enhanced Biogas Production from Olive Mill Wastewater, *Ultrasonics Sonochemistry*, 22: 565-572.
50. Çay Atıklarının Değerlendirilmesi. 2016. <http://www.mnecevre.com/cay-atiklarinin-degerlendirilmesi-2> (Erişim Tarihi: 03.15.2017).
51. Atıksu Arıtma Çamuru. 2016. [www.nilufer.bel.tr/kentsaglik/2\\_gun%5Csalon\\_a%5Cayse\\_filibeli.pdf](http://www.nilufer.bel.tr/kentsaglik/2_gun%5Csalon_a%5Cayse_filibeli.pdf) (Erişim Tarihi: 19.03.2017).
52. Kaya D. 2010. Evsel Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Biyogaz Üretiminde Kullanımının Değerlendirilmesi, ICCI - Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, 12-14 Mayıs, Kocaeli, Türkiye.
53. Rulkens W. 2008. Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options, *Energy & Fuels*, 22: 9-15.
54. Büyükkamacı N., Filibeli A. 1999. Anaerobik Arıtmada Hybrid Reaktör Kullanımı, Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu, 18-19 Kasım, Kocaeli, Türkiye.
55. Çallı, B. 2012. Atıklardan Biyogaz Üretimi, Türkiye Kimya Derneği - Genç Kimyacılar Platformu, 4 Şubat, İstanbul, Türkiye.
56. Alçıçek A., Demirulus H., 2012. Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 3: 5-9.
57. Çevre ve Orman Bakanlığı. 2006. <http://www.solar-bazaar.com/menus/Hayvan-Gubresinden-Biogaz-Uretimi-2005.pdf> (Erişim Tarihi: 03.02.2017).



---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## **Nitrat İndirgenmesinde Nano Ölçekli Sıfır Değerlikli Demir (nZVI) Kullanımı**

Hande TÜRK<sup>1\*</sup>, Özge HANAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ

---

### **Özet**

Nitrat yeraltı ve yüzeysel sularındaki kirletici unsurlardan biridir ve bu nedenle nitrat indirgenmesinde şimdiye kadar birçok farklı proses araştırılmıştır. Biyotik ve abiyotik olarak gerçekleştirilen nitrat indirgenmesinde çok çeşitli alternatifler mevcuttur. Bir diğer yönden nano ölçekli sıfır değerlikli demir (nZVI) atıksulardaki birçok kirleticinin giderimi için kullanılmaktadır. nZVI elektron verici özelliğinden dolayı daha çok kirleticilerin indirgenme çalışmalarında yer almıştır. Literatürde yer alan çalışmalar biyotik ve abiyotik indirgenmenin arka arkaya gerçekleştiği nZVI ile ototrofik denitrifikasyonun, bakteri-nZVI iş birliğinden dolayı diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada da nitrat indirgenmesinde nZVI kullanımının rolü, avantajları ve indirgenme mekanizması, yapılan araştırmalardan derlenerek sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Nano Ölçekli Sıfır Değerlikli Demir, Nitrat İndirgenmesi, Biyotik Denitrifikasyon, Abiyotik Denitrifikasyon.

---

## **Use of Nanoscale Zero Valent Iron (nZVI) in Nitrate Reduction**

---

### **Abstract**

Nitrate is one of the pollutants in ground and surface waters and many different processes have been investigated up to now for nitrate reduction. There are various alternatives in biotic and abiotic nitrate reductions. On the other hand, nanoscale zero valent iron (nZVI) is used for the removal of many pollutants in wastewater. nZVI is nature electron donor, this leads its usage in many pollutants reduction. The researches in the literature show that autotrophic denitrification with nZVI, which is performed successively of biotic and abiotic reduction, is more advantageous than other methods due to the bacteria nZVI cooperation. In this study, the role of nZVI, the advantages and the mechanism of reduction in the reduction of nitrate, are presented by reviewing previous studies.

**Keywords:** Nanoscale Zero Valent Iron, Reduction of Nitrate, Biotic Denitrification, Abiotic Denitrification.

---

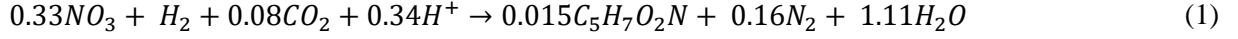
### **1. Giriş**

Nitrat giderimi için alternatif yaklaşımlardan en yaygın olanı, nitratin amonyum yerine herhangi bir toksik etkisi olmayan azot gazına indirgendiği biyolojik denitrifikasyondur. İyon değiştirme ve ters osmoz süreçlerine kıyasla biyolojik denitrifikasyon potansiyel olarak daha düşük maliyetli bir alternatiftir [1]. Fakat özellikle heterotrofik bakteri kullanıldığında biyolojik denitrifikasyon, aşırı biyokütle problemine ve çözünebilir ürünlerin oluşumuna neden olduğu için ikincil arıtım ihtiyacı ortaya çıkabilir [2]. Elektron verici olarak hidrojenin kullanıldığı ototrofik denitrifikasyon ile daha az biyokütle oluşur, sonuç olarak daha iyi nitrat giderimi sağlanabilir [2-3,4,5,6,7,8,9], hidrojenin kullanıldığı ototrofik denitrifikasyon reaksiyon (1)'de tanımlanmıştır [10].

---

\*Sorumlu yazar: [hande.turk89@gmail.com](mailto:hande.turk89@gmail.com)

Geliş Tarihi: 24/05/2017 Kabul Tarihi: 17/10/2017

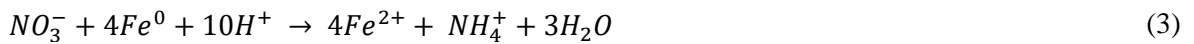


Ototrofik denitrifikasyon mikroorganizmaları, besin kaynağı olarak inorganik karbona ve nitrata azot gazına indirgemek için hidrojen ya da indirgenmiş kükürt bileşenleri gibi elektron vericilere ihtiyaç duyarlar. Bu elektron verici kaynaklar, hidrojen [11], tiyosülfat [12-13] ve sülfür [14] gibi bileşenlerdir. Denitrifikasyon sürecinde hidrojeni enerji kaynağı olarak kullanan mikroorganizmalar doğada bolca bulunurlar [1-15]. Chang vd., (1999) hidrojen kullanan denitrifikasyon mikroorganizması olan *Alcaligenes* ototrofunun poliakrilamid ve aljinat kopolimerinde tutunarak denitrifikasyon verimini araştırılmışlardır. Bakterilerin yüksek nitrat yüklemelerine uyum sağladığını gözlemlemişlerdir [16].

Hidrojen gazının patlayıcı özelliğe sahip olması, depolama ve saklama sırasında meydana gelebilecek tehlikeleri ve nispeten pahalı olması, nitrat bazlı solunumdaki kullanımını sınırlar [17]. Hidrojen gazının üretimi ve tedarikinde belirtilen bu problemlerin varlığı denitrifikasyon sistemlerinin maliyetini yükseltir. Bu problemlerin üstesinden gelmek için reaksiyon ortamında hidrojeni oluşturabilen alternatif yaklaşımlar araştırılmıştır. Sıfır değerlikli demir (ZVI) önemli bir alternatif olarak Till vd., (1998) tarafından araştırılmış [1] ve denitrifikasyon sistemlerinde hidrojen ile ilgili problemlerin üstesinden anaerobik demir korozyonu (reaksiyon (2)) ile gelinebileceğini açıklamışlardır [18, 1, 16, 19].



Literatürdeki çalışmalar, nitrat gideriminde ZVI kullanımının amonyum üretimine neden olduğunu ve bu nedenle pH kontrolünün gerekliliğini anlatmaktadır. Son zamanlarda nitrat indirgenmesi için yapılan çalışmalar granüler ZVI'ya kıyasla daha geniş spesifik yüzey alanı ve daha yüksek yüzey reaktivitesine sahip olduğu için nano ölçekli sıfır değerlikli demir (nZVI) ile gerçekleştirilmektedir [20]. Shin vd., (2008) nZVI'nın denitrifikasyon verimini artırmasının yanı sıra nZVI'nın yüksek seviyedeki indirgeyici kapasitesinden dolayı daha fazla miktarda amonyum üretimine neden olabileceğini açıklamışlardır [21]. Abiyotik nitrat indirgenmesi için Huang vd., (1998) tarafından tanımlanan reaksiyon (3) şu şekilde tanımlanmıştır [22]:

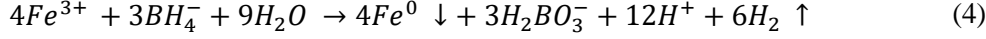


Reaksiyon (3)'e göre nZVI'nın kimyasal indirgenmesiyle yüksek miktarda amonyum üretilebilir bu da ikincil arıtım ihtiyacının doğmasına neden olabilir [20]. Ayrıca bu reaksiyon sonucunda oluşan  $Fe^{2+}$  oksijensiz koşulların hakim olduğunu göstermektedir.

## 2. Çevre Teknolojilerinde nZVI Kullanımı

nZVI'nın toksik olmaması, ucuz ve çevreye uygun olması onu alternatif bir arıtım seçeneği yapmıştır. Nanopartiküller, kimyasal özellikleri ile birçok kirleticilerin arıtımı için uygun bir seçenektir [23-24] Yüzey alanlarının artması ile reaktivitelerinin artması en önemli avantajlarındandır [25-26].

Metalik nanopartiküllerin üretimi için 'bottom up' ve 'top down' olmak üzere 2 metot yaygın olarak kullanılmaktadır. Bottom up metodu, atom ya da molekül gibi temel yapı taşlarından nanomateryal oluşturan yaklaşımlarken top down metodu ise materyali nano boyuta parçalayan ve yeniden yapılandıran fiziksel ve kimyasal yaklaşımlardır [27]. Bottom up yöntemi, reaksiyon (4)'e göre Fe (II) ya da Fe (III) tuzları ve sodyum borhidrür indirgenmesi ile nZVI üretimini gerçekleştirir [28].



nZVI sulu ortamlarda zamanla magnetit, maghemit, lepidokrosit ve geotit gibi farklı demir oksit formlarına dönüşür [29-30]. Yapılan araştırmalar, nZVI'nin su ve çözünmüş oksijenin yanı sıra çeşitli çevresel kirleticiler ile de reaksiyona girebildiğini, kirleticilere karşı etkili ve uygun maliyetli arıtım seçeneği olduğunu göstermiştir. nZVI ile kirleticiler, indirgenerek ya da adsorbe edilerek giderilir. Örneğin, klorlu solventler gibi kirleticilerin giderimi indirgenme ile sağlanırken arsenik demir oksitlere adsorbe edilerek giderilir ve oksidasyon boyunca hidroksitler oluşur [29].

nZVI, klorlu hidrokarbonlar, poliklorlu bifenil, klorlu etenler,  $Pb^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $As^{5+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$  gibi ağır metaller [31] ve inorganik anyonlar, nitrat, sülfat, fosfat çeşitli organik bileşenler ve inorganik katyon/anyonlar gibi çeşitli organik ve inorganik bileşenlerin giderimi için çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır [32]. Literatürde yapılan bu çalışmalarda, Li vd., (2017), ağır metal içeren suların arıtımı için nZVI'nin ideal bir reaktif olduğunu [33], Dutta vd., (2016), ise yaptıkları çalışmada nZVI'nin tekstil atıksularından boya gideriminde uygun bir alternatif olabileceğini [34] Wang vd., (2016),  $Pb(II)$  ve  $Zn(II)$  giderimi için nZVI ve kireci karşılaştırmışlar ve çalışma sonucunda nZVI'nin  $Pb(II)$  ve  $Zn(II)$  gideriminde kirece kıyasla önemli avantajlara sahip olduğunu [35] ve Zhang vd., (2010), nZVI ile nitrat indirgenmesini gerçekleştirebileceklerini bildirmişlerdir [36].

### 3. Biyolojik Denitrifikasyon

Konvansiyonel nitrat giderim yöntemlerin pahalı olması, sonraki arıtım süreçleri ve yan ürünlerinin oluşumu nedeniyle ilgili bazı dezavantajları bulunmaktadır [37]. Nitrat giderimi için kullanılan teknolojilerin karşılaştırmalı gösterimi Tablo 1'de verilmiştir [38].

**Tablo 1.** Nitrat giderim yöntemlerinin karşılaştırılması [38]

İyon Değişirme	Ters Osmoz	Adsorpsiyon	Kimyasal Metotlar	Biyolojik Metotlar
Oluşan tuzlu atıksuyun bertarafı gerekir	TDS (Toplam Çözünmüş Katı) bertarafı gerekir	Adsorbent bertarafı gerekir	Atık bertarafı gerekmez	Biyokütle atığının bertarafı gerekir
pH ve sıcaklık önemli değildir	pH ve sıcaklık önemli değildir	pH ve sıcaklık önemlidir	pH ve sıcaklık önemlidir	Sıcaklık önemlidir
Oluşan suyun korozif özelliğinin giderilmesi için son arıtım gerektirir	Oluşan suyun korozif özelliğinin giderilmesi için son arıtım gerektirir	Genellikle son arıtım gerekmez	Yan ürünlerin oluşumu nedeniyle son arıtım gerekir	Mikroorganizmalar nedeniyle son arıtım gerekir
Yaklaşık 90% giderim verimi elde edilir	> %95 giderim verimi elde edilir	Giderim verimi adsorbent çeşidine göre farklılık gösterir	> %60-70 giderim verimi elde edilir	> %99 giderim verimi elde edilir
İşletme maliyeti çok yüksek değildir	İşletme maliyeti yüksektir	İşletme maliyeti çok yüksek değildir	İşletme maliyeti yüksektir	İşletme maliyeti çok yüksek değildir

Biyolojik denitrifikasyon, mikroorganizmalar ile nitratın sulu ortamlardan uzaklaştırılmasını sağlayan bir süreçtir. Nitrat solunumu olarak da adlandırılan bu süreçte nitrat, zararsız azot gazına dönüştürülür [39]. Biyolojik denitrifikasyon, moleküler oksijenin bulunmadığı ve son elektron alıcı olarak nitratın kullanıldığı anoksik bir süreçtir. Bu süreçteki dönüşümler her biri ayrı enzim sistemi tarafından katalizlenen dört adımda  $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$  gerçekleşmektedir [11]. Denitrifikasyon mikroorganizmaları çoğu zorunlu anaerob olmayan fakültatif organizmalardır. En bilinen denitrifikasyon mikroorganizmaları: *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Chrombacter*,

*Corynebacterium*, *Halobacterium*, *Methanomonas*, *Moraxella*, *Paracoccus*, *Propionibacterium*, *Pseudomonas*, *Spirillum*, *Thiobacillus*, ve *Xanthomonas*'dır [40-401]. Organik karbon kaynağına göre denitrifikasyon, ototrofik ve heterotrofik denitrifikasyon olarak iki grupta incelebilir [42,43]. İki grup arasındaki temel farklılık elektron alıcılarının farklı kaynaklar olmasıdır [44].

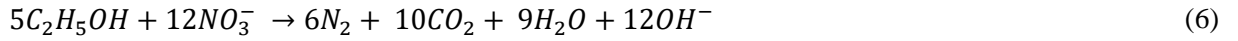
### 3.1. Heterotrofik Denitrifikasyon

Metabolizmaları için indirgenmiş organik substrata ihtiyaç duyan heterotrofik denitrifikasyon mikroorganizmaları, glikoz, metanol, etanol ve asetik asit gibi farklı organik karbon kaynaklarını elektron vericisi olarak kullanabilirler [45]. Reaksiyon 5, 6 ve 7'de metanol, etanol ve asetik asit için stokiometrik bağıntılar verilmiştir.

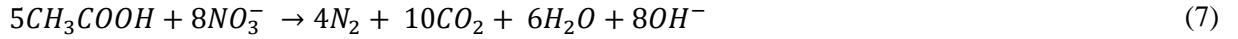
#### Metanol



#### Etanol



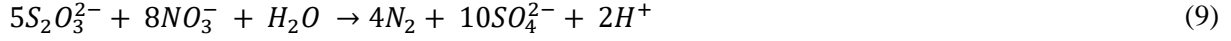
#### Asetik Asit



Bu substratlar su ya da arıtılacak atıksu içerisinde bulunmayabilir ve ortama ilave edilmesi gerekir. Örneğin, yüksek nitrat konsantrasyonuna sahip atık sularda azotun biyolojik giderimi, denitrifikasyon bakterilerinin ihtiyaç duyduğu karbon kaynaklarının düşük konsantrasyonda olmasından dolayı problemdir [46]. Bu nedenle birçok araştırmacı, organik karbon konsantrasyonunun düşük olduğu su ve atıksulara metanol, etanol, asetik asit, glikoz ya da nişasta gibi karbon kaynaklarını ekleyerek denitrifikasyonun devam edebileceğini kanıtlamışlardır [47-48]. Maliyet, kapasite, reaktör konfigürasyonu ve denitrifikasyon suyunun son arıtımı gibi faktörler substrat seçiminde önemli parametrelerdir [49]. Heterotrofik denitrifikasyonda kullanılan bazı organik karbon kaynakları toksiktir, bunların kalıntılarının ve yan ürünlerinin giderimi için ileri arıtım süreçlerine ihtiyaç duyulabilir [37, 50]. Ayrıca karbon kaynağının türü, konsantrasyonu ve C/N oranı da denitrifikasyon hızını etkileyen etmenlerdir [37, 51, 52, 53]. Düşük bir C/N oranı denitrifikasyonun düzgün bir şekilde ilerlemesini engellerken, yüksek C/N oranı da nitrit birikimine sebep olabilir ya da azot gazı dışında azotlu bileşiklerin oluşumuna yol açabilir [48-54]. Ototrofik denitrifikasyon mikroorganizmaları ise inorganik karbon kaynaklarını (karbondioksit ya da bikarbonat) besin kaynağı olarak kullanırlar ve enerji kaynağı olarak da hidrojen ya da indirgenmiş sülfür bileşiklerine elektron verici olarak ihtiyaç duyarlar [16]. Heterotrofik biyolojik denitrifikasyon da yüksek nitrat giderimine sahiptir ancak bu proseste ön arıtım karmaşık ve uzundur. Yeterli karbon kaynağının olması durumunda heterotrofik denitrifikasyon nitrat gideriminde verimlidir, ancak göl gibi karbon kaynağının yetersiz olduğu sularda organik substrat eklenmezse bu prosesin uygulanması verimli değildir [45].

### 3.2. Ototrofik Denitrifikasyon

Nitratın, *Thiobacillus*, *Thiomicrospira*, *Paracoccus* gibi ototrofik denitrifikasyon mikroorganizmaları tarafından azot gazına dönüştürüldüğü sürece ototrofik denitrifikasyon denir [55]. Bu süreçte ototrofik denitrifikasyon mikroorganizmaları elektron verici kaynak olarak hidrojen, indirgenmiş sülfür, mangan ve demir türleri gibi inorganik bileşiklerini kullanabilirler [53]. Hidrojen ve tiyosülfat için stokiometrik ilişkiler reaksiyon (8) ve (9)'da verilmiştir [55].

**Hidrojen****Tiyosülfat**

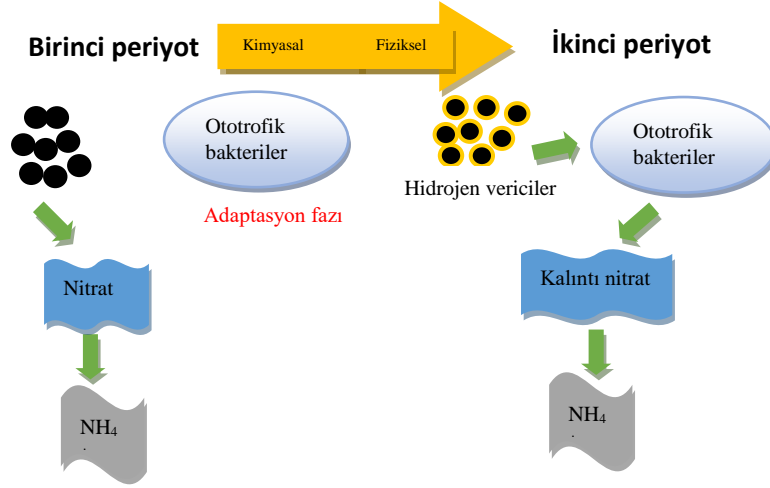
Ototrofik büyüyen bakteriler için organik karbon kaynağı gerekmez, karbondioksit veya bikarbonat gibi inorganik karbon bileşiklerini hücre sentezi için karbon kaynağı olarak kullanırlar ancak *Thiobacillus* ve *Paracoccus* denitrifikasyon mikroorganizmaları ortamda organik karbon kaynağı varsa, heterotrofik olarak büyüebilir [56].

Ototrofik denitrifikasyon, organik karbon kaynağına ihtiyaç duymaması, maliyetinin düşük olması ve daha az çamur üreterek son arıtım prosesi maliyetini düşürmesi gibi avantajlara sahiptir. Bu avantajlarına rağmen ototrofik mikroorganizmaların büyüme hızları, inorganik bileşenleri kullandıkları için yavaştır [37-54].

**3.2.1. nZVI ile Ototrofik Denitrifikasyon**

Biyolojik denitrifikasyonda nZVI kullanımı, hidrojen gazı ve organik substratların kullanımına bağlı olan problemleri ortadan kaldırabilir ve nZVI ile nitratın kısa sürede tamamen indirgenmesi gerçekleşebilir [21]. Ayrıca nZVI, ve ototrofik bakterilerin birlikte kullanıldığı nitrat indirgenmesi prosesinde amonyum oluşumu belirgin bir şekilde düşürülebilir. Böylece biyo-nZVI sinerjistik sistem ile daha düşük amonyum üretilerek nitrat indirgenmesi gerçekleştirilebilir [20]. An vd., (2009), nitrat arıtımında nZVI ve bir hidrogenotrofik bakteri olan *Alcaligenes* ototrofu kullanarak nitrat giderimini gerçekleştirmiştir. nZVI partikülleri ve bakteri içeren reaktörde nitrat 8 gün içerisinde tamamen giderilirken amonyum oluşumu %33 olarak gözlenmiştir. İndirgenme hızının düşük olmasına rağmen amonyum oranı abiyotik reaktörlerdekine kıyasla daha düşüktür. Bakterinin kültürlenmesinden sonra birleştirilen nZVI-hücre sistemi amonyum çıkışı olmadan tüm nitratı giderebilmiştir. [20].

Abiyotik indirgenme periyodu ve biyolojik denitrifikasyon periyodu olarak nitrat giderimi, sinerjistik sistemde iki aşamaya bölünmüştür [57]. İlk olarak amonyum üretimi hızı ile uyumlu olan artan bir periyot gerçekleşirken ve ikinci aşamada stabil bir periyot oluşur. nZVI, nitratı sadece ilk periyotta indirgeyebilir ve nitratla temas edince amonyum üretilir. Bu periyotta ototrofik mikroorganizmalar, nitratı kullanmak için çok az aktivite ile bu evreye adapte olmaya çalışırlar. Daha sonra nZVI, bakteriler için bir hidrojen vericisine dönüşür ve bu periyotta amonyum miktarı sabit kalır, kalıntı nitrat bakteriler tarafından kullanılır. Nitrat indirgenmesinde biyokütlenin belirli bir konsantrasyona ulaşmasıyla olay kimyasal indirgenmeden biyolojik denitrifikasyona dönüşür [57]. Bu durum Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir [58].



Şekil 1. Biyo-nZVI sinerjistik sistem ile nitrat giderim süreci [58]

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Till vd., (1998) ve Kielemos vd, (2000), hem saf kültür (*Paracoccus denitrifikatörü*) hem de hidrogenotrofik denitrifikasyon mikroorganizmalarının karışık bir kültürünü kullanarak anerobik demir korozyonu esnasında üretilen hidrojen gazı ile denitrifikasyonun devam edebileceğini göstermişlerdir [16]. Shin vd., 2008, biyolojik nitrat gideriminde nZVI kullanımının uygulanabilirliğini belirlemek için nZVI varlığında nitratın mikrobiyal indirgenmesini araştırmışlardır. Nitratın sadece %50'si abiyotik olarak 25 °C'de 7 günde indirgenirken nZVI içeren reaktörde nitrat 3 gün içinde tamamen indirgenmiştir. Abiyotik indirgenmenin aksine nitratın mikrobiyal indirgenmesi düşük sıcaklık şartlarından etkilenmediği gözlenmiştir [21].

Suda hidrojenin düşük çözünürlüğe sahip olması çözünme ya da gaz fazdan sıvı faza hidrojenin zayıf kütle transferi ile ototrofik denitrifikasyonun hızını düşürebilir. Bu durumun üstesinden gelmek ve denitrifikasyonu tamamlayabilmek için temas süresi artırılabilir ve büyük hacimli biyoreaktörler gerekebilir [59].

Entegre denitrifikasyon süreçlerinde ototrofik bakterilerin (ör: *Alcaligenes*) sistem pH'sı ve nZVI yüzeyini değiştirmesi ve hatta nZVI oksidasyonunu hızlandırması nZVI ile aralarında bir rekabet oluşumuna neden olabilir. Yüksek bir pH değeri (> 8.0) elde edildiği için nZVI, okside bir demir tabakasının oluşumu ile pasifleşir ve bundan sonra nitrat indirgenmesinde bakteriler hakim olur [57]. Fazla miktarda bakteri, ciddi hücre birikimine neden olabileceği gibi nZVI yüzeyi ile daha az etkileşim gerçekleşmiş olur [20].

Yapılan bir çalışmada, yüksek miktarda nZVI kütlesi, hücrenin oksidatif hasarına yol açarak Fe(II) ve ROS'un (Reaktif Oksijen Türleri) aşırı alımı ile ototrofik bakterilere karşı belirgin bir toksisite göstermiştir [59]. Bu nedenle amonyum konsantrasyonu yükselir ve nZVI'nın indirgeyici aktivitesi engellenir. Düşük konsantrasyonlarda bile nZVI toksik etkiler göstermesine karşın aerobik şartlar altında elektron kaynağı olarak 50-1000 mg/L nZVI eklenmesi, ototrofik mikroorganizmaların (ör: *Paracoccus*) nitrat indirgenmesini artırabilir [60-61]. nZVI'nın bakterilere karşı toksisitesi genellikle çevresel koşullardan etkilenmekle beraber bakteri türüne ve nZVI dozajına bağlıdır. nZVI oranı ve biyokütle konsantrasyonu optimize edilerek amonyum üretimi düşürülebilir, böylelikle denitrifikasyon verimi artırılır [58].

Nitrat giderim sisteminde biyo-inhibitör etkisini araştıran bir çalışmada indirgeyici olarak nZVI kullanılan sisteme hidrogenotrofik bakteri (HTB) eklenmiştir. İlave edilen HTB kültürünün (50-100 mL) nZVI ile nitrat giderim hızının temsil edildiği ilk gözlemlenen hız sabitinde ( $k_{obs1}$ ) % 58,9-91,4 azalmaya neden olduğu ve oluşan zehirli ara ürünlerin %94,9-38,5'e düştüğü gözlemlenmiştir [62].

nZVI ve mikroorganizmanın birlikte kullanıldığı sistemlerde oksijen, pH, sıcaklık ve anaerobik korozyon ürünleri ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  ve  $Fe_3O_4$ ) gibi çeşitli faktörleri incelemek için Liu vd., (2014), nZVI ile

önceden izole edilen *Paracoccus* sp. YF1 suşunu denitrifikasyonda kullanmışlardır. Sıcaklık ve pH'nın ortamda nZVI bulunduğu ve nZVI olmadığı durumlarda nitrat giderimini ve hücre büyümesini etkileyen esas faktörler olduğunu gözlemlemişlerdir. Anaerobik korozyon ürünleri Fe<sup>2+</sup> ve Fe<sup>3+</sup>'e kıyasla Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'ün elektron vericisi olarak hizmet ederek denitrifikasyon işlemini hızlandırdığını belirtmişlerdir [61].

Sıfır değerlikli demirin reaktivitesini ve oksidasyona karşı direncini artırmak için nikel, bakır, paladyum ve bakır gibi metallerle kaplama çalışmaları yapılmış ve ototrofik denitrifikasyonda da bu partiküllerden faydalanılmıştır. Örneğin, An vd., (2010), bimetalik ve polimer kaplı demir nanopartiküllerin biyolojik denitrifikasyona etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla bimetalik demir nanopartikülleri (nano Fe-Ni, nano Fe-Cu) ve kaplı demir nanopartikülleri (kitosan-Fe<sup>0</sup>, sodyum oleat-Fe) ototrofik denitrifikasyonda kullanmışlardır. Nikel içeren nanopartiküllerin nZVI'ya kıyasla nitrat giderimini daha hızlı gerçekleştirdiğini ancak %17 daha fazla amonyum üretildiğini gözlemlemişlerdir. Fe-Cu prosesinin nitrat giderimini modifiye edilmemiş nZVI entegre sisteminden iki gün daha önce gerçekleştirdiğini ve amonyum miktarının %13 azaldığını ancak nitritin büyük kısmının sistemde kaldığını gözlemlemişlerdir. nZVI partiküllerine kıyasla kitosan kaplı nanopartiküller nitratı aynı sürede gidermiş ancak kitosan kaplı nanopartiküller ile %23 daha az amonyum üretilmiştir. Sodyum oleat-Fe<sup>0</sup> nanopartikülleri hem %17 amonyum üreterek amonyum miktarını azaltmış hem de nanopartiküllerin bakterilere karşı toksisitesini azaltmıştır [57]. Bimetaliklerle yapılan bir başka çalışmada, Dong vd., (2012), *Alcaligenes* ototrofu, nZVI ve bimetalik nanopartikül (nano Fe/Ni), kaplı demir nanopartikülün de (sodyum oleat- Fe<sup>0</sup> nanopartiküller) mikroorganizmalar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Toksikite sıralaması; nano Fe/Ni > nZVI > sodyum oleat nanopartiküller olarak belirlenmiştir. nZVI'nın denitrifikasyon bakterileri için belirgin bir toksisiteye sahip olduğunu ancak nano materyalin yüzeyinin kaplanması ile toksisitenin azaltılabileceğini de belirtmişlerdir [63].

Metalik demir destekli hidrogenotrofik denitrifikasyon ile ilgili şu problemler de bulunmaktadır:

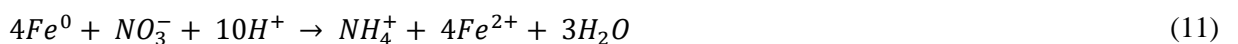
- Nitratın amonyağa abiyotik indirgenmesi biyolojik denitrifikasyona paralel olarak büyük miktarlarda amonyak üretimine neden olabilir.
- Hem biyolojik hem de abiyotik nitrat indirgenmesi sistemin pH'sını yükselterek OH<sup>-</sup> üretimine neden olur. pH artışının olmaması ve nitrat indirgeme reaksiyonlarını etkilememesi için uygun tamponlama desteği sağlanmalıdır [16].

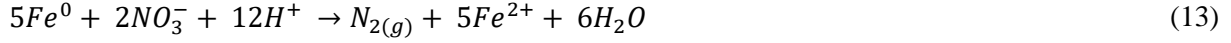
#### 4. nZVI ile Abiyotik Denitrifikasyon

ZVI ile nitrat arasında gerçekleşen redoks reaksiyonu, ZVI'nın oksidatif çözünmesi sonucu metal iyonlarının oluşması ile gerçekleşir. Reaksiyon (10) şu şekildedir.



Bu durum nZVI'nın birçok redoks reaksiyonunda indirgeyici faktör olarak kullanılmasını sağlar. Nitrat indirgenmesi ile oluşabilecek muhtemel türler; nitrit, azot ve amonyak iken ZVI'nın Fe<sup>2+</sup> iyonuna dönüştürülmesiyle gerçekleşen ZVI ile nitrat indirgenmesi prosesinde muhtemel ürünlerin amonyak, nitrit ve azot gazı olduğu reaksiyon (11) ve (12) ve (13)'te gösterilmiştir [64].





Choe vd., (2000), [65] belirli şartlar altında tamamen demir yardımı ile nitratın azot gazına abiyotik indirgenmesini ve indirgenmenin son ürünü olarak amonyak ve azot gazının oluştuğunu belirtmişlerdir [66-67]. Hu vd., (2001), nitrat indirgenmesi sırasında bir ara ürün olarak üretilen nitritin metalik demir ile amonyak ve azot gazına indirgenmesini yaptıkları bir çalışmayla kanıtlamışlardır [68]. Westerhoff ve James (2003), tarafından yapılan saha ölçekli bir çalışmada metalik demir içeren kolonlarda nitrat indirgenmesinin kolon çalışma zamanındaki artış ile dönüşüm yüzdesinin arttığını, uygulanan nitratın %30-75'inin azot gazına gözle görünür şekilde dönüştüğünü bildirmişlerdir [69]. Sciliano (2015), özellikle 50 mg/L'den daha yüksek nitrat konsantrasyonlarında arıtılan çözeltilerden nitratın hemen hemen tamamen indirgenmesini tespit etmiştir [70].

Reaksiyon şartlarını inceleyen Ziajahromi vd., (2013), başlangıç pH seviyesi, başlangıç nitrat konsantrasyonu ve başlangıç nano Fe<sup>0</sup> dozajının nitrat indirgenmesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Başlangıç pH'sının artması ile nitrat indirgenme veriminin düştüğü ve nZVI'nin konsantrasyonunun artması ile giderim veriminde önemli bir artış olduğu sonucuna varmışlardır [71].

Kim vd., (2014), kanalizasyon sularından nitrat giderimi için nZVI'ya en uygun destek materyalini bulabilmek amacıyla nZVI, silika, sentetik zeolit ve bu üçlünün karışımını deneylerinde kullanmışlar sonuç olarak nZVI ile kimyasal denitrifikasyonun klasik kanalizasyon ve atıksu arıtma tesislerinde optimum şartlar altında nitrat giderimi için uygun olduğunu bunun yanı sıra silika ve zeolitin de uygun adsorbentler olduğunu belirtmişlerdir [72].

nZVI ile nitrat indirgenmesi prosesinde çözelti pH'sı, kinetiği etkileyen en önemli faktördür [73,67,74]. Reaksiyon (14) ve (15)'e göre demir korozyonu ile nitrat indirgenmesinden alkalinite üretilir [75].



Reaksiyon oranını korumak için kullanılan zayıf asitler, kullanılan diğer asitler veya tampon maddeler de reaksiyon oranlarını etkiler. Fe<sup>0</sup> ile indirgenme prosesinde çeşitli tamponlama maddeleri [76-77] ve aynı fosfat tampon sistemi [78-73] ile pH değişimi test edilmiştir. Ancak farklı asitlerin ve pH'nın etkisi iyi tanımlanamamıştır [79]. Yang vd., (2005), kesikli deneylerle yaptıkları çalışmalarında çeşitli pH' larda nZVI ile nitratın kimyasal olarak indirgenmesini incelemişlerdir. Kuvvetli asidik şartların nitrat giderimi için daha uygun olacağını belirtmişlerdir [80]. Ziajahromi vd., (2012) sentezlenen nZVI partikülleri ile nitratın kimyasal indirgenmesini araştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda nZVI'nin 0,25 g/L'den 1,0 g/L'ye artan dozajı ile pH'nın 4'ten 10'a artmasının nitrat indirgenme verimini ciddi bir şekilde azalttığını görmüşlerdir [81]. Xu vd., (2012) tarafından yapılan bir başka çalışmada nitratın sıfır değerlikli demir (Fe<sup>0</sup>) ile indirgenme veriminin nötr başlangıç şartları altında belli miktarda Fe<sup>2+</sup> eklenmesi ile artacağını belirtmişlerdir. Proses boyunca NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve Fe<sup>2+</sup> konsantrasyonlarının azalma eğiliminde olduğu ancak sürecin üç aşamaya ayrıldığını bulmuşlardır. Fe<sup>2+</sup>'nin üretilen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve sistemin pH tamponlamasında önemli rol alan iyonlaşan H<sup>+</sup> eşliğinde demir yüzeyinin korozyonunu artırdığını göstermişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, demir yüzeyine elektron transferini tercih eden iyi bir iletken olarak davrandığını ve Fe<sup>0</sup> ve Fe<sup>2+</sup> ile denitrifikasyon hızını artırdığını belirtmişlerdir [82].

nZVI'nin aglomerasyonunu önlemek ve reaktivitesini arttırmak amacıyla çeşitli kaplama ve modifikasyon çalışmaları da yapılmıştır. Park vd., (2008), demir tuzlarının borhidrit ile indirgenmesini iyon değiştirici reçine varlığında etanol/su içeren bir dispersantta gerçekleştirmişlerdir. Nitrat indirgenmesi sonucunda klasik yöntemlerle hazırlanan nZVI'ya kıyasla etanol/su ile hazırlanan nZVI ile yalancı birinci dereceden hız sabitinin 61 % arttığını belirtmişlerdir [83]. Park vd., (2009), bir diğer çalışmalarında nZVI aglomerasyonunu azaltmak için kullandıkları iyon değiştirme reçineleri ile



hazırlanan nZVI ile nitrat indirgenmesinde en büyük problem olan amonyumun oluşmadığını gözlemişlerdir [84].

Khalil vd., (2016), nitrat giderimini pH, oksijen varlığı/yokluğu ve farklı nitrat konsantrasyonları (50, 100, 200, 300 ve 500 mg/L) ve farklı şartlar altında nZVI ve bakır tuzu ilave ederek ve ilave etmeden çalışmışlardır. Nitrat indirgenmesi süresince bakır iyonlarının varlığının iki elektrokimyasal reaksiyona neden olduğunu bunlardan birinin demir korozyonunu teşvik ettiğini diğer reaksiyonun hidrojen-elektrokatalitik nitrat indirgenmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir. Her iki tepkimenin giderim verimini ve kinetiklerini yalnız nZVI'ya göre 3,5 kat arttırdığını, nitrat indirgenmesi süresini 1 saatten 20 dakikaya düşürdüğünü de belirtmişlerdir [85].

## 5. Sonuç ve Öneriler

Atıksu arıtımında problem olan ve giderimi için çeşitli yöntemler bulunan nitrat için heterotrofik, ototrofik ve abiyotik denitrifikasyon prosesleri ile şu sonuçlara varılabilir:

- Ototrofik denitrifikasyon prosesinde elektron verici olarak pahalı olan ve depolanmasında problemler olan hidrojen gazının kullanımı yerine nZVI'nın potansiyel kullanımı ve avantajları yapılan çalışmalarla da kanıtlanmıştır.
- Denitrifikasyon prosesi sırasında üretilen ve istenmeyen amonyum miktarının azaltılması için nZVI ile denitrifikasyon prosesine ototrofik mikroorganizmaların eklenmesi sistemin performansını artırarak amonyum miktarını düşürdüğü hatta bazı çalışmalarda hiç amonyum çıkışının olmadığı da kanıtlanmıştır.
- Nitrat indirgenmesinde heterotrofik denitrifikasyon yüksek nitrat giderim kapasitesine sahip iken ototrofik denitrifikasyon prosesinin daha az maliyetli olması, daha az çamur üretmesi, organik karbon kaynağı gerektirmemesi gibi avantajlarından dolayı daha çok tercih edilir görülmektedir.
- Heterotrofik denitrifikasyon prosesinde kullanılan bazı organik karbon kaynaklarının kullanımına bağlı olarak suda kalıntılarının bulunması da heterotrofik prosesinin dezavantajlarından görülmektedir.
- Abiyotik denitrifikasyonun aksine nZVI ile ototrofik denitrifikasyonun düşük sıcaklıklardan etkilenmediği de çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır.
- Ototrofik denitrifikasyonun en önemli dezavantajı inorganik karbon kaynağını kullandıkları için bakterilerin büyüme hızlarının yavaş olması ve buna bağlı olarak denitrifikasyon prosesinin süresinin uzamasıdır, heterotrofik mikroorganizmalar organik karbon kaynağını kullandıkları için hızlı büyürler.

## Kaynaklar

1. Till B.A., Weathers L.J., Alvarez P.J.J. 1998. Fe(0)-Supported Autotrophic Denitrification, *Environmental Science Technology*, 32 (5): 634-639.
2. Mansell B.O., Schroeder E.D. 2002. Hydrogenotrophic Denitrification in Amicroporous Membrane Bioreactor, *Water Research*, 36 (19): 4683-4690.
3. Haring V., Conrad R. 1991. Kinetics of H<sub>2</sub> Oxidation in Respiring and Denitrifying Paracoccusö Denitrificans, *FEMS Microbiol Letters*, 78 (2-3): 259-264.
4. Liessens J., Vanbrabant J., Vos P., Kersters K., Verstraete W. 1992. Mixed Culture Hydrogenotrophic Nitrate Reduction in Drinking Water, *Microbial Ecology*, 24 (3): 271-290.
5. Smith R.L., Ceazan M.L., Brooks M.H. 1994. Autotrophic, Hydrogen-Oxidizing, Denitrifying Bacteria in Groundwater, Potential Agents for Bioremediation of Nitrate Contamination, *Applied and Environmental Microbiology*, 60 (6): 1949-1955.
6. Ho C.M., Tseng S.K., Chang Y.J. 2001. Autotrophic Denitrification Via A Novel Membrane-Attached Biofilm Reactor, *Letters in Applied Microbiology*, 33 (3): 201-205.
7. Smith R.L., Buckwalter S.P., Repert D.A., Miller D.N. 2005. Small-Scale, Hydrogen-Oxidizing Denitrifying Bioreactor for Treatment of Nitrate-Contaminated Drinking Water, *Water Research*, 39 (10): 2014-2023.
8. Vasiliadou I.A., Pavlou S., Vayenas D.V. 2006. A Kinetic Study of Hydrogenotrophic Denitrification, *Process Biochemistry*, 41 (6): 1401-1408.
9. Schnobrich M.R., Chaplin B.P., Semmens M.J., Novak P.J. 2007. Stimulating Hydrogenotrophic Denitrification in Simulated Groundwater Containing High Dissolved Oxygen and Nitrate Concentrations, *Water Research*, 41 (9): 1869-1876.
10. McCarty P.L. 1972. *Stoichiometry of Biological Reactions*, Proceedings of The International Conference Towards A Unified Concept of Biological Waste Treatment Design, Atlanta.
11. Kurt M., Dunn I.J., Bourne J.R. 1987. Biological Denitrification of Drinking Water Using Autotrophic Organisms with H<sub>2</sub> in A Fluidized Bed Biofilm Reactor, *Biotechnology and Bioengineering*, 29 (4): 493-501.
12. Claus G., Kutzner H.J. 1985a. Autotrophic Denitrification by Thiobacillus Denitrificans in A Packed Bed Reactor, *Applied Microbiology Biotechnology*, 22 (4): 289- 296.
13. Claus G., Kutzner H.J. 1985b. Physiology and Kinetics of Autotrophic Denitrification by Thiobacillus Denitrificans, *Applied Microbiology Biotechnology*, 22 (4): 283-288.
14. Kleerebezem R., Mendezà, R. 2002. Autotrophic Dentrification for Combined Hydrogen Sulfide Removal From Biogas and Post Dentrification, *Water Science Technology*, 45 (10): 349-356.
15. Gamble T.N., Betlach M.R., Tiedje J.M. 1977. Numerically Dominant Denitrifying Bacteria From World Soils, *Applied Environmental Microbiology*, 33 (4): 926-939.
16. Chang C.C., Tseng S.K., Huang H.K. 1999. Hydrogenotrophic Denitrification with Immobilized Alcaligenes Eutrophus for Drinking Water Treatment, *Bioresource Technology*, 69 (1): 53-58.

17. Biswas S., Bose P. 2005. Zero-Valent Iron-Assisted Autotrophic Denitrification, *Journal Environmental Engineering*, 131 (8): 1212-1220.
18. Kielemoes J., De Boever P., Verstraete W. 2000 Influence of Denitrification on The Corrosion of Iron and Stainless Steel Powder, *Environmental Science Technology*, 34 (4): 663-671.
19. Yu X.Y., Amrhein C., Deshusses M.A., Matsumoto M.R. 2006. Perchlorate Reduction by Autotrophic Bacteria in The Presence of Zero-Valent Iron, *Environmental Science Technology*, 40 (4): 1328-1334.
20. An Y., Li T., Jin Z., Dong M., Li Q., Wang S. 2009. Decreasing Ammonium Generation Using Hydrogenotrophic Bacteria in The Process of Nitrate Reduction by Nanoscale Zero-Valent Iron, *Science of The Total Environment*, 407 (21): 5465-5470.
21. Shin K.H., Cha D.K. 2008. Microbial Reduction of Nitrate in The Presence of Nanoscale Zero-Valent Iron, *Chemosphere*, 72 (2): 257-262.
22. Huang C.P., Wang H.W., Chiu C.P. 1998. Nitrate Reduction by Metallic Iron, *Water Research*, 32 (8): 2257-2264.
23. Zhang W.X. 2003. Nanoscale Iron Particles for Environmental Remediation: An Overview, *Journal of Nanopartical Research*, 5 (3): 323-332.
24. Zhang W.X. 2005. Nanoscale Environmental Science and Technology: Challenges and Opportunities, *Environmental Science Technology*, 39: 94A-95A.
25. Gotpagar J.K., Grulke E.A., Tsang T., Bhattacharyya D. 1997. Reductive Dehalogenation of Trichloroethylene Using Zero-Valent Iron, *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 16 (2): 137-143.
26. Li F., Vipulanandan C., Mohanty K.K. 2003. Microemulsion and Solution Approaches to Nanoparticle Iron Production for Degradation of Trichloroethylene, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 223 (1-3): 103-112.
27. Crane R.A., Scott T.B. 2012. Nanoscale Zero-Valent Iron: Future Prospects for An Emerging Water Treatment Technology, *Journal of Hazardous Materials*, 211-212: 112-125.
28. Wang C.B., Zhang W.X. 1997. Synthesizing Nanoscale Iron Particles for Rapid and Complete Dechlorination of TCE and PCBs, 31 (7): 2154-2156.
29. You Y., Han J., Chiu P.C., Jin Y. 2005. Removal and Inactivation of Waterborne Viruses Using Zero Valent Iron, *Environmental Science and Technology*, 39 (23): 9263-9269.
30. Phenrat T., Long T.C., Lowry G.V., Veronesi B. 2009. Partial Oxidation ("Aging") and Surface Modification Decrease The Toxicity of Nanosized Zerovalent Iron, *Environmental Science and Technology*, 43 (1): 195-200.
31. Li X.Q., Zhang W. 2006. Iron Nanoparticles: The Core-Shell Structure and Unique Properties for Ni(II) Sequestration, *Langmuir*, 22 (10): 4638-4642.
32. Thiruvengkatachari R., Vigneswaran S., Naidu R. 2007. Permeable Reactive Barrier for Groundwater Remediation, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14 (2): 145-156.
33. Li S., Wang W., Liang F., Zhang W. 2017. Heavy Metal Removal Using Nanoscale Zero-Valent Iron (nZVI): Theory and Application, *Journal of Hazardous Materials*, 322 (A): 163-171.

34. Dutta S., Saha R., Kalita H., Bezbaruah A.N. 2016. Rapid Reductive Degradation of Azo and Anthraquinone Dyes by Nanoscale Zero-Valent Iron, *Environmental Technology & Innovation*, 5:176-187.
35. Wang W., Hua Y., Li S., Yan W., Zhang W. 2016. Removal of Pb(II) and Zn(II) Using Lime and Nanoscale Zero-Valent Iron (nZVI): A Comparative Study, *Chemical Engineering and Journal*, 304: 79-88.
36. Zhang J., Hao Z., Zhang Z., Yang Y., Xu X. 2010. Kinetics of Nitrate Reductive Denitrification by Nanoscale Zero-Valent Iron, *Process Safety and Environmental Protection*, 88 (6): 439-445.
37. Ghafari S., Hasan M., Aroua M.K. 2008. Bio-Electrochemical Removal of Nitrate From Water and Wastewater-A Review, *Bioresource Technology*, 99 (10): 3965-3974.
38. Bhatnagar A., Sillanpää M. 2011. A Review of Emerging Adsorbents for Nitrate Removal From Water, *Chemical Engineering Journal*, 168 (2): 493-504.
39. Shrimali M., Singh K.P. 2011. New Methods of Nitrate Removal From Water, *Environmental Pollution*, 112 (3): 351-359.
40. Zhao Y., Feng C., Wang Q., Yang Y., Zhang Z., Sugiura N. 2011. Nitrate Removal From Groundwater by Cooperating Heterotrophic With Autotrophic Denitrification in A Biofilm-Electrode Reactor, *Journals of Hazardous Materials*, 192 (3): 1033-1039.
41. Koenig A., Zhang T., Liu L.H., Fang H.H. 2005. Microbial Community and Biochemistry Process in Autosulfurotrophic Denitrifying Biofilm, *Chemosphere*, 58 (8): 1041-1047.
42. Van H.M., Loosdrecht M.C.M., Heijnen J.J. 1999. Modelling Biological Phosphorus and Nitrogen Removal in A Full Scale Activated Sludge Process, *Water Research*, 33 (16): 3459-3468.
43. Show K.Y., Lee D.J., Pan X. 2013. Simultaneous Biological Removal of Nitrogen-Sulfur-Carbon: Recent Advances and Challenges, *Biotechnology Advances*, 31 (4): 409-420.
44. Hamlin H. J., Michaels J. T., Beaulaton C. M., Graham W.F., Dutt W., Steinbach P., Losordo T.M., Schrader K.K., Main K.L. 2008. Comparing Denitrification Rates and Carbon Sources in Commercial Scale up Flow Denitrification Biologicalfilters in Aquaculture, *Aquacultural Engineering*, 38 (2): 79-92.
45. Van der Hoek J.P., Klapwijk A. 1988. The Use of A Nitrate Selective Resin in The Combined Ion Exchange/Biological Denitrification Process For Nitrate Removal From Groundwater, *Water Supply*, 6: 57-62.
46. Kim S., Jung H., Kim K.S., Kim I.S. 2004. Treatment of High Nitrate Containing Wastewaters by Sequential Heterotrophic and Autotrophic Denitrification, *Journal of Environmental Engineering*, 130 (12): 1475-1480.
47. Killingstad M.W., Widdowson M.A., Smith R.L. 2002. Modeling Enhanced in Situ Denitrification in Groundwater, *Journal of Environmental Engineering*, 128 (6): 491-504.
48. Kim Y.S., Nakano K., Lee T.J., Kanchanatawee S., Matsumura M. 2002. On-Site Nitrate Removal of Groundwater by An Immobilized Psychrophilic Denitrifier Using Soluble Starch As A Carbon Source, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 93 (3): 303-308.
49. Szekeres S., Kiss I., Kalman M., Soares M.I.M. 2002. Microbial Population in A Hydrogen-Dependent Denitrification Reactor, *Water Research*, 36 (16): 4088-4094.

50. Feleke Z., Sakakibara Y. 2002. A Bio-Electrochemical Reactor Coupled with Adsorber for The Removal of Nitrate and Inhibitory Pesticide, *Water Research*, 36 (12): 3092-3102.
51. Galvez J.M., Gomez M.A., Hontoria E., Gonzalez-Lopez J. 2003. Influence of Hydraulic Loading and Air Flowrate on Urban Wastewater Nitrogen Removal with a Submerged Fixed-Film Reactor, *Journal Hazardous Materials*, 101 (2): 219-229.
52. Gomez M.A., Galvez J.M., Hontoria E., Gonzalez-Lopez J. 2003. Influence of Concentration on Biofilm Bacterial Composition From A Denitrifying Submerged Filter Used for Contaminated Groundwater, *Journal Bioscience and Bioengineering*, 95 (3): 245-251.
53. Rijn J.V., Tal Y., Schreier H.J. 2006. Denitrification in Recirculating Systems: Theory and Applications, *Aquacultural Engineering*, 34 (3): 364-376.
54. Chiu Y.C., Chung M.S. 2003. Determination of Optimal COD/Nitrate Ratio for Biological Denitrification, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51 (1): 43-49.
55. Beiki M.R., Yazdian F., Rasekh B., Rashedi H., Rostami A.D. 2016. Effect of Metal Nanoparticles on Biological Denitrification Process: A Review, *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 3 (1): 353-358.
56. Gayle B.P., Boardman G. D., Sherrard J.H., Benoit R.E. 1989. Biological Denitrification of Water, *Journal of Environmental Engineering*, 115 (5): 930-943.
57. An Y., Li T., Jin Z., Dong M., Li Q. 2010. Nitrate Degradation and Kinetic A nalysis of The Denitrification System Composed of Iron Nanoparticles and Hydrogenotrophic Bacteria, *Desalination*, 252 (1-3): 71-74.
58. Xie Y., Dong H., Zeng G., Tang L., Jiang Z., Zhang C., Deng J., Zhang L., Zhang Y. 2017. The Interactions Between Nanoscale Zero-Valent Iron and Microbes in The Subsurface Environment: A Review, *Journal of Hazardous Materials*, 321 (5): 390-407.
59. Prosnansky M., Sakakibarab Y., Kuroda M. 2002. High-Rate Denitrification and SS Rejection by Biofilm-Electrode Reactor (BER) Combined with Microfiltration, *Water Resource*, 36 (19): 4801-4810.
60. Barnes R.J., Van der Gast C.J., Riba O., Lehtivirta L.E., Prosser J.I., Dobson P.J., Thomphson I.P. 2010. The Impact of Zero-Valent Iron Nanoparticles on A River Water Bacterial Community, *Journal Hazardous Materials*, 184 (1-3): 73-80.
61. Liu Y., Li S., Chen Z., Megharaj M., Naidu R. 2014. Influence of Zero-Valent Iron Nanoparticles on Nitrate Removal by *Paracoccus* sp, *Chemosphere*, 108: 426-432.
62. An Y., Dong Q., Zhang K. 2014. Bioinhibitory Effect of Hydrogenotrophic Bacteria on Nitrate Reduction by Nanoscale Zero-Valent Iron, *Chemosphere*, 103: 86-91.
63. Dong M.Y., Wang X., Huang F., Jin F.H., Li T.L. 2012. Toxicity of Fe<sup>0</sup> Nanoparticles on the Denitrifying Bacteria-*Alcaligenes Eutrophus*, *Advanced Materials Research*, 343-344 (3): 889-894.
64. Chen S.S., Hsu H.D., Li C.W. 2004. A New Method to Produce Nanoscale Iron for Nitrate Removal, *Journal of Nanoparticle Research*, 6 (6): 639-647.
65. Choe S., Chang Y.Y., Hwang K.Y., Khim J. 2000. Kinetics of Reductive Denitrification by Nanoscale Zero-Valent Iron, *Chemosphere*, 41 (8): 1307-1311.

66. Chi I., Zhang S.T., Lu X., Dong L.H., Yao S.L. 2004. Chemical Reduction of Nitrate by Metallic Iron, *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 53 (1): 37-41.
67. Huang Y.H., Zhang T.C. 2002. Kinetics of Nitrate Reduction by Iron at Near Neutral pH, *Journal of Environmental Engineering*, 128 (7): 604-611.
68. Hu H.Y., Goto N., Fujie K. 2001. Effect of pH on The Reduction of Nitrite in Water by Metallic Iron, *Water Research*, 35 (11): 2789-2793.
69. Westerhoff P., James J. 2003. Nitrate Removal in Zero-Valent Iron Packed Columns, *Water Research*, 37 (8): 1818-1830.
70. Sciliano A. 2015. Use of Nanoscale Zero-Valent Iron (NZVI) Particles for Chemical Denitrification Under Different Operating Conditions, *Metals*, 5 (3): 1507-1519.
71. Ziajahromi S., Khanizadeh M., Khiadani M. 2013. Experimental Evaluation of Nitrate Reduction From Water Using Synthesis Nanoscale Zero-Valent Iron (NZVI) Under Aerobic Conditions, *Middle-East Journal of Science Research*, 16 (2): 205-209.
72. Kim M.S., Kwak D. H. 2014. Treatment Characteristics and Effects of Nanoparticle Zero-Valent Iron (nZVI) Powder on Nitrogen Removal Efficiency for Sewage Treatment, *Water Quality Research Journal*, 49 (3): 273-284.
73. Lavine B.K., Auslander G., Ritter J. 2001. Polarographic Studies of Zero Valent Iron as A Reductant for Remediation of Nitroaromatics in The Environment, *Microchemical Journal*, 70 (2): 69-83.
74. Alowitz M.J., Scherer M.M. 2002. Kinetics of Nitrate, Nitrite, and Cr(VI) Reduction by Iron Metal, *Environmental Science Technology*, 36 (3): 299-306.
75. Choe S., Liljestrand H.M., Khim J. 2004. Nitrate Reduction by Zero-Valent Iron Under Different pH Regimes, *Applied Geochemistry*, 19 (3): 335-342.
76. Matheson L.J., Tratnyek P.G. 1994. *Abiotic and Biotic Aspects of Reductive Dechlorination of Chlorinated Solvents by Zerovalent Iron*, Preprint of Extended Abstract, Presented at Division of Environmental Chemistry, Am. Chem. Soc., 13 March, San Diego, 720-723.
77. LipczynskaKochany E., Harms S., Milbum R., Sprah G., Nadarajah N. 1994. Degradation of Carbon Tetrachloride in The Presence of Iron and Sulphur Containing Compounds, *Chemosphere*, 29 (7): 1477-1489.
78. Chen J.L., Al-Abed S.R., Ryan J.A., Li Z. B. 2001. Effects of pH on Dechlorination of Trichloroethylene by Zero-Valent Iron, *Journal Hazardous Materials*, 83 (3): 243-254.
79. Agrawal A., Tratnyek P. G. 1995. Reduction of Nitro Aromatic Compounds by Zero-Valent Iron Metal, *Environmental Science and Technology*, 30 (1): 153-160.
80. Yang G.C.C., Lee H.L. 2005. Chemical Reduction of Nitrate by Nanosized Iron: Kinetics and Pathways, *Water Research*, 39 (5): 884-894.
81. Ziajahromi S., Mehrdad M. 2012. Nitrate Removal from Water Using Synthesis Nanoscale Zero-Valent Iron (NZVI), *Journal of International*, 7 (5): 939-943.
82. Xu J., Hao Z., Xie C., Lv X., Yang Y., Xu X. 2012. Promotion Effect of  $Fe^{2+}$  and  $Fe_3O_4$  on Nitrate Reduction Using Zero-Valent Iron, *Desalination*, 284: 9-13.

83. Park H.S., Park Y.M., Oh S.K, Lee S.J., Choi Y.S., Lee S. H. 2008. Evaluation of Denitrification Reactivity by the Supported Nanoscale Zero-Valent Iron Prepared in Ethanol-Water Solution, The Korean Institute of Chemical Engineers, 46 (5): 1008-1012.
84. Park H.S., Park Y.M., Yoo K.M., Lee S.H. 2009. Reduction of Nitrate by Resin-Supported Nanoscale Zero-Valent Iron, Water Science and Technology, 59 (11): 2153-2157.
85. Khalil A.M.E., Eljamal O., Jribi S., Matsunaga M. 2016. Promoting Nitrate Reduction Kinetics by Nanoscale Zero Valent Iron in Water via Copper Salt Addition, Chemical Engineering Journal, 287 (1): 367-380.

# BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## YAZIM KURALLARI

### İLK SUNUŞ FORMATI

Makaleler elektronik ortamda Word dosyası olarak ve ayrıca mümkünse pdf formatında sunulmalıdır. Makale, A4 kâğıda, 11 punto büyüklüğündeki Times New Roman fontuyla, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak, tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Makaleler 20 sayfayı geçmeyecek şekilde yazılmalı ve online olarak <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> adresinden gönderilmelidir. Makaleler aşağıda verilen düzene ve kurallara göre yazılmalıdır.

Makalenin ana bölümleri Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Kaynaklardan oluşur.

**Benzerlik Oranı:** Gönderilen makalelerin benzerlik oranı %25'i geçmemelidir.

**Makale Dili:** Türkçe veya İngilizce'dir.

**Başlık:** İçeriğe uygun, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Türkçe ve İngilizce başlıklar Times New Roman, 14 punto, kalın (**bold**), ilk harfleri büyük ve ortalanarak yazılmalıdır.

**Yazar isimleri ve adresleri:** Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, ilk harf büyük ve soyadı büyük harflerle, 12 punto, ortalı olarak yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (1, 2, 3, gibi). Sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız sembolü olmalıdır

(\*). Yazarların tam adresleri isimlerinin hemen alt kısmına küçük harflerle (İlk harfler büyük), ortalı, italik ve 10 punto yazılmalı, sorumlu yazarın e-mail adresi ilk sayfanın sol alt köşesinde (\*) sembolü ile belirtilmelidir.

**Özet ve Anahtar kelimeler (Summary ve Keywords):** Makalede Türkçe ve İngilizce özet olmalı ve her biri 250 kelimeyi geçmeyecek şekilde 10 punto olarak yazılmalıdır. Özet ve Abstract kelimeleri kalın (**bold**), küçük harflerle, metne bağlı 10 punto olarak yazılmalıdır. Her iki özeti hemen altında en fazla 6 kelimedenden oluşan

Anahtar Kelimeler ve Keywords yazılmalıdır.

**Ana Metin:** Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır ve numaralı olmalıdır. Tüm ana metin başlıkları sola yanaşık, İlk harfleri büyük diğerleri küçük harflerle, 11 punto ve kalın karakter olmalıdır. Alt başlıklar 11 punto yazılmalıdır. Metin; iki yana yaslı, paragraflar arası satır boşluğu kullanılmamalı, alt başlıklardan hemen sonraki ilk paragrafta girinti olmamalıdır.

**Giriş:** Konu hakkında kısa bir literatür bilgisi vermeli, sonunda çalışmanın amacı kısaca belirtilmelidir.

**Materyal ve Metot:** Detaylı ve açıklayıcı bir biçimde verilmelidir.

**Bulgular ve Tartışma:** Bu bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve tablolarla da desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır.

**Sonuç ve Öneriler:** Sonuçlar gereksiz tekrarlardan kaçınılarak mutlaka yorumlanmalıdır. Sonuçların başka araştırmalarla benzerlik ve farklılıkları verilmeli, bunların olası nedenleri tartışılmalıdır.

**Teşekkür:** Gerek görüldüğü takdirde ya da proje vs. kapsamında bir çalışma ise; çalışmada yardımcıları olan kişi(ler), kurum ve kuruluşlara yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür edilmelidir.

**Kaynaklar:** Kaynakların metin içinde gösterimi numara sırasına göre olmalıdır ([1], [2] v.b.). Makale içinde verilen her kaynak, makalenin Kaynaklar kısmında mutlaka yer almalıdır. Kaynaklar makale sonunda numara sırasına göre verilmelidir. Kaynakların makale sonundaki gösterimi aşağıdaki örneklerdeki gibi olmalıdır.

### Kaynak bir makale ise;

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices, Philosophical Magazine, 96 (25): 2686-2695.



2. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart from Turkey, Grasas y aceites, 62 (4): 410-417.

#### **Kaynak bir kitap ise;**

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler*, Literatür Yayınları, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

#### **Kitap bölümü ise;**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia L.* in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams, in *Developments in Hydraulic Engineering 2*, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd. Essex, UK, 153-173.

#### **Kaynak sempozyum ise;**

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1<sup>st</sup> International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April , Abstract Book, 63s. Antalya.

#### **Web adresi;**

#### **İnternet kaynağın yazar ismi ve tarihi biliniyorsa;**

1. Şenel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Erişim Tarihi: 21.01.2007).

#### **Yazar ve tarih isimleri bilinmiyorsa;**

1. Biyolojik çeşitlilik 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

#### **Kaynak Tez ise;**

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia L. (Asteraceae)* Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 348s, Elazığ.

#### **Kaynak Anonim ise;**

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, 93s. İstanbul.

**Şekil ve Tablolar:** Fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi göstermeler şekil olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Şekiller (Renkli ve siyah-beyaz fotoğraflar, siyah-beyaz çizimler, haritalar) metin içerisinde verilmelidir. Şekiller 16x20 cm den büyük olmamalıdır. Resim ve fotoğraflar en az 600 dpi çözünürlükte olmalıdır. Tüm tablo ve şekiller makale boyunca sırayla numaralandırılmalı (Tablo 1., Şekil 1.), başlık ve açıklamalar içermelidir. Açıklamaların sonunda nokta veya virgül konulmamalıdır. Tablo başlıkları tablonun üstünde, şekil başlıkları ise şekil altında ortalı ve 10 punto olmalıdır.

**Birim Sistemi:** Makalelerde kullanılan birim sistemleri SI birim sistemlerine uyumlu olmalıdır.

**Yayına Kabul Edilen Makalelerin Son Düzeltmelerindeki Dikkat Edilecek Hususlar**

Tüm kenar boşlukları (sağ, sol, üst ve alt) 2,5 cm ve satır aralığı tek olmalı,

- Özetler 10 punto, ana metin 11 punto olmalı,
- Makale başlıkları (Türkçe – İngilizce) 14 punto, kalın yalnızca ilk harfler büyük,
- Metin ana başlıkları 11 punto, kalın yalnız ilk harfler büyük,
- Alt başlıklar 11 punto, kalın ve sadece ilk harfi büyük olmalıdır.

# BEU JOURNAL OF SCIENCE

## Manuscript Preparation

### Format of First Submission

Manuscripts should be submitted digitally as both MS Word and PDF files. Files should be prepared by using A4 paper size with 2.5 cm margin from all sides, in 11 font size and Times New Roman font with single space. Manuscripts should not exceed 20 pages and should be submitted via <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> web site. Manuscripts should be written according to following rules and structure.

Main sections of the article are Introduction, Material and Methods, Results and Discussion, and References. An Acknowledgement section can be included before References.

**Similarity Ratio:** The similarity rate of submitted articles should not exceed 25%.

**Manuscript Language:** Turkish or English.

**Title:** It should a concise and clear phrase describing the content of the text. Both Turkish and English titles should be centered and bold in Times New Roman with 14 font size and First Letters Should Be Capitalized.

**Author Names and Addresses:** Full names of all authors are given below the title. Surnames (Family Names) and first letters of the Given Names should be capitalized with 12 font size as centered. Author names are separated by coma. Superscript Arabic letters (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>, <sup>3</sup>, ect.) should be used to indicate addresses. Corresponding author should be indicated with an asterisk (\*). Full addresses of the authors should be written with lower case italic letter and be centered (10 font) immediately after author names. E-mail address of the corresponding author should be given lower left corner of the first page, leading with an asterisk (\*).

**Abstract and Key Words:** All manuscript should include Turkish and English abstracts and each abstract should be written in 10 font size without exceeding 250 words. The words “**Özet**” and “**Abstract**” should be written with capitalized first letters in 10 font size. Özet and Abstract should be followed by “Anahtar Kelimeler” and “Keywords” including no more than 6 words, respectively.

**Main Text:** Titles of main sections and subsections should be comprehensible and numbered. All main section titles should be left aligned, bold, and in 11 font size with capitalized first letters. Subsection titles should be in 11 font size. The text should be justified. There should be no space between paragraphs. Paragraphs following a title should not have first-line indent.

**Introduction:** A brief summary of the subject and the current literature should be given. The aim of the study should be briefly stated at the end.

**Material and Method:** It should be given in detail and clearly.

**Results and Discussion:** The results should be presented in a comprehensible manner which may include figures and tables. Presented results should be compared with the literature.

**Conclusion:** The results should be interpreted in avoiding unnecessary repetitions. It should be stated and discussed with its possible reasons if the results comply with previous studies or not.

**Acknowledgement:** If appropriate, acknowledgements to sponsor(s) and assisting individual(s) should be given.

**References:** References should be cited in text according to order of appetences with Arabic numbers in square brackets (e.g. [1], [2], ect.). All references cited in the text should be listed in References and vice versa. Journal names should not be abbreviated in the References. References should be listed according to numeric order at the end of the article. References should be written according to following examples.

**Article:**

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices, *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Öztürk Ö. 2017. A Different Solution Method for the Confluent Hypergeometric Equation, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2): 215-224.
3. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) Ietswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) Ietswaart from Turkey, *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

**Book:**

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler*, Literatür Yayınları, 1004s. İstanbul.
2. Demirsoy A. 1999. *Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası "Hayvan Coğrafyası"*. Meteksan Yayınları, 965s. Ankara.

**Book Chapter:**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. in *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Edited by Davis PH, Vol.5, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams, in *Developments in Hydraulic Engineering 2*, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd. Essex, UK, 153-173.

**Symposium Proceeding:**

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes, 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, pp1168-1169, 3-7 Eylül, İzmir.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1<sup>st</sup> International Eurasian Ornithology Congress 8-11 April, Abstract Book, 63s. Antalya.

**Web sites:****If the author name and date are known:**

1. Senel F. 2006. *Kirim-Kongo Kanamalı Atesi*. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Access Date: 21.01.2007).

**If the author name and date are unknown:**

1. *Biyolojik çeşitlilik 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği*, <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Access Date: 15.01.2007).

**Thesis:**

1. Kursat M. 2010. *Türkiye’de Yetisen Artemisia L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, PhD Thesis, 348s, Elazığ.

**Anonymous:**

1. Anonymous, 1990. *Sulak Alanların Korunması*. Dogal Hayati Koruma Dernegi, 93s. İstanbul.

**Figures and Tables:** Images like photos, pictures, drawings, and graphs should be given as figures. Figures should be clear and appropriate for press. All figures should be given within the text. Figures should not exceed the size of 16x20 cm. Pixel based figures should be minimum of 600 dpi. All tables and figures should be numbered (e.g. Table 1, Figure 1), and should include a title and legend. There should be no period or comma after the legend. The titles should be centered and in 10 font size. Tables and figure titles should be placed above the table and below the figure, respectively.

**Units:** All units should be given according to SI (International System of Units).

### **Final Check List For Articles Accepted For Publication**

- All margins are 2.5 cm.
- Paragraphs are single spaced.
- Article titles (Turkish and English) are bold and in 14 font size with capitalized first letters.
- Main section titles are bold and in 11 font size with capitalized first letters.
- Subsection titles are bold and in 11 font size and only the first letter of the first word is capitalized.

# BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAYIN İLKELERİ

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından yılda iki defa yayımlanan *Fen Bilimleri Dergisi*, Temel Bilimler ve Mühendislik alanlarında özgün araştırma makaleleri, derleme ve teknik not yayımlamaktadır.

Dergide yayımlanacak makalelerin yazım dili Türkçe veya İngilizce'dir. Makalelerin benzerlik oranı %25'i geçmemelidir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden önce düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle, derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Makaleler şekiller ve tablolar dâhil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Makalelerin dergide yayımlanabilmesi için hakemler tarafından olumlu görüş bildirilmesi gerekmektedir. Dergi Editör Kurulu, hakem raporlarını (*iki hakemin değerlendirmeleri geldikten sonra*) dikkate alarak makalelerin yayımlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir.

Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayın haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne verdiklerine dair **Telif Hakları Formu**'nu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu bilgiler aşağıdaki DergiPark sistemi, e-posta adresi veya posta adresi ile editörlüğe gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

## Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü

Bitlis Eren Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE  
E-posta : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)  
Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>



Makale No/Article ID: .....

**B.E.U.**  
**FEN BİLİMLERİ DERGİSİ**  
**Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form**

[Makale Adı / Article title]

.....  
.....  
.....

Başlıklı makalenin telif hakkından feragat etmeyi/ettiğimizi, makalenin telif hakkının Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne devredildiğini ve Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayımlanabilmesi konusunda yetkili kılındığını kabul eder ve imza ederiz.

Ayrıca, adı geçen makalenin tüm içeriği konusunda tüm sorumluluk yazar/yazarlara ait olup, makalenin içeriği konusunda doğabilecek sorunlardan Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü sorumlu değildir.

**Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor:** (Sorumlu yazar/Corresponding author\*)

<u>Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names</u>	<u>İmzası / Signature</u>	<u>Tarih / Date</u>
1 .....		
2 .....		
3 .....		
4 .....		
5 .....		

**NOT:** Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Form doldurulup imzalandıktan sonra online veya e-posta yoluyla gönderilmelidir:

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)



Article ID: .....

**BEU**  
**JOURNAL OF SCIENCE**  
**Copyright Transfer Form**

We, the authors of the manuscript entitled

---

---

---

relinquish our copyrights on the manuscript in favor of BEU Graduate School of Science. Hence, we, the authors, accept and signs for this copyright transfer which includes but not limited to granting the right to publish the manuscript to the Editorial Board of BEU Journal of Science.

Nevertheless, we, the authors, retain all responsibilities regarding the manuscript. The Editorial Board of BEU Journal of Science cannot be held responsible for any conflict due to the content of the manuscript, by any means.

**All authors must sign:**

Authors' Full Names	Signature	Date
1. _____	_____	_____
2. _____	_____	_____
3. _____	_____	_____
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

(Add additional lines if needed. Corresponding author should be indicated by “\*”.)

In case of absent signature, signing authors will be responsible. Filled and signed forms should be sent online or by email.

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)