

TC  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

Yıl: 2024  
Sayı:37

CİLT I  
SOMA

TC  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

**Sahibi:**

Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN  
Yönetim Kurulu Adına  
MCBÜ Soma MYO

**Baş Editör:**

Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN

**Editörler:**

Öğr. Gör. Fırat TEKİN  
Öğr. Gör. Fatih SUVAYDAN

**Yayın Kurulu:**

Prof. Dr. Ayşe ÖNDÜRÜCÜ  
Prof. Dr. Mete HANÇER  
Prof. Dr. Ahmet YILDIZ  
Prof. Dr. Haluk ÇELİK  
Doç Dr. İsrail ŞABİKOĞLU  
Doç Dr. İlker Çetin KESKİN  
Doç Dr. İbrahim AYDIN  
Doç Dr. Ali YURDDAŞ  
Doç. Dr. Ahmet Ali KUMANLIOĞLU  
Dr. Öğr. Üyesi Ayla TEKİN  
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Berkant SELEK  
Öğr. Gör. Dr. Mustafa Oğuz NALBANT  
Öğr. Gör. Dr. Gökben GÜLER

**Sekreter:**

Öğr. Gör. Dr. Mustafa Oğuz NALBANT  
Öğr. Gör. Ahmet Fethi ÇAKMAK

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi  
yılda iki sayı olarak yayımlanan ulusal hakemli bir dergidir.**

TC  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

**BU SAYIDAKİ HAKEM KURULU:**

Doç. Dr. Nazlı SAVLAK  
Dr. Öğr. Üyesi Deniz KARATAŞ  
Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim YAMAÇ  
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Suat DELİBALTA  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin USLU  
Dr. Öğr. Üyesi Saim KURAL  
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Aksoylu ÖZBEK  
Öğr. Gör. Dr. Burak Emre YAPANMIŞ  
Araş. Gör. Ali TAŞKIRAN  
Araş. Gör. Hüseyin Saygın PORTAKAL

**Dergide yayınlanan tüm makaleler ve ileri sürülen görüşlerde, sorumluluk yazar ve hakemlere aittir.**

**İletişim Adresi:**

Fırat TEKİN  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Soma Meslek Yüksekokulu, Soma-Manisa /TÜRKİYE  
Tel: 0 236 612 00 63  
Fax: 0 236 612 20 02  
e-mail: [somamyo-dergi@cbu.edu.tr](mailto:somamyo-dergi@cbu.edu.tr)  
[firat.tekin@cbu.edu.tr](mailto:firat.tekin@cbu.edu.tr)

TC  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

## **İÇİNDEKİLER**

**1- KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMASI İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE KENDİLİĞİNDEN YANMA TESTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Mustafa GÜNDOĞAR .....1-14

**2- İNSANSI ROBOTLARDA KAS İSKELET MODELİ YAKLAŞIMI**

Hikmet İMAMOĞLU , Süleyman Murat BAĞDATLI .....15-29

**3- FARKLI DUVAR MODELLERİNDE CAM YÜNÜ YALITIM MALZEMESİNİN ISI YÜKÜ ÜZERİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Taylan Gazi ÜREGEN.....30-37

**4- REVIEWING THE OPTIMAL CONDITIONS FOR EFFICIENTLY HARNESSING THE PHYTOTHERAPEUTIC POTENTIAL OF THE INVASIVE CARPOBROTUS EDULIS (L.) N.E. BR PLANT THREATENING PLANT DIVERSITY**

Nil SAZLI, Deniz KARATAŞ .....38-49

**5- BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN ENKAPSÜLASYONU VE ET VE ET ÜRÜNLERİNDE UYGULAMALARI**

Tuba NURİLER, Aytunga BAĞDATLI.....50-60

**6- Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu**

**Teknik Bilimler Dergisi Yazım Kuralları.....61-62**

# KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMASI İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE KENDİLİĞİNDEN YANMA TESTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mustafa GÜNDOĞAR<sup>1</sup>

Accepted: 2024-07-17  
DOI: 10.47118/somatbd.1493739

## ÖZET

Kömür'ün kendiliğinden yanma olayını "kömür ve oksijen bir araya geldiğinde ısı veren bir tepkime oluşur. Açığa çıkan ısı uzaklaştırılmadığında kömür sıcaklığında artış meydana gelir. Bu işlem kömür kendiliğinden tutuşmaya başlayana dek devam eder." şeklinde açıklamak mümkündür.

Çalışmada kömürünün kendiliğinden yanması ile alakalı güncel literatür taraması yapılmış ve yapılan kendiliğinden yanma testleri incelenmiştir. Yapılan testlerin karşılaştırılması ve farklı kaynaklar aracılığı ile kendiliğinden yanma konusu hakkında bilgiler verilmiştir. Kömür'ün kendiliğinden yanma testlerinin taraması yapılmış aynı zamanda bu testler karşılaştırılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** kömür, yanma, maden, kaynak

## LITERATURE STUDY ON SPONTANEOUS COMBUSTION OF COAL AND COMPARISON OF SPONTANEOUS COMBUSTION TESTS

### ABSTRACT

When coal and oxygen come together, a reaction occurs that gives heat. When the heat released is not removed, an increase in coal temperature occurs. It is possible to explain this as follows: "This process continues until the coal starts to spontaneously ignite."

In the study, current literature on the spontaneous combustion of tamarisk charcoal was reviewed and the spontaneous combustion tests were examined. The tests performed were compared and information about spontaneous combustion was given through different sources. The spontaneous combustion tests were scanned and compared.

**Keywords:** coal, combustion, mine, resource

### 1. GİRİŞ

Kömür, ülkemizde son yıllarda yüksek kullanım miktarına ulaşan bir madendir. En çok kullanılan türü ise taşkömürü ve linyit kömürüdür. Türkiye'de kömür ocaklarının en büyük

---

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Maden Teknolojisi Programı, Manisa, Öğretim Görevlisi, ORCID : 0000-0003-2389-2008.

problemlerinden biri kömürün kendiliğinden yanma ihtimaline karşı önlem alınmamasıdır.

## 2. KENDİLİĞİNDEN YANMA KAVRAMI

Kömür'ün kendiliğinden tutuşması, ilk kez 1604 yılında tespit edilmiş ve 1686 yılında bilimsel bir inceleme konusu olmuştur (İnal, Aydın, 2019). Mamafih, bu karmaşık yanma reaksiyon yapısı nedeniyle hala tam olarak anlaşılamadığı bilinmektedir. Bu süreçteki belirgin özellikler arasında, bir kez başladıktan sonra geri dönüş olasılığının olmaması, ısı sürüklenmenin devamlılığı ve hem yer üstünde hem de yer altında tespit edilmesinin zorluğu bulunmaktadır. Dolayısıyla, kömürün kendiliğinden yanması, akademik açıdan önemli ve güncelliğini koruyan bir konu olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenlerle çoğu araştırmacı, kendiliğinden yanmanın fiziksel ve kimyasal proseslerini (Kam vd., 1976a,b; Karsner ve Perlmutter, 1982; İtay vd., 1989; Arısoy ve Akgün, 1994; Carras ve Young, 1994; Zhu vd., 2012; Li vd., 2016; Zhou vd., 2017) ve kendiliğinden yanma prosesine etkilerini farklı parametreler kullanılarak araştırmış (Smith ve Glasser, 2005; Beamish ve Arısoy, 2008; Yuan ve Smith, 2011; Qi vd., 2015) olup konu ile ilgili çalışmalara ilgi devam etmektedir. ve konu üzerine yapılan araştırmalara ilgi sürmektedir.

Madencilik literatüründe, kömürün yavaş oksitlenme süreciyle kendiliğinden ısınması ve ardından ısı birikimiyle açık alevli yanmaya dönüşmesi durumu, "kendiliğinden yanma" olarak adlandırılmaktadır. Bu olay, özellikle linyit gibi düşük kaliteli kömürlerin madencilik faaliyetlerinde sıkça karşılaşılan bir özellik olarak bilinmektedir (Feng, 1985; Smith ve Lazzara, 1982). Derin, grizulu, grizusuz, linyit, antrasit gibi çeşitli madencilik koşullarında otomatik yanma olayının gerçekleşme ihtimali bulunmaktadır. Kendiliğinden yanma, ekipmanlara zarar veren, üretim faaliyetlerini engelleyen ve maden ocağının sürekliliğini ve büyümesini olumsuz etkileyen bir durumdur. Kömür, oda sıcaklığında ve normal atmosferik koşullarda oksijenle temas ettiğinde, oksijen emilimi gerçekleşir ve ısı, havalandırma olmadığı takdirde ortamda birikir. Bu durum, kömür sıcaklığında sürekli bir artışa neden olur (Şekil 1). Artan sıcaklık, oksitlenme sürecini hızlandırır ve bu mekanizma kontrol edilemez hale geldiğinde, açık alevli yanma meydana gelir (Karpuz ve ark., 1985,1986).

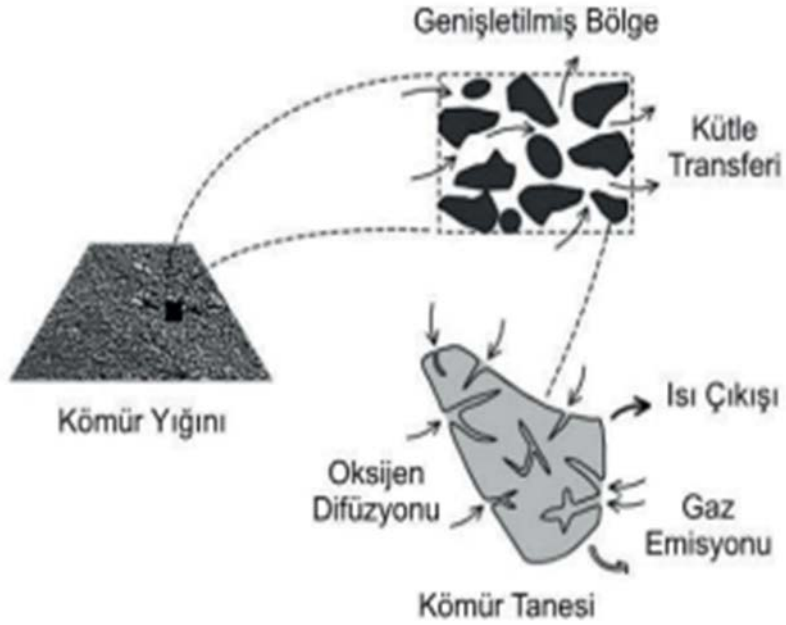
Kendiliğinden yanmayı etkileyen başlıca faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler kömür yapısı ve çevre koşulları ile doğrudan bağlantılıdır (Tablo 1).

**Tablo 1.** Kendiliğinden yanmayı etkileyen kritik faktörler (Singj,1986)

KÖMÜR YAPISI	ÇEVRE KOŞULLARI	
	JEOLJİK YAPI	MADENCİLİK UYGULAMASI
1.Düşük ranklı 2.Yüksek nemli 3.Yüksek piritli 4.Kırılganlığı yüksek	1.Kömür damarlarında faylanmalar 2.Zayıf ve bozulmuş formasyonlar 3. Düşük kalite kömür bantları içeren kalın kömür damarları 4. Sığ damarlar 5.Biribirine yakın birden fazla damar	1. Göçükte kömür kaybı 2.Gerilme boşalması 3.Sığ damarlarda tasman nedeni ile yüzey ile bağlantı 4.Kalın damarlarda göçerime yöntemi ile ile üretim, damarda kısmi üretim 5. Havalandırmada anormallikler
	Kontrolü olanaksız	Kontrolü olanaklı

Nemi yüksek kömürler kendiliğinden yanma konusunda daha büyük riske sahiptir. Yine kömürün içinde pirit bulunması da kendiliğinden yanmayı doğru orantıda etkiler. Kendiliğinden yanma tespit edilirken bazı yöntemler kullanılır. Laboratuvarlarda kömürlerin kendiliğinden yanması incelenirken 5 yöntem kullanılır;

1. Adiyabatik oksidasyon metodu,
2. Tutuşma sıcaklığı metodu,
3. Statik izotermal (oksijen adsorbsiyon) metodu,
4. Dinamik oksidasyon metodu,
5. Kimyasal metodudur.



Şekil 1. Oksidasyon aşamaları (Wang vd., 2003)

## 2.1. Kendiliğinden Yanma Olayı Hakkında Teoriler

Bazı araştırmacılar kömürün kendiliğinden yanmasının fiziksel özelliğinin yanında kimyasal özelliklerini de incelemiş ve farklı teoriler ortaya çıkarmışlardır. Bu teoriler 4 tanedir.

1. Pirit Teorisi: Kömürlerin yapısında bulunan piritin kimyasal tepkime ile meydana gelen sıcaklık dolayısı ile kendiliğinden yanma durumunun ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Yüksek oksijen ve nem değerlerine sahip bölgelerde, ince taneli ve %5 ila %10 arası pirit içeriğine sahip kömürlerin, kendiliğinden yanma eğilimini daha düşük sıcaklıklarda (50 °C'nin altında) artırdığı belirtilmiştir. Bu durum, pirit içerisindeki kükürdün oksidasyonu ile açığa çıkan ısıyla ilgilidir (Qi, 2011). Piritte bulunan kükürdün oksidasyona uğraması sonucunda oluşan sıcaklığın, kendiliğinden yanma reaksiyonunun %10'una denk olabileceği üzerinde vurgu yapılmıştır. Bu bulgular, kömür madenciliğinde kendiliğinden yanmanın anlaşılmasında ve önlenmesinde önemli bir role sahiptir (Wang, 2003).

2. Bakteri Teorisi: Bazı araştırmacılar da kömürün kendiliğinden yanma olayının yapısındaki bakteriler kaynaklı olduğunu savunmuşlardır.

3. Oksidasyon Teorisi: Teoriler arasında en çok onaylanan teoridir. Kömürlerin hava ile temas etmesinden kaynaklı farklı sonuçlara ulaşılmıştır.

4. Nem Teorisi: Bazı çalışmalarda kömürlerin nem oranının ile sıcaklığının arasında doğru orantı olduğu tespit edilmiştir. Kuru iklimlerde kömürün kendiliğinden yanması daha seyrek görülmektedir (Eroğlu, Gouws, 1993).



## 2.2. Kendiliğinden Yanmanın Erken Tespiti

Kömürün otomatik olarak oksijen ile reaksiyona girmesi sonucunda gerçekleşen kızışma olaylarının mümkün olduğunca erken belirlenmesi, ortaya çıkabilecek zararları en alt düzeyde tutabilmek açısından önemlidir. Sıcaklık arttıkça oksidasyon ve gaz çıkışı hızlanmakta bununla birlikte olayın ileri aşamalarında sorunlar ağırlaşmaktadır. Bu nedenle olayın erken tespiti ve gelişmesini sınırlandırmak için gerekli tedbirlerin alınması önem taşır. Bu amaca yönelik izleme ve değerlendirme çalışmalarında esas alınan ölçütler, üç ana başlıkta toplanabilir. (Kaymakçı, Toroğlu, Yılmaz, 2021)

- **Koku**

Oksidasyonun başlamasından itibaren yangınının duyu organlar tarafından hissedilmesi günler bazen de haftalar sürebilmektedir. Bu geçen süreye kuluçka ismi verilmektedir. Koku meydana gelmesinden itibaren ise asıl yangın zamanı başlar ve kısa sürede alev alabilir. Koku alınmaya başlandığı vakit yangına müdahale etmek için çok geç olabilmektedir.

- **Sıcaklık Artışı**

Saraç (1992) konu ile ilgili olarak; “Oksidasyon ekzotermik reaksiyondur. Bu nedenle kızışmanın en belirgin göstergesi sıcaklık artışıdır. Ancak sıcaklıktaki ilk değişimler kızışan ortam çevresi ile sınırlı kalmakta, havalandırma havasındaki sıcaklık artışları çok daha ileri aşamalarda gözlemlenmektedir. Ayrıca kızışmanın ilk aşamalarındaki sıcaklık artışları kolayca seyreltilmekte, ısısal sensörler etkilenen alana çok yakın yerleştirilmedikçe, sıcaklıkta kayda değer değişimler fark edilememektedir. Yangına karşı erken uyarı sistemlerinde kullanılan sensör tiplerinden birisi ocak havasındaki sıcaklık değişimini esas alan sensörlerdir. Ancak sıcaklık artışının etkili bir şekilde izlenebilmesi için çok sayıda sensörün ocak boyunca ve özellikle şüpheli bölgelere çok yakın yerlere yerleştirilmesi gerektiğini” vurgulamaktadır.

- **Yanma Gazları**

Kömürün kendiliğinden yanma düzeneğinin araştırıldığı laboratuvar çalışmaları sonucunda oksidasyonun başlangıcından sonuna dek her anında farklı gazların ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır. En erken oluşan gaz karbonmonoksit olup 30-40 °C sıcaklıklarda dahi ölçülebilmektedir. Bu değer hidrojen için 80-100 °C propilen gazı için ise 150 °C civarındadır (Saraç 1992, Ökten vd. 1998)

## 3. KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIĞININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN LABORATUVAR YÖNTEMLERİ VE RİSK İNDEKSLERİ

Kömürler kendiliğinden yanmaya yatkınlığına genel olarak üç faktörün etkisi vardır. Bu etkenler kömür faktörü, jeolojik faktör ve madencilik faktörüdür.

Bhattacharya (1982), kendiliğinden yanmanın toplam riskinin, bu üç faktöre ait sayısal değerlerin birbirleriyle çarpılarak bulunabileceğini ifade etmiştir.

Buna göre;

Toplam Risk = Kömür Faktörü x Jeolojik Faktör x Madencilik Faktörü (Eşitlik 1) şeklinde ifade edilmiştir (Kaymakçı 1998).

Kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları açısından kömürleri değerlendirmek amacıyla farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen ve literatürde ayrıntılı olacak şekilde tanımlanmış olan bu yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Kaymakçı, 1998)

- Doğrudan gözlemler
- Kimyasal yöntemler
- Statik İzotermal Yöntem
- Dinamik Yöntemler
- Adyabatik Oksidasyon Yöntemi
- Tutuşabilirlik Yöntemi
- DTA (Differential Thermal Analysis) Yöntemi
- Olpinski Yöntem

#### **4. DENEYSEL YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI KONUSUNDA DÜNYA ÇAPINDAKİ ARAŞTIRMACILARIN GÖRÜŞLERİ**

Hodges ve Acherjee (1966), Bu iki araştırmacıya göre daha önce yapılan çalışmalara ait eleştirilerin en yaygını deneysel koşulların uygulamadaki koşullardan uzak olmasıdır. Bundan dolayı şu an yapılan çalışmalar izotermal kalorimetreyi haklı çıkarmaktadır.

Banerjee ve Chakravorty (1967), “Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığının saptanması için DTA’lardan elde edilen termogramların dikkatli bir şekilde incelenmesi faydalı olacaktır.”

Güney ve Hodges (1969), “Adyabatik yöntem, kömürün kendiliğinden yanması esnasında meydana gelen reaksiyonların incelenmesinde uygun bir teknik olmaktadır.”

Banerjee vd. (1972), “Her ne kadar, yöntemlerin çoğunluğu kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığını saptamada, değişik açılardan güvenilir olsa bile, yöntemlerin hiçbiri başlı başına kendiliğinden yanmada etkili olan parametrelerin hepsini (örneğin; oksijen tüketimine yatkınlığı, ısının birikme özelliklerini, kırılabilirliği vb.) dikkate alamamaktadır. Bu nedenle, kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının derecesi bir tek deneyden veya bir grup deneyin kullanılmasıyla bile doğru bir şekilde saptanamaz.”

Nandy vd. (1972), “Kesişme noktası sıcaklığı yöntemi, çeşitli Hindistan kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırılmasında geçerli bir indeks olarak kullanılabilir.”

Bagchi (1972), “Şimdiye kadar laboratuvarlarda kömürün kesişme noktası ve devamında

tutuşma noktası sıcaklığının saptanması ile göreceli olarak kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığını saptamak olanaklı olmuştur.”

Kim (1977), “Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının saptanmasında kullanılan çeşitli yöntemler olmasına rağmen, hiçbiri diğerinden açık bir üstünlüğe ve genel bir kullanıma sahip değildir.”

Cudmore ve Sanders (1984), “Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının önceden saptanabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Kömürlerin adyabatik koşullar altında kendiliğinden yanmasının incelenmesi belki de en iyi yöntem olmasına rağmen deney süresinin uzun olması nedeniyle sıkça başvurulan bir yöntem değildir.”,

Feng (1985), “Oksijen tüketimi tekniklerinden elde edilen karbonmonoksit oksijen azalması oranı ( $CO \Delta O_2$ ) kendiliğinden yanmaya yatkınlığın en iyi göstergelerinden birisidir. Bu da statik izotermal yönetime işaret etmektedir.” (Bilen ve Kaymakçı, 2023)

## 5. TÜRKİYEDE YAPILMIŞ KENDİLİĞİNDEN YANMA TESTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Delibalta, Gündoğar, 2020 tarihli Ilgın Linyit İşletmesinde Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Risk Analizi” isimli çalışmalarından” Ilgın linyit işletmesindeki 5 farklı üretim noktasından alınan temsili kömür numunesi üzerinde yapılan kendiliğinden yanma deney sonuçlarına göre; kesişim noktası değerleri çok fazla bir sapma göstermemiş olup, genelde tutuşma sıcaklığı 195-234 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Laboratuvar test sonuçlarına göre; yangına yatkınlık indeksleri 2,73-3,73 arasında, risk düzeyi ise “düşük-orta” seviyede tespit edilmiştir. Ayrıca; yapılan TG/DTA analizlerine göre, işletme kömürleri başlangıçta 0-200 °C arasında nemini atarak endotermik reaksiyon göstermiş, daha sonra 200-300 °C arasında hızlı bir artış göstererek ekzotermik reaksiyon göstererek, kömürün ortam sıcaklığına bağlı olarak oksidasyona uğradığı ve kendiliğinden yanma meydana getirebileceği gözlenmiştir” bulgusunu çıkarmış ve bilimsel tespitler ile destekleyerek konu hakkında bilgi vermişlerdir.

Axundov, 2021 tarihli “Bir Yeraltı Kömür Madeninde Kömürün Kendi Kendine Yanmasına Etki Eden Parametlerin Analizi “isimli çalışmasında “ (E2K2) istasyona ait karbondioksit ( $CO_2$ ) konsantrasyonu ortalama 0,12 % iken yanma zamanı değerler artarak en fazla % 0,5'e yükselmiştir. Ortalama oksijen ( $O_2$ ) %20,8 iken diğer gazların değerlerinin artmasıyla birlikte azalarak %20,5 değerine düşmüştür. Karbonmonoksit ( $CO$ ) miktarı, ortalama 0 ppm gösterirken yanma gerçekleştiğinde 500 ppm'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Aynı istasyona bulunan tehlikeli gaz değerlerinden olan metan ( $CH_4$ ) max. %0,3 değerine yükseldiği gözlemlenmiştir. Ölçülen gaz oranları, Graham (2,1) ve benzeri oranların artması yangın oluşumunu tetiklemektedir. Netice itibarıyla yeraltında gaz oranları bilgisi sahibi olmak, kendiliğinden yanmanın tespitinde önemli parametreler olarak görülmektedir. Yapılan hesaplamalar, ölçümler, gözlemler ve işletme tarafından paylaşılan bilgiler yoluyla kendiliğinden yanmanın olduğu anlaşılmıştır” tespiti çıkarmış ve bilimsel tespitlerle destekleyerek konu hakkında bilgi vermişlerdir.

Yörük 2021 tarihli, “Kömürün Kendi Kendine Isınmasının ve Tutuşmasının Modellenmesi, Simülasyonu ve Deneysel İncelenmesi” isimli Doktora tezinde, Kömürün madencilik ortamlarında kendi kendine ısınması ve yanması sürecinin, önceden tahmin

edilebilmesi günümüzde tam olarak çözümlenmemiş bir sorundur. Bu durumu etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Özellikle kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığı veya reaktivitesi ile içerdiği doğal nem miktarı, bu sürecin en belirleyici parametreleridir. Bu tez kapsamında, madencilik ortamına mümkün olduğunca yakın şartlarda, kömürün kendi kendine ısınma ve yanma süreçleri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, kömürdeki nemin etkisi de dahil olmak üzere birçok parametreyi hesaba katan yeni bir model geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar için adyabatik fırın ve termo-denge deney düzenekleri üretilmiştir. Geliştirilen kontrol algoritması ile düşük sıcaklıklarda adyabatik ortam sağlanarak, 0.1°C'ye kadar hassas deneyler gerçekleştirilmiştir. İşletmelerden sağlanan ve kısa bir analizden geçirilen numuneler üzerinde önce R70, ardından kuluçka deneyleri yapılmıştır. R70 deneyi sonucunda, çok riskli olarak sınıflandırılan A numunesinde kuluçka deneyinde 40 saatlik bir ısıl sürüklenme gözlemlenmiştir. Ancak riskli olduğu düşünülen B numunesinde, özgün nem içeriğinin buharlaşma süreci sıcaklık artışını baskıladığı ve ısıl sürüklenme gözlemlenmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, kömürün içsel reaktivitesini belirlemede tek başına R70 deneylerinin yetersiz olduğu ve nem etkileşimlerinin daha derinlemesine incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Kömürün kendi kendine yanmasını belirleyen faktörler arasında, oksidasyon ve buharlaşma arasındaki ısı dengesi önemlidir. Bu nedenle, modelde reaksiyon kinetiği ve buharlaşma/nem çıkışı kinetiği detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Fiziksel modelde, adyabatik fırın koşulları temel alınmıştır. Bu çalışmada, yaşlanma etkisi de dahil edilmiş, yeni reaksiyon kinetik modeli önerilmektedir. Önerilen model için gerekli deneysel olarak gerekli parametrelerin nasıl elde edileceği açıklanmıştır. "Kuruma – nem çıkışı kinetiği" terimi, temel kütle taşınım denklemlerine dayanarak ve tek moleküllü seviyede bağlı nemi de içerebilecek durumda yeniden düzenlenmiştir. Gerekli parametreler, Reynolds sayısının sıfıra yaklaştığı durumlarda küre çevresinde akış maksadıyla geçerli olan kütle hareketi bağıntıları kullanılarak hesaplanmıştır (Yörük, 2021). Tez çalışmasının simülasyon kısmında, en başta tavsiye edilen tepkime kinetiği modeli, R70 deneylerinin sonuçlarıyla netleştirilmiştir. Kuruma kinetiği modelinin sağlaması yapılması için ise thermo-balance deneyi ile lazım olan ölçütler 80'de elde edilmiş ve öteki sıcaklık ve akış hızlarında elde edilen model sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Önerilen teorik ifadeler, deneysel olarak ölçülen verilerle oldukça başarılı bir uyum içindedir. Geliştirilen simülasyon programı, kömür numuneleri için gerçekleştirilen kuluçka deneylerinin simülasyonunu başarıyla gerçekleştirmiştir. İçsel reaktivitesi yüksek olan A numunesi için modelin artan ısının kömürün daha fazla ısınması zamanı ve kendiliğinden ısınma eğrisi tahmini, deneysel sonuçlarla oldukça uyumludur. Daha emniyetli olarak tanımlanabilecek, düşük tepkimeye ve fazla nem içeriğine sahip B numunesinin davranışında ise model oldukça başarılı bir şekilde öngörmüştür (Yörük, 2021). Araştırma kapsamında geliştirilen yeni model, kömürün kendi kendine ısınma ve tutuşma süreçlerini teorik ve deneysel olarak inceleyerek, mevcut modellerin ötesine geçmiştir. Modelin ayırt edici unsurlarından biri, thermo-balance ve adyabatik fırın deney seti kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarını yüksek hassasiyetle tahmin edebilmesidir. Bu bağlamda, düşük sıcaklıklarda bile 0.1°C 'ye kadar adyabatik ortam sağlanması, deneylerin doğruluğunu artırmıştır. R70 deneyi ve kuluçka deneyleri kullanılarak kömür numunelerinin reaktivitesi incelenmiş ve kömürün nem içeriğinin bu süreçler üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Özellikle, yüksek risk taşıyan A numunesinde gözlemlenen ısıl sürüklenme, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini göstermektedir. Diğer yandan, B numunesindeki özgün nem içeriğinin buharlaşma süreci, sıcaklık artışını baskılamış ve ısıl sürüklenmenin gerçekleşmediği sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, R70 deneylerinin tek başına yeterli olmadığını ve nem etkileşimlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Kömürün kendi kendine tutuşma sürecini belirleyen oksidasyon ve buharlaşma

arasındaki ısı dengesinin modelde ayrıntılı olarak ele alınması, çalışmanın bilimsel katkısını artırmaktadır. Reaksiyon kinetiği ve buharlaşma/nem çıkışı kinetiğinin detaylı bir şekilde modellenmesi, deneysel verilerle yüksek uyum göstermektedir. Özellikle, düşük reaktiviteye sahip ve yüksek nem içeriği bulunan kömür numuneleri için modelin başarılı tahminler yapabilmesi, tezin pratik uygulamalar için değerini artırmaktadır. Kömürün kendi kendine tutuşma riskinin belirlenmesi ve yönetilmesi konusunda önemli bir adım atmıştır. Geliştirilen model ve yöntemler, haftalarca sürebilecek kuluçka testlerinin kısa sürede tamamlanmasını ve kömür numuneleri için tam bir sıcaklık-zaman değişiminin simüle edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu da, kömür madenlerinde güvenliğinin artırılmasına ve potansiyel yangın risklerinin önlenmesine önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmanın bulguları, kömür madenciliği ve enerji üretimi alanlarında pratik uygulamalara yönelik değerli bilgiler sunmaktadır. Bu tezde önerilen model ve yöntem kullanılarak, kömürün kendi kendine tutuşma yatkınlığının belirlenmesinde en etkili yöntem olarak görülen ve haftalarca sürebilen kuluçka testleri çok kısa bir süre içerisinde tamamlanarak, simüle edilen kömür için tam bir sıcaklık – zaman değişimi elde edilebilir.” bulgusunu çıkarmış ve bilimsel tespitler ile destekleyerek konu hakkında bilgi vermişlerdir. Kendiliğinden yanma kavramı hakkında literatür taraması yapılmış, sonuçlar aşağıdaki Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Literatür tablosu

Yıl	Yazarlar	Çalışma Hakkında
1992	Kaymakçı ve Didari	Zonguldak havzasından iki taş kömür damarı ve garp linyitleri işletmesinden bir linyit damarı üzerinde deneyler yapılmış olup elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.
1998	Unver ve Özözen	Yer üstünde stoklanan kömürlerin oksidasyon sonucu kendiliğinden yanma olayı ve yanma modelleri ele alınmıştır. Kendiliğinden yanmada etkili olan iç ve dış faktörler hakkında bilgi verilmiştir.
2003	Wang ve Dlugogorski	100 °C ‘den düşük sıcaklığın kömürün kendi kendine yanmasından sorumlu olduğu çalışmada belirtilmiştir. Kömür oksidasyonunun kinetik modellemesi yapılmıştır.
2014	Kuzuluk	Çayırhan kömürlerinden hazırlanan stokların kendiliğinden yanma yapıları araştırılmış, 4 adet stok sahası hazırlanmıştır. Aynı zamanda kömürün sınıflandırılması ve özellikleri hakkında da bilgi verilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, Çayırhan kömürlerinin genel olarak 65 °C ‘de kuluçka evresine geçtikleri, ortalama 3 günün sonunda yaklaşık 70-75 °C’de alevli yangınların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

2016	Yılmaz	Kendiliğinden yanma olayının sebep olduğu kayıpların nasıl önlenebileceği çalışmada belirtilmiştir. Aynı zamanda erken tespit ve önlenimin bu kayıpları nasıl en aza indirebileceği konusunda bilgi verilmiştir.
2019	İnal ve Aydınır	Kömürün kendiliğinden yanma mekanizması ve kömürün yapısı detaylı şekilde incelenmiş ,oksidasyon aşamaları hakkında bilgi verilmiş kömürün kendiliğinden yanmasını etkileyen faktörler belirtmiş ve açıklanmıştır.
2020	Şensöğüt ve Ören	Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) içerisinde faaliyet gösteren Çan Linyitleri İşletme Müdürlüğü (ÇLİ), açık ocak ve stoklarından temin edilen kömür örneklerinin kendiliğinden yanma özellikleri, kesişim noktası yöntemiyle belirlenmiştir. Bu örnekler, KDPÜ Maden Mühendisliği Kendiliğinden Yanma Laboratuvarı'na getirilmiş ve çeneli kırıcı ve halkalı değirmen gibi ekipmanlar kullanılarak boyutları küçültülmüş, 75 µm boyutuna getirilmiş ve deneye hazır hale getirilmiştir.
2020	Delibalta ve Gündoğar	İlgın Linyit kömürü hakkında kendiliğinde yanma olayı hakkında bilgi verilmiş olup risk analizi yapılmıştır. İlgın Linyit işletmesinde beş farklı noktadan numune alınmış bu numuneler üzerinde kendiliğinden yanma deneyi yapılmıştır.
2021	Axundov	Kömürün kendi kendine yanma olayının madencilikte en büyük sorunlardan biri olmasından dolayı çalışmada bu yanmanın doğurduğu maddi ve manevi kayıpların azaltılabilmesi için kömürün mekanizması araştırılmış ,oksidasyon mekanizmasının, kendi kendine yanma parametrelerinin, özellikle hava akış ve basınç kayıplarını nasıl etkilediği konusunda bilgi verilmiştir. Aynı zamanda havalandırma parametrelerinin kendiliğinden yanma üzerindeki etkileri araştırılmış, tahmin modelleri hakkında bilgi verilmiştir.
2022	Naktiyok ve Özer	Kömürün kendiliğinden yanma süreçleri termal analiz cihazı ile incelenmiştir. Termal analiz cihazı verilerinden faydalanarak örneklerin ana yanma bölgesi için gerekli enerjileri hesaplanmış aynı zamanda kendiliğinden yanma sıcaklıkları belirtilmiştir.
2023	Kahraman ve Ramazanirend	Kendiliğinden yanmanın erken tespitinde önemli rol oynayan gaz kromatografisi ekipmanının genel tanımı yapılmış ve Polyak Eynez A.Ş. Kınık Linyit İşletmesi'nde sistemin kullanılmasında elde edilen

		avantajlar hakkında bilgi verilmiştir.
2023	Kaymakçı ve Bilen	Kömürün kendiliğinden yanmasını etkileyen faktörler incelenmiş ve hem kömürün kendi yapısının hem de olası dış etkenlerin kendiliğinden yanmaya etkileri belirtilmiştir. Kendiliğinden yanmaya etkisi ilen faktörler hakkında detaylı şekilde bilgi verilmiştir.
2023	Wang ve Li	Üç farklı kömür numunesine ısı işlem uygulanarak nükleer manyetik rezonans (NMR), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve tek eksenli sıkıştırma (UC) testleri aracılığıyla, kendiliğinden yanma sırasında kömür türlerinin gözenek kırılmasındaki değişiklikler tespit edilmiştir.

## 6. SONUÇ

Kömürün kendiliğinden yanma olayı işçi sağlığı ve maden güvenliği adına çok büyük bir problemdir. Bu olayı engelleyebilmek için can ve mal kaybından önce gerekli tedbirler mutlaka alınmalıdır. Özellikle kendiliğinden ısınma problemine önceden müdahale edilmezse yapılan geç müdahale kömürün daha fazla yanmasına ve daha fazla kayıplar yaşanmasına sebebiyet verebilir. Kendiliğinden yanma konusunu etkileyen faktörler dikkate alındığında nem bu faktörlerin içinde oldukça önemli bir faktördür. Nemsiz ortamda ısınma daha kolay sağlanacağı için risk yüksektir.

Kömür kullanım alanı yaygın ve uzun süre kullanılacak bir madendir. Bu madeni kullanmaya devam ettiğimiz sürece kendiliğinden yanma tehlikesi her zaman hayatımızda var olacaktır. Çoğu zaman kendiliğinden yanmanın olmayacağını düşünülüyor eğimi az olan kömür damarlarında dahi yangınlar meydana gelmiştir. Bu konu ile alakalı hem işçi hem de işverene gerekli eğitimler verilmeli ve kayıp en aza indirilmeye çalışılmalıdır. Çalışmada geçen Türkiye de yapılmış kendiliğinden yanma testlerinin karşılaştırılması başlığı bu anlamda önemlidir. Bu testler ile kendiliğinden yanma konusunda yeni bilgiler edinilmiş ve gerekli önlemler alınması konusunda mesajlar verilmeye çalışılmıştır. Bu testler aynı zamanda kömürün hangi ortamda daha kendiliğinden yanma anlamında daha tehlikeli olduğu ve bunu etkileyen faktörler başta olmak üzere birçok ihtimali göz önünde bulundurmıştır.

Sonuç olarak can ve mal kaybına ilişkin risklerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesi için kömür madenlerinde çıkan yangınların sebepleri araştırılmalı titiz bir şekilde bilgi edinilmelidir. Özellikle linyit kömürünün yanma riskine karşı tüm havzalarda risk haritası çıkarılmalıdır. Bu şekilde tedbirler alınarak müdahale yolları belirlenmeli ve sürekli olacak şekilde takip yapılmalıdır. Ancak bu şekilde can ve mal kaybının önüne geçilebilir. Sürekli hale gelecek yöntemler ile hiçbir işçi ekme parası için canından olmayabilir ve ülkemizin yeraltı kaynakları açısından oldukça zengin olan madenlerimiz zarar görmekten kurtulabilir.

## KAYNAKLAR

1. Yörük, B., 2021. Kömürün Kendi Kendine ısınmasının ve Tutuşmasının Modellenmesi, Simülasyonu ve Deneysel İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniveristesi, Doktora Tezi.
2. Axundov, G., 2021. Bir Yeraltı Kömür Madeninde Kömürün Kendi Kendine Yanmasına Etki Eden Parametrelerin Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 49s.
3. Kam, A.Y., Hixson, A.N., Perlmutter, D.D., 1976a. The Oxidation of Bituminous Coal-1. Chemical Engineering Science, 31, 815-819.
4. Kam, A.Y., Hixson, A.N., Perlmutter, D.D., 1976b. The Oxidation of Bituminous Coal-2. Chemical Engineering Science, 31, 821-834.
5. Karsner G.G., Perlmutter D.D., 1982. Model for Coal Oxidation Kinetics. 1. Reaction Under Chemical Control. Fuel,61(1):29-34.
6. Arısoy, A., Akgün, F., 1994. Modelling of Spontaneous Combustion of Coal with Moisture Content Included. Fuel, 73,2, 281-286.
7. Itay M., Hill C.R., Glasser D., 1989. A Study of the Low Temperature Oxidation of Coal. Fuel Processing Technology, 21, 81-97.
8. Carras, J.N., Young, B.C., 1994. Self-heating of Coal and Related Materials: Models, Application and Test Methods. Progress in Energy and Combustion Science, 20, 1-15.
9. Zhu, J., He, N., Li, D., 2012. The Relationship Between Oxygen Consumption Rate and Temperature During Coal Spontaneous Combustion. Safety Science, 50, 842-845.
10. Li, Z., Zhang, Y., Jiang, X., Zhang, Y., Chang, L., 2016. Insight into the Intrinsic Reaction of Brown Coal Oxidation at Low Temperature: Differential Scanning Calorimetry Study. Fuel Processing Technology, 147, 64-70.
11. Zhou, C., Zhang, Y., Wang, J., Xue, S., Wu, J., Chang, L., 2017. Study on the Relationship Between Microscopic Functional Group and Coal Mass Changes During Lowtemperature Oxidation of Coal. International Journal of Coal Geology, 171, 212-222.
12. Feng, K.K., 1985. Spontaneous Combustion of Canadian Coals, CIM Bulletin, 877, 71-75.
13. Smith, A.C. ve Lazzara, C.P., 1987. Spontaneous Combustion Studies of U.S. Coals, Bureau of Mines Report of Investigation, RI 9079.
14. Karpuz, C, Bölükbaşı, N., Paşamehmetoğlu, A. ve Gürhan, A., 1985. Silopi Bölgesi Asfaltitlerinin Kaya Mekanığı Parametrelerinin Kesilebilirliğinin, Hidrolik Çatlaklılabirliğinin Araştırılması, TKİ için ODTÜ Ağüdos Raporu, 85-03-05-01-10 no.lu Rapor, 103.
15. Karpuz, C, Bölükbaşı, N., Paşamehmetoğlu, A. ve Gürhan, A., 1986; "GAL Silopi Asfaltitlerinin Gaz İçeriğı, Kendiliğinden Yanma Riski ve Kesilebilirliğinin Araştırılması", Türkiye 5. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 379-391.
16. Singh, R.N., 1986. A Practical System of Classifying Coal Seams Liable to Spontaneous Combustion, J. Col. Qual., 5-3, 108-112.
17. Qi, X., Wang, D., Milke, J.A., Zhong, X., 2011. Crossing Point Temperature of Coal. Mining Science and Technology (China), 21, 255-260.
18. Wang, H., Dlugogorski, B. Z., Kennedy, E. M., 2003. Coal Oxidation at Low Temperatures: Oxygen Consumption, Oxidation Products, Reaction Mechanism and Kinetic Modeling. Progress in Energy and Combustion Science, 29, 487-513.



19. Kaymakçı, E., Bilen, M., Yılmaz, S., 2023. Yeraltı Kömür Madenlerinde Kendiliğinden Yanabilirlik Etüdü ile İSG Uygulamalarının İzlenebilirliğinin Artırılması Projesi, Kömürün Kendiliğinden Yanma Olgusu, 4, 21-24.
20. Saraç, S., ve Soytürk, T., 1992. Tunçbilek Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması, Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 141-152.
21. Ökten, G., Didari, V. ve Şensöğüt C., 1998. Kömürün kendiliğinden yanması ve önlenmesi için alınacak tedbirler, Kömür, Ed. O. Kural, s. 243-255
22. Kaymakçı, E., 1998. Zonguldak Havzası Kömür Damarlarına Uygulanabilecek Bir Kendiliğinden Yanmaya Doğal Yatkınlığı Değerlendirme Tekniğinin Geliştirilmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, 148.
23. Hodges, D.J., Acherjee, B, 1966. A Microcalorimetric Study of the Influence of Moisture on the Spontaneous Heating of Coal, The Mining Engineer, November, 121-131.
24. Banerjee, S.C., Chakravorty, R.N., 1967. Use of DTA in the Study of Spontaneous Combustion of Coal, Journal of Mines Metals and Fuels, January, 1-19.
25. Güney, M., Hodges, D.J., 1969. Adiabatic Studies Spontaneous Heating of Coal, Part 1, Colliery Guardian, February, 217,2,105-109.
26. Banerjee, S.C., Nandy, D.K., Banerjee, D.D., Chakravorty, R.N. 1972. Classification of Coals with Respect to their Susceptibility to Spontaneous Combustion, Trans. Min. Geol. Met. Inst., India, 59,2,15-31.
27. Nandy, D.K., Banerjee, D.D. and Chakravorty, R.N., 1972. Application of Crossing-Point Temperature for Determining the Spontaneous Heating Characteristics of Coals, Journal of Mines Metals and Fuels, 20, 2,41-48.
28. Bagchi, S., 1972. Spontaneous Combustion of Indian Coals, Qrt. J.Geol. Min.Metall Soc., 45, 2, 71-75.
29. Kim, A.G., 1977. Laboratory Studies on Spontaneous Heating of Coal, US Bureau of Mines, IC 8756, 13.
30. Cudmore, J.F. and Sanders, R.H., 1984. Spontaneous Combustion of Coal, Mine Fires and Interpretation of Analyses of Mine Gases-A Literature Review, Australian Coal Industry Research Laboratories Ltd., Published Report 84-10.
31. Feng, K.K., 1985. Spontaneous Combustion of Canadian Coals, CIM Bulletin, 78, 877, 71-75.
32. Delibalta, M., Gündoğar, M., 2020. Iğın Linyit İşletmesinde Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Risk Analizi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2, 1024.
33. İnal, S., Aydın, K., 2019. Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Etkileyen Faktörler, Bilimsel Madencilik Dergisi 2, 146.
34. Şensöğüt, C., Ören, Ö., 2020. Çan Linyitlerinin Kendiliğinden Yanma Yatkınlıklarının Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 603.
35. Wang, H., Dlugogorski, B. Z., Kennedy, E. M., 2003. Coal Oxidation at Low Temperatures: Oxygen Consumption, Oxidation Products, Reaction Mechanism and Kinetic Modeling. Progress in Energy and Combustion Science, 29, 487-513.

36. Kahraman, E. ve Ramazanirend, A., 2023. Yeraltı Madencilğinde Gaz Kromatografi Kullanımı ve Önemi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası 9.Maden Makineleri ve Teknolojileri Kongresi, İzmir.
37. Naktiyok, J., Özer, A., 2022. Termogravimetrik Analiz İle Farklı Kömürlerin Yanma Prosesinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(4), 691-701.
38. Eroğlu, N., Gouws, M. J., 1993. Theories on Spontaneous Combustion of Coal. Scientific Mining Journal, 32(2), 13-18.

# İNSANSI ROBOTLARDA KAS İSKELET MODELİ YAKLAŞIMI

Hikmet İMAMOĞLU<sup>1</sup>, Süleyman Murat BAĞDATLI<sup>2</sup>

Accepted: 2024-07-17

DOI: 10.47118/somatbd.1493355

## ÖZ

Hareket edebilmek eylemi canlılığın bir sonucudur ve en gelişmiş türü ise 2 ayak üzerinde yürüme eylemidir. Belirli uzuvların kendi hareketlerini periyodik olarak tekrarlamasıyla yürüme eylemi meydana gelir. Bu hareket "adım" olarak adlandırılır. Yürüme hareketi adımların tekrarlanmasıyla oluşur. İnsan gövde yapısal tasarımı farklı yaklaşımlar ile günümüz teknolojisine uyarlamaya çalışılmıştır ancak bu yaklaşımlar esnasında teknolojik açıdan bir fark yaratmak isterken bir takım temel gerçekleri ihmal etmişlerdir. Bu çalışmada, insansı yürüme hareketi adımlama biçiminde parçalara bölünerek hareket kabiliyeti ve denge kabiliyeti olarak 2 ye ayrılmış ve matematiksel olarak incelenmiştir. Hareketi sağlayacak ideal bir fiziksel model tasarım gerçekleştirilmiştir. Yürüme hareketinin incelenmesi sonucu ortaya çıkan matematiksel model örnek hareketlerde uygulanarak analiz edilmiş elde edilen grafiksel sonuçlarla yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İnsansı robot, İnsan yürüyüşü, Kas-İskelet Modeli, İnsansı Denge Adımı

## ABSTRACT

The act of being able to move is a result of vitality, and the most advanced type is the act of walking on two legs. The act of walking occurs when certain limbs periodically repeat their own movements. This movement is called a "step". The walking movement is formed by the repetition of steps. Human body structural design has been tried to adapt to today's technology with different approaches, but while trying to make a technological difference during these approaches, they neglected some basic facts. In this study, the humanoid walking motion was divided into parts in the form of stepping and divided into 2 as mobility and balance ability and analyzed mathematically. An ideal physical model design that will provide movement has been realized. The mathematical model that emerged as a result of the examination of the walking movement was applied to the sample movements and analyzed with the graphical results obtained.

**Keywords:** Humanoid robot, Human-gait, Musculoskeletal model, Humanoid balance step

## 1. GİRİŞ

İnsan düşünce sisteminin ve mantık yapısının bir makinanın iş yapabilme kabiliyetleri ile birleşmesinden ortaya çıkacak sonucun muhteşemliği tartışılmayacak bir gerçektir. Bir

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 45140 Manisa,0000-0002-5683-6478

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 45140 Manisa,0000-0002-5152-9604

makinaya, makina olarak sahip olduğu avantajların yanı sıra gerek şeklen gerek zihnen insan gövdesini taklit edebilecek bir tasarım ortaya konulması; bugün “gelişmiş” olarak nitelendirilen tüm teknolojilerin ve idari/siyasi yapıların önemle üzerinde durduğu bir konudur.

İnsansı robotlar; karmaşık bir mekanik yapıya sahip olan, yapay zekâ ile donatılmış robotik sistemlerdir. Bu sistemler, insanların hareket yeteneklerine benzer hareket edebilecek şekilde tasarlanmışlardır. İnsansı robotların geliştirilmesine yönelik süregelen çalışmalar vardır. Teknolojinin ilerlemesiyle çalışmalar hız kazanmış, gerçekleştirilebilirlik açısından bu gelişmeler bilim insanlarına umut olmuştur.

Canlıların temel ihtiyaçlarından biri olarak hareket edebilmek yeteneğini, 2 ayak uzvu ile gerçekleştirebilmek gelişmiş canlılara ait bir özelliktir. Yürüme, bilinçli ya da bilinçsiz olarak yapılabilen, canlının bir yerden bir yere gidebilmesi için gerçekleşen bir eylemdir. [1]. Yürüme eylemi olarak adlandırılan bu süreç, birtakım etkenlere göre değişebilmektedir, bu bağlamda incelenen yürüme hareketi, diğer bütün etkenlerden bağımsız olarak, dengeli ve zamandan bağımsız nizami hareketler bütünüdür.

Hareketlerin incelenmesi ve fiziksel olarak yorumlanması tarih boyunca birçok bilim insanının önemle üzerinde durduğu bir konudur. Eylemleri meydana getiren hareketlerin nasıl gerçekleştiği, etkileri ve sonuçları tüm insanlık adına kabul edilebilir biçimde yorumlara ihtiyaç duymuştur. Yürüme mekaniği, insansı robotlar ve diğer yapay sistemlerin geliştirilmesinde büyük bir rol oynamıştır. İnsanların yürüme sürecini anlamak ve taklit etmek, insansı robotların doğal ve etkili bir şekilde hareket etmelerini sağlamak için önemlidir. Bu alanda yapılan araştırmalar, robotik sistemlerin yürüme becerilerini geliştirmek, dengeyi sağlamak, adaptif adım atma stratejileri oluşturmak gibi konuları ele almıştır.

İnsan gövde yapısının mekanik bir sistem üzerine modellenmesi esnasında sistemin her bir elemanın en yakın karşılıklarının meydana getirilmesi ve doğru bir algoritma ile çalıştırılması gereklidir. Geliştirilen neredeyse tüm iki ayaklı robotlarda uzuvların hareketleri, eklemlerde bulunan motorlar ile sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Robot ve özellikle insansı robot konuları elektronik ve bilgisayar mühendisliklerinin çalışma konuları ile sınırlı kalmıştır, ancak burada mekanik ve dinamik pek çok çalışma vardır. Sensörler ve algoritmalar aracılığıyla bu sorunların üstesinden gelinmeye çalışılsa da hareket eylemlerinin temelinde bir dinamik, bir matematik vardır. Bu bağlamda öncelikle yürüme hareketini mekanik olarak ele almak gereklidir.

## **2. MATERYAL VE METOT**

### **2.1. Yürüme Hareketinin Mekanik Modellemesi**

Yürüme hareketi, birtakım canlıların veya mekanik sistemlerin bir yerden başka bir yere ulaşmak için gerçekleştirdikleri hareket biçimidir. Yürüme hareketi, belirli uzuvların kendi hareketlerini periyodik olarak tekrarlamasıyla meydana gelir. Ortaya çıkan hareket “adım” olarak adlandırılır. Yürüme hareketi adımların tekrarlanmasıyla oluşur. Bu konuda literatürde yapılan bazı çalışmalarda, canlılarda yürüme hareketinin modellenmesi incelenmiş, farklı tipte eğri uydurma yöntemleri ile yürüme hareketinin matematiksel bir formda modellenebileceği görülmüştür [2].

İki ayak üzerinde yürüme eyleminin gerçekleşebilmesi için sistem, belirli zamanlarda tek ayak üzerinde, belirli zamanlarda her iki ayak üzerinde denge şartını sağlamalıdır. Denge şartlarını yerine getiren yürüme hareket fonksiyonları elde edildiğinde bu sürekli fonksiyon matematiksel olarak modellenilebilir ve konum değişimleri incelenebilir [3].

Literatürde yürüme hareketi, periyodik hareketin birtakım aşamalara bölünerek tanımlanmasıyla incelenmiştir. Bu aşamaların her birinin farklı zamanlarda gerçekleşmesinin yanı sıra, süreç boyunca varlığını sürdüren aşamalarda mevcuttur. İki ayak üzerinde yürüme hareketini modellemek için adımlama hareketini aşamalara bölerek mekanik açıdan incelemek gereklidir [4]. Yürüme eylemi, Şekil 1’ de gösterildiği gibi incelendiğinde, denge ve yer değişimi şeklinde modellenmesi ile mümkündür.

**Başlangıç Durumu:** Yürüme hareketi, başlangıç pozisyonunda başlar. Ayaklar veya bacaklar yerde dururken, vücut dengede ve dik bir duruşta bulunur. İlk durumda iki ayak uzvu üzerinde ayakta duran bir sistem için sistemin ağırlık merkezi izdüşümü yere temas eden ayak uzuvları arasında olacaktır.

**Yükleme:** Adımlamanın ilk aşaması, sistem ağırlığını taşıyacak ayağın üzerine sistem ağırlık merkezini taşımaktır. Harekete başlayabilmek için sistem ağırlık merkezini bir ayak uzvu üzerine getirmesi gerekmektedir. Seçilen ayak uzvu sistemi taşıyacaktır. Sistem ağırlığı, seçtiği ayak üzerinde taşınırken, diğer ayağın yerden kaldırılacaktır. Bu noktada ayak taban uzwuna binen yük artacaktır. Yer ile temas etmeyen ayak uzvunun ağırlık merkezinin sisteme etkisini yere temas eden ayak karşılayacaktır.

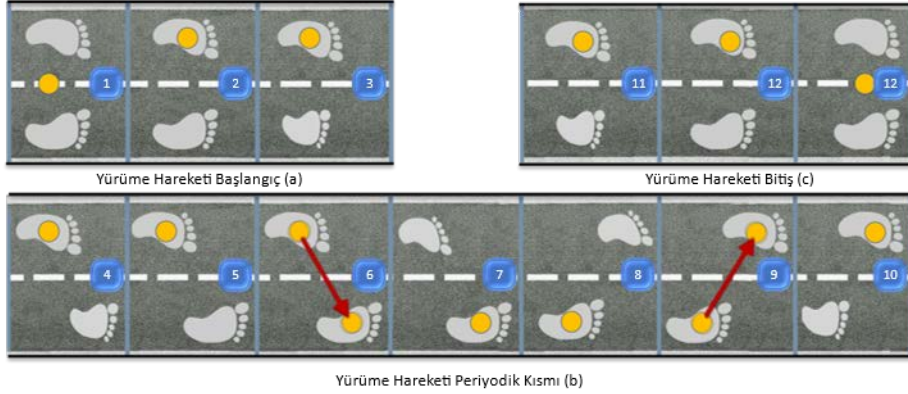
**Adım Atma:** Taşıyıcı ayak sistem ağırlığını taşıırken, diğer ayak sistemin bir sonra ki konumuna ulaşmak üzere hedeflediği koordinat bileşenlerine göre hareketini gerçekleştirecektir. Şekil 1b. ‘de gösterilen yürüme hareketinin periyodik kısmını göstermektedir.

**Dengenin Korunması:** Yürüme hareketi sırasında, mekanik dengenin sürekli olarak korunması çok önemlidir. Dengenin korunması, dış etmenlere veya zeminin eğimine bağlı değişiklik gösterebilir.

**Koordinasyon:** Yürüme hareketi, bacakların ve diğer beden parçalarının koordinasyonunu gerektirir. Ağırlık merkezi diğer ayak noktasına ulaştınca, sistemin ağırlığını başlangıç konumundan farklı bir noktada bulunan diğer ayak taşımaya başlamış olacaktır. Geride kalan ayak elemanı yeni konumuna gitmek üzere hedeflenen koordinata ötelenir.

Yürüme hareketinin dinamik modellenmesi sonucunda iki ayak elemanın farklı referans eksenleri merkezi kabul edildiği birbirlerine göre konum değişimleri ile modellenilebilmektedir. Ağırlık merkezi, sağ ayak tabanı konumu ve sol ayak tabanı konumu ile ifade edilebilen yürüme hareketi Şekil 1’ deki gibi gösterilebilmektedir [5]. Şekil 1. ‘de bulunan Yürüme hareketi Modeli bu çalışma kapsamında özgün olarak çizilmiştir. Yürüme hareketi ağırlık merkezinin iki ayak tabanı arasında bulunması (sistemin ayakta dik durması) ile başlar. Yürüme hareketi başlangıcı ise ayaklardan birinin sistem ağırlığını tek başına taşıması ve diğer ayağın serbest hareket edebilmesiyle Şekil 1a ‘da gösterildiği gibi başlar. Yürüme hareketinin periyodik kısmı, adımlama olarak da adlandırılabilir Şekil 1b ‘de adımlama işlemi gösterilmektedir. Adımlama hareketi sistem ağırlığını seçilmiş bir ayağın taşımasıyla başlar ve

diğer ayağın sistemin bir sonraki adımında ulaşacağı hedef pozisyona ilerlemesiyle devam eder. Serbest ayak hedef pozisyona ulaştığında ağırlığı taşıyıcı ayaktan, hedef pozisyonda bulunan ayağa ötelenir. Harekete devam edilip edilmeyeceği sorgulanarak, eğer adımlama işlemi bitecekse Şekil 1c 'de gösterildiği geride kalan ayak, taşıyıcı ayak ile yatay eksende paralel duruma getirilir. Sistemin ağırlık merkezi izdüşümünü bir ayaktan, iki ayak arasındaki konumuna getirilir.



a) Yürüme Başlangıç b) Yürüme Periyodik Kısmı c) Yürüme Bitiş  
Şekil 3. Yürüme Hareketi Modeli

Sistemin denge merkezi tayini için, bacağın üst ve alt kısmı, bağlantılar için gerekli elemanların tamamı bütünü kütleleri oranında hesaplanmasıyla sistem ağırlık merkezi tayin edilebilir. Yürüme hareketi üzerindeki araştırmalar ve geliştirmeler, insansı robotlar için daha doğal ve etkili yürüme yetenekleri sağlamak üzerine odaklanmaktadır. Ayak tabanı noktaları ve sistem ağırlık merkezi konumlarına göre Tablo 1' deki gibi 3 farklı durumdadır.

TABLO 4. Ağırlık Merkezi Bulunabileceği Durumlar

Ağırlık Merkezi	Gerçek Durum	Denge Durum
Ayak ortasında	Ayaklar yükü birlikte taşır	0
Sağ ayak üzerinde	Sağ ayak tüm yükü taşır	1
Sol ayak üzerinde	Sol ayak tüm yükü taşır	2

İyileştirilmiş Denge Kontrolü; daha gelişmiş hesaplamalı yöntemler, sensörler ve kontrol algoritmalar ile insansı robotların dengelerini daha iyi şekilde korumasını sağlar. Yürüme hareketi için ihtiyaç duyulacak olan temel parçalar ile gerçekleştirilecek bir modelin denge sistemi için mekanik denge sisteminin basitleştirilerek incelemek gereklidir.

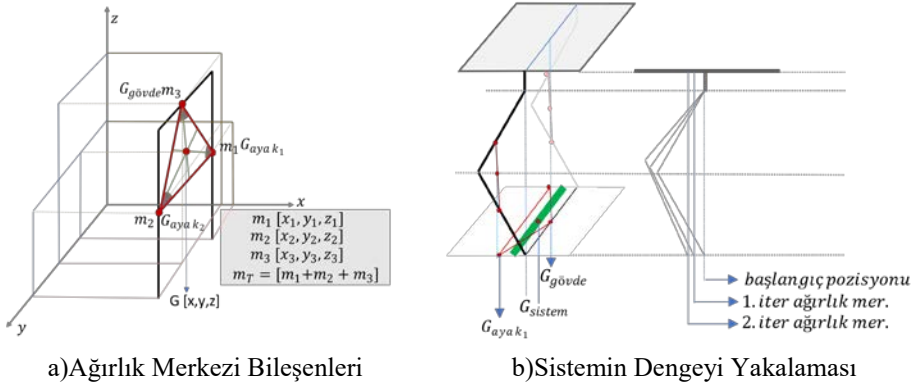
**\*\*Denge ve Hareket Arasındaki İlişki Her Zaman Korunmalıdır\*\***

İnsan gövde yapısı tasarımı yapısal olarak incelendiğinde bu sistemin denge ve hareket kabiliyetleri bakımından davranışları, bütünü oluşturan her bir parçanın sisteme etkisi ile mümkündür [6]. Başka bir deyişle sistemi oluşturan her bir parça sisteme bir etki doğurmaktadır. Bu etkilerin bileşke davranışı sistemin davranışı olarak nitelenebilir. Yürüme

sistemini meydana getiren uzuvlar, sağ bacak, sol bacak ve kalça olarak 3 eleman olarak modellenebilir.

### 2.1.1. Denge

Her parçanın her bir elemanının kendi ağırlıkları, ağırlık merkezi konumları olduğu gibi sistem içerisinde sahip oldukları toplam ağırlığına katılım oranlarıncaya sisteme etkileri de bulunmaktadır. Başlangıç konumunda sistemin dengede kalabilmesi için; başlangıç hedef konumlarının ağırlık merkezi izdüşümü üzerinde kalması gerekmektedir ve başlangıç hedef pozisyonu hesaplanarak bulunur. Adım boyunu belirleyebilmek için başlangıç konumunda ki ayak yüksekliğini kısaltmak amacıyla bacağa bir kırılma açısı verilir [7]. Kırılma esnasında bacağın aldığı pozisyon, ayağın adım atarken ulaştığı en uzun mesafeyi gerçekleştirmesini sağlar. Bu nedenle sistem dik pozisyonda ayakta dururken dizlerine bir açı verir [8].

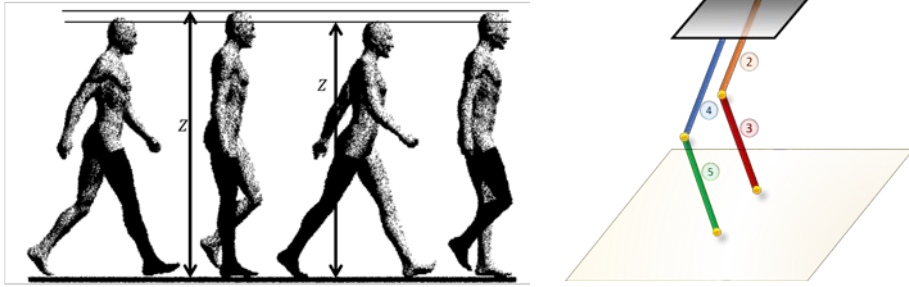


Şekil 2. Yürüme Sistemi Dik Duruş / Denge Pozisyonu

Sistemi taşıyan ayakların konumu; sistem ağırlık merkezinin taban düzlemine izdüşümü ile ayak taban noktalarının statik denge şartını sağladığı pozisyonlarda olması ile bulunur. Ayaklar başlangıç konumunda iken hesaplanan ağırlık merkezi konumunu hedef olarak geldiği durumda, sistemin ağırlık merkezi konumu tekrar değişmektedir. Yeniden hesaplanan ağırlık merkezi konumuna taşınan ayaklar, bu konuma da ulaştığında, yeni bir ağırlık merkezi olacaktır. Sistem üzerinden seçilen elemanların sayısı artırıldığında ise hesaplanabilecek olan ağırlık merkezi konumu hassasiyeti artırılmış olacak ve sistemde bulunan her bir sonlu elemanın sisteme etkisini açıkça hesaplanabilecektir. Sistemi oluşturan elemanların sayısının artırılması Teorik olarak iğne-uçlu ayak modeli mümkün olacaktır [9].

Yürüme hareketi “tekrarlanan adımlardan” meydana gelir. Adım atabilmek için sistem dik konumdan sonra atılacak adımın maksimum uzunluğunu sağlayacak toplam uzunluğu belirlemelidir. Adım boyunu belirleyebilmek için başlangıç konumunda ki ayak yüksekliğini kısaltmak amacıyla sağ bacak, sol bacak ve kalça eklemlerinden meydana gelen sistemin, bacaklarına ilave bir eklem eklenerek kırılma esnasında bacağın aldığı pozisyon ile ayağın adım atarken ulaştığı en uzun mesafeyi gerçekleştirmesi sağlanır [10]. Yürüme hareketini sağlayabilecek en az bileşenli sistem iki parçadan meydana gelen ve iki bacaklı bir tasarımın bir gövde üzerinde birleşmesi ile modellenebilecektir. Bu model tasarım; proje kapsamında

tasarlanarak 5 elemandan meydana gelen tasarım görseli Şekil 3b 'de gösterilmektedir [11].



a)Yürüme Esnasında Salınım

b)Yürüme Model Tasarımı

Şekil 3. Yürüme Sistemi Salınım / Yürüme Hareketi Model Tasarımı

Ayak merkezi konumları sırasıyla  $X_{R_0}, Z_{R_0}, Y_{R_0}, X_{L_0}, Z_{L_0}, Y_{L_0}$ , olmak üzere sistem serbest şekilde bırakıldığında kalça ve ayaklar aynı eksende kalmak üzere başlangıç konumları 0 olacaktır. Sistem gövdesini oluşturan eleman belirli bir “Z” yüksekliğinde bulunduğu, sistem ağırlık merkezi  $G_x, G_y, G_z$  hesaplanabilir. Ayakların merkezlerinin, sistemin devrilmeye karşı dengesi için taban düzleminde ağırlık merkezi izdüşümüne statik denge şartını sağladığı hedef konumlara gelmesi gerekir. Ayak merkez konumlarının hedef noktaya gelmesi; 5 elemandan meydana gelen bir sistem ele alındığında iterasyon sonucunda gerçekleşmektedir. İnsan gövde yapısının iki ayak üzerinde sağa-sola devrilmesi x ekseninde dönme moment dengesi ile, öne-arkaya devrilmesi ise y ekseninde dönme moment dengesi ile mümkün olacaktır [12]. Sistemin her bir hareketi sonucunda ulaşacağı yeni ağırlık merkezi konumu meta-sezgisel olarak hesaplanmalı ve sayısal iterasyon yöntemleri ile incelenmelidir. Mekanik olarak sistem denge durumu göz önüne alındığında tek seferde ayakların denge şartlarını sağlayan doğru konumlarını bulmak, sistemin hızlı ve tek seferde doğru sonuca ulaşması ile sistemin kararlı çalışmasını sağlayacaktır.

### 2.1.2. Hareket

İki ayak zemin ile temas halinde ve sistem ağırlık merkezi iki ayak arasında kalmak kaydıyla; sistemin yapabileceği 3 farklı hareket vardır ve bunlar sistemin ileri-geri sallan, sağa-sola sallan ve diz eklemleri yardımıyla yukarı-aşağı çök-kalk şeklinde olacaktır. Sistemin çözülebilir denklemlerine bu işlemleri yaptırabilmek için sistemin hareket fonksiyonunu  $F(hareket) = [X_R, Z_R, Y_R, X_L, Z_L, Y_L]$  gibi tanımlayabiliriz. Başlangıç pozisyonunun her iki ayak içinde ayrı ayrı 0 olduğu durumda hareket fonksiyonu  $F(hareket) = [0,0,0,0,0,0]$  biçiminde tanımlanabilir.

Ayakların “X” değerlerine pozitif sayılar verilmesi ile  $F(hareket) = [X + x, 0,0, X + x, 0,0]$  eklemi ileri-geri sallan hareketi yapacaktır.

Ayakların “Y” değerlerine pozitif sayılar verilmesi ile  $F(hareket) = [0,0, Y + y, 0,0, Y + y]$  eklemi sağa-sola sallan hareketi yapacaktır. Eğer “y” mesafesi ağırlık merkezi  $G_y$  bileşenine eşitlenirse, sistem ağırlığını tek bir ayak taşıyacaktır.



Ayakların kalça eklemi ile arasında “Z” mesafesi üzerinden ilave bir değerlerine pozitif sayı verilmesi ile sistem dizlerini kırarak ve  $F(hareket) = [0, Z + z, 0, 0, Z + z, 0]$  ayaklar ile kalça eklemleri arasında ki yeni mesafe Z-z olacak şekilde bir hareket gerçekleşecektir.

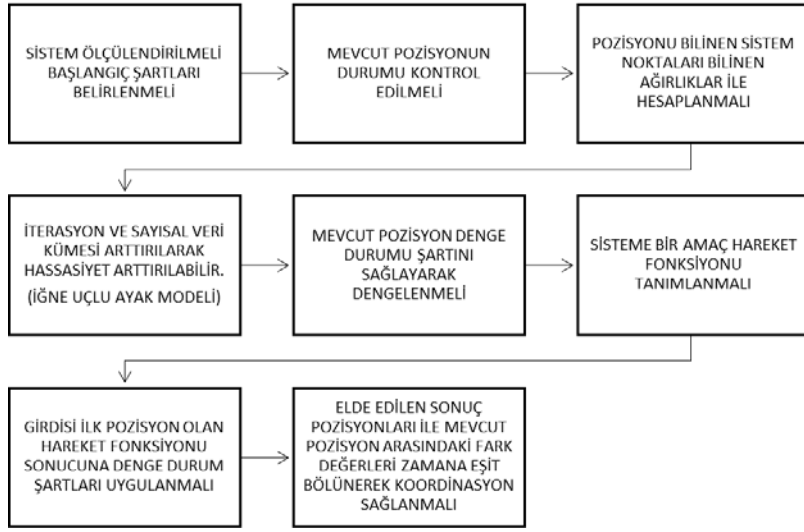
Sisteme seri olarak farklı pozisyonların çözdürülmesiyle sistem her bir konum değeri için pozisyon hesabı yaparak hareketi tamamlamış olur. Sisteme n bileşenli bir pozisyon dizisi tanımlarsak, sistem bu pozisyonları sırayla yerine getirdiğinde istenilen hareket fonksiyonunu gerçekleştirecektir. Bu değerleri sürekli bir biçimde modelleyebilmek için, trigonometrik bir fonksiyon olarak sinüs fonksiyonuna  $f(x) = A \sin(\beta x + \alpha) + B x + C$  gibi modelleyebiliriz. Bu fonksiyondaki değerleri adımlama için  $F(X)$ ,  $F(Z)$ ,  $F(Y)$  değerleri için yerine yazıldığında, sinüs dalga formunun frekansı ve genliği tanımlanabilecektir. Mekanizmanın hareketleri hem sinüzoidal hem de farklı dalga şekillerinde yerine getirmesi gerekecektir. Bu hareketler esnasında gecikme süresi çok önemli olacaktır. Sistemin sensörlerden alacağı verilere göre bu hareketin doğrusal ya da sinüzoidal değerler ile gerçekleştirmesi gerekecektir. Yürüme Fonksiyonu: Yürümek işlemler dizisi bir fonksiyon haline getirildiğinde, periyodik hareketin, istenilen bir anda konum değişkeni tanımlanabilir. Bu değerler denge şartlarına göre sistem ağırlık merkezi izdüşümü hesaplanacak, X ve Y koordinatları seçilen ayak üzerinde olacak şekilde tekrar uygulayacaktır. “D” değerlerini Denge Durumuna bağlı olarak yazdığımızda, ağırlık merkezi Gy değerini sağlayacak “D” değerini sağlayarak denklemleri çözecektir.  $F(Denge_{durum}) = [G_x \rightarrow f(X), G_y \rightarrow f(Y)]$

## 2.2. Mekanizma

İnsan gövde yapısal tasarımı üzerinden, taşıyıcı unsuru olan iskelet sistemini robotik yürüme sistemi olarak modellediğimizde basit bir kinematik zincir olarak 5 elemanlı yapısal tasarımı ele alınabilir. Bu taşıyıcı sistem modeline hareket verebilmek için bir mekanizma tasarımı gerçekleştirildiğinde, insan gövde yapısında bulunan kas yapılarının uzayıp kısılması ile ortaya çıkan bu uzaklık değişimi ile gerçekleştiği görülmektedir. Kas iskelet sistemi modeli üzerinde ilgili kinematik denklemler çözüldüğünde x ekseninde, y ekseninde ve bu eksenlerdeki değişimlere bağlı olarak z ekseninde bir konum değişimi sağlanabildiği ortaya çıkmaktadır. X eksenini ayağın adım atması için gerekli konum değişimini, Y eksenini ayağın adım atma işlemi sırasında platformun dengeleme eksenini belirleyecektir. Burada 2 eyleyici ile 2 eksende istenilen konum değişimi sağlarken Z ekseninde bağlı bir değişim ortaya çıkacaktır. Yürüme esnasında ayak kalça arasında arasındaki dikey mesafe harekete bağlı olarak değişir [13]. Bu değişime salınım adı verilir. Salınım genliği yürüme esnasında taşıyıcı uzuvların uzayda ki konumlarını değiştirir. Taşıyıcı uzuvları bu konumda tutacak kas modelleri yürüme esnasında harcanacak enerjiyi etkiler [14]. Bu bağlı değişimi ilave bir eyleyici ile tatbik edebilir olduğumuzda ayakları istenilen konumlara getirebilecek bir kinematik zincir tasarımı kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Literatürde, yürüme hareketini iki ayak üzerinde gerçekleştirebilecek birçok mekanizma tasarımı üzerine çalışılmıştır [15]. Yürüme hareketini sağlayan mekanizmalar basit bir biçimde 5 elemandan meydana gelen bir sistem olarak tasarlanmıştır, ancak her bir kinematik elemanın mafsalların üzerinde bulundurulmuş eyleyiciler ile tahrik edilmiştir bu model eklem tahrikli olarak adlandırılabilir ve Şekil 4a da gösterilmektedir [16]. İnsansı bir sistemde ise yürüme hareketi, iskelet sistemi üzerinde kurulu başka bir sistem olan kas sistemi ile gerçekleştirilmektedir. İnsansı robotlar özelinde, yürüme hareketini gerçekleştirebilecek





Şekil 5. Sistem Algoritma Şeması

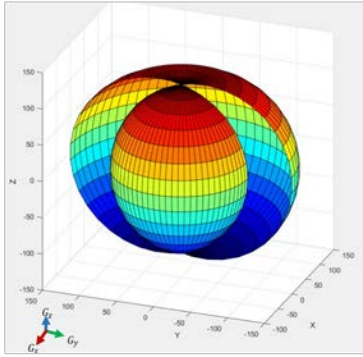
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Çalışma Uzayı Analizi

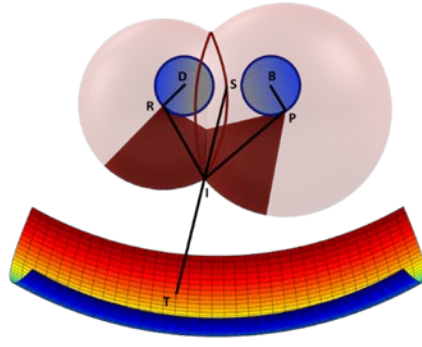
Mekanizmanın hareket kabiliyeti bakımından incelenmesi esnasında, uzayda bulunabileceği konumları incelemek gereklidir.  $\forall K(x, y, z) \in \mathbb{C}.K. olmak üzere; P(a, b, c)$  merkezli PI yarıçaplı kürenin formülü  $(x - P_x)^2 + (y - P_y)^2 + (z - P_z)^2 = PI^2$  gibidir. Bilinen noktaların dönme merkezi olarak uzayda ki konumlarının  $P_x, P_y, P_z$  yerine yazılmasıyla  $(x - R_x)^2 + (y - R_y)^2 + (z - R_z)^2 = RI^2$  halini alır. M merkezli MS uzvunun serbestlik derecesi 1 dir ve  $\omega$  açığı değişimi ile hareket tanımlanabilir. S merkezli ST uzvunun serbestlik derecesi 1 dir ve  $\omega$  açısına dik eksenli  $\theta$  açığı değişimi ile tanımlanır. Yarıçapları  $R = |MS|$  ve  $r = |SI|$  yarıçaplı farklı dönme merkezli geometri bir torus geometrisi  $x^2 + y^2 + z^2 + R^2 - r^2 = 4R^2(x^2 + y^2)$  olarak tanımlanabilmektedir.  $R < r$  Değeri mekanizma için bilindiğine göre oluşacak torus geometrisi Elma içerisinde limon geometrisi biçiminde oluşacaktır.  $R = |MS|$  ve  $r = |SI|$  olacak şekilde yazılır ve denklemin kökleri çözüldüğünde aşağıdaki halini alacaktır.

$$I(x, y, z) = \begin{cases} x(\theta, \omega) = (R + r \cos \theta) \cos \omega \\ y(\theta, \omega) = (R + r \cos \theta) \sin \omega \\ z(\theta, \omega) = r \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

Bu ifadeleri sistem koordinat düzlemine göre uyarladığımızda Denklem 1 elde edilir; bu ifadeler  $[x, y, z] 0 \rightarrow 2\pi$  sayısal olarak çözüldüğünde elde edilen denklem MATLAB programı üzerinde matematiksel olarak çizildiğinde elde edilen çözüm grafiği Şekil 6a da gösterilen Elma içinde Limon geometrili bir Torus olacaktır. Bu geometri MATLAB üzerinde sayısal olarak çözülmüş ve görselleri Şekil 6 da ki gibidir.



(a) Denklemlerin Çözümü



(b) Çalışma Uzayı

Şekil 6. a) Denklemlerin Çözümü, b) Çalışma Uzayı

Torus geometrisinin bir türü olarak ulaşılmaktadır.  $I(x, y, z)$  noktalarını bu şekilde sağlayan değerler almak Denklem 1 şartını sağlayacaktır. Elde edilen geometrinin yürüme hareket modelinde çalışacağı  $+45, -45$  derece için modellenmesi yapıldığında, kalça ekleminde bulunan motorların hareketine göre üst bacak yukarıda ki gibi bir çalışma uzayında çalışacaktır. Bu çalışma uzayı torus geometrisinin bir bölümünü temsil etmektedir.

### 3.2. Adımlama Yürüme Fonksiyonu

Adım atmak için mekanik yürüme modeli uygulandığında ayak ortasında bulunan ağırlık merkezi seçilen bir ayak üzerine alınmış, diğer ayak yerden kaldırılarak ileriye götürülüp farklı bir noktada yere indirilmiştir. İki ayak yerde ve farklı konumlardayken sırasıyla denge durum şartları uygulanarak ağırlık merkezi izdüşümü diğer ayak taban noktasına gelecek şekilde sistem hareket ettirilerek diğer ayağın sistemi taşınması sağlanmıştır.

Arkada kalan ayak yerden kaldırılarak ileriye götürülmüş, ulaşılan yeni konumda yere indirilmiş, iki ayak yer ile temas halindeyken denge durum şartları seçilen pozisyonda olacak şekilde öteleme yapılarak denge durumu korunmuş olacaktır.

İki ayak için verilen her konum değerinde ilave bir parametre olarak denge durumu sorgulandığında sistem her hareketinde denge şartını göz önünde bulundurarak hareketine devam edecektir. Elde edilen yürüme modeli üzerinden sayısal olarak yürüme adım parametreleri tanımlamasını Tablo 2 de ki gibi yazabiliriz.

TABLO 2. Örnek Adım Parametreleri

S o l A y a k			S a ğ A y a k			Denge Durum
A	B	D	A	B	D	
F(A)	0	0	F(A)	0	0	0
F(A)	0	F(D)	0	0	0	1
F(A)	0	F(D)	4 0	15	0	1
F(A)	0	F(D)	8 0	0	0	1
-80	0	0	F(A)	0	F(D)	2
-40	15	0	F(A)	0	F(D)	2
4 0	15	0	F(A)	0	F(D)	2
8 0	0	0	F(A)	0	F(D)	2
F(A)	0	F(D)	-80	0	0	1
F(A)	0	F(D)	-40	15	0	1
F(A)	0	F(D)	0	0	0	1
F(A)	0	0	0	0	0	0
F(A)	0	0	F(A)	0	0	0

Burada her bir ayak için ayrı ayrı olmak kaydıyla;

A: X ekseninde istenilen hedef mesafe miktarı (Adım boyu)

B: Z ekseninde istenilen hedef mesafe miktarı (Çökme)

D: Y ekseninde istenilen hedef mesafe miktarı

F(A): ağırlık merkezi denge koşulu sağlanmış X mesafesi

F(B): ağırlık merkezi denge koşulu sağlanmış Z mesafesi

F(C): ağırlık merkezi denge koşulu sağlanmış Y mesafesi

### 3.3. Tek ayak denge duruna geçiş ve diğer ayağın yerden kaldırılması

İki ayak yere temas halinde durumundan, bir ayak üzerinde denge durumuna geçilmesiyle ağırlık merkezi izdüşümü taşıyıcı ayak temas noktası üzerine aktarılmış olur. Taşıyıcı ayak sistemi taşımaya devam ederken diğer ayağın hareketi sistem denge noktasını etkileyecek. Taşıyıcı ayağın pozisyonunu etkileyecektir. Bunu modelleyebilmek için Tablo 3 de ifade edilen değerleri sisteme uygulayabiliriz.

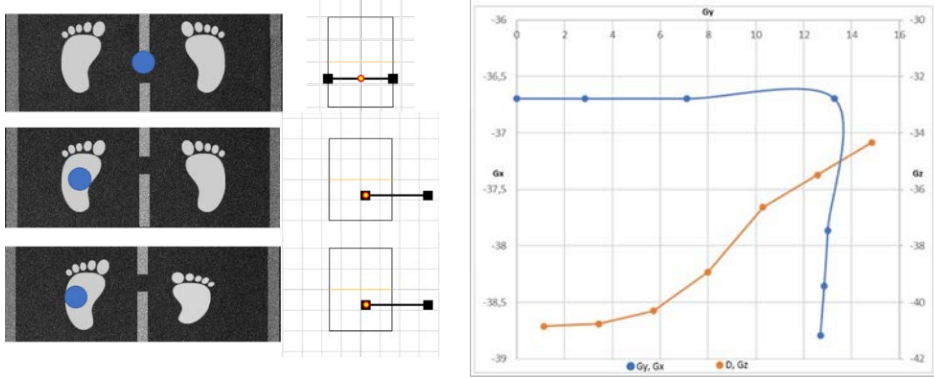
TABLO 3. Model 1 Parametreleri

Ağırlık Merkezi			Diğer Ayak Konum			Denge Durum
$G_x$	$G_y$	$G_z$	A	B	D	
-36,7	0,0	-40,9	-36,7	0,0	0,0	0
-36,7	2,8	-40,8	-36,7	0,0	<u>20</u>	-
-36,7	7,1	-40,3	-36,7	0,0	<u>50</u>	-
-36,7	13,3	-38,9	-36,7	0,0	0	1
-37,9	13,0	-36,6	-37,9	20	0	1
-38,4	12,9	-35,5	-38,4	30	0	1
-38,8	12,7	-34,3	-38,8	40	0	1

*Değerler, deneysel model prototip üzerinden hesaplanan sayısal verilerdir.*

İki ayak üzerinde denge pozisyonundayken, ağırlık merkezini 1 ayak üzerine taşıma esnasında diğer ayağın “D” mesafesi değişmemiş ancak ağırlık merkezi ile y mesafesi değişmiştir. Ağırlık merkezi taşıyıcı ayak üzerine alındıktan sonra diğer ayak yerden

kaldırılarak ağırlık merkezinin taşıyıcı ayak üzerine etkisi incelenebilir. Tablo 3. de gösterilen hareket modeli, Şekil 7. de ki değerleri ifade etmektedir.



a) Hareketin model gösterimi b) Ağırlık Mer. Diğer Ayak Kon. İle Değişimi

Şekil 7. Tek ayak denge duruna geçiş ve diğer ayağın yerden kaldırılması

İki ayak üzerinde denge durumundan tek ayak üzerinde denge durumuna geçerken, yalnızca Y ekseninde bir ağırlık merkezi değişimi beklenirken, sistemde az da olsa bir Z eksenli farkı olması sistemin ağırlık merkezinin X ekseninde değişimine neden olmuştur. Sistem tek ayak üzerinde denge pozisyonuna geldikten sonra, Z ekseninde büyük bir değişime sebep olmaktadır, çünkü diğer ayak yerden kaldırılmaya başladığında X değişimi artmaya başlamıştır.

### 3.4. Tek ayak denge durumunda, ağırlık merkezindeki salınım hareketi

Sistem tek ayak üzerinde denge pozisyonundayken, diğer ayak yerden kaldırılarak, X, Y üzerinde Z kadar yüksekte yaklaşık 20mm çapında dairesel bir hareket yapıyor olduğunda ise, referans değerler Tablo 4'teki gibi olacaktır.

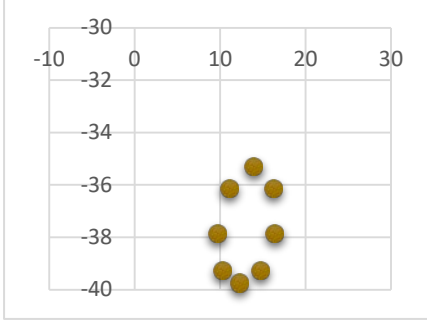
TABLO 4. Model 2 Parametreleri

AĞIRLIK MERKEZİ			DİĞER AYAK KONUM		
$G_x$	$G_y$	$G_z$	A	B	D
-37,9	13,0	-36,6	0,0	20,0	0,0
-35,3	13,9	-39,1	0,0	20,0	40,0
-36,1	16,3	-37,4	28,3	20,0	28,3
-37,9	16,4	-35,4	40,0	20,0	0,0
-36,1	11,1	-39,0	-28,3	20,0	28,3
-37,9	9,7	-37,4	-40,0	20,0	0,0
-39,3	10,3	-35,7	-28,3	20,0	-28,3
-39,8	12,3	-34,6	0,0	20,0	-40,0
-39,3	14,7	-34,4	28,3	20,0	-28,3

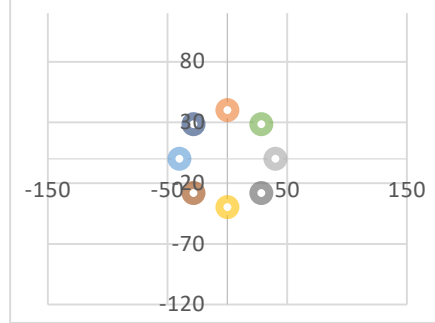
*Değerler, deneysel model prototip üzerinden hesaplanan sayısal verilerdir.*

Z ekseninde B kadar yüksekte olan ayak, X ve Y eksenlerinde dairesel hareket ettirildiğinde Şekil 8b elde edilir. Taşıyıcı ayak üzerinde ise meydana gelen ağırlık merkezi yer

değişiminden dolayı Şekil 8a' deki gibi noktasal yer değişimleri olacaktır. Teorik olarak iğne- uçlu ayak modeli sistemce mümkün olsa da sistemin kararlılığı açısından bir ayak taban alanı ihtiyacı olmaktadır. Ayak tabanı ise sistemin ayaklarına etkiyen kuvvetlerin statik dengesi ile ölçülenebilir.



a) Taşıyıcı Konum Değişimi



b) Dairesel Hareketi Konumları

Şekil 8. Tek ayak denge durumunda, ağırlık merkezindeki salınım hareketi

Taşıyıcı ayak sistemi taşımak için ağırlık merkezi noktalarını ayak taban noktaları olarak kabul edecektir. Diğer ayağın hareketlerine göre bu konum değişimi ise eliptik bir biçimde değişecektir.

## SONUÇ

Yürümek eylemi modellenmiş, denge ve hareket kabiliyetleri bakımından incelenmiştir. Yürüme hareketi, belirli uzuvların kendi hareketlerini periyodik olarak tekrarlamasıyla meydana gelir. Ortaya çıkan hareket "adım" olarak adlandırılır. Yürüme hareketi adımların tekrarlanmasıyla oluşur. Denge durumları araştırılmış devrilmeye karşı ayaklara etkiyen momentler hesaplanmıştır. Bu durumda sistem ağırlık merkezi hesaplaması ardından ayak konumları denge merkezi X-Y konumlarına çekilmelidir. İki ayak üzerinde denge durumu statik olarak ele alındığında momentum dengesi ile mümkün olacaktır.

Yürüme Hareketinin incelenmesi denge kabiliyeti ve hareket kabiliyetinin bir sonucudur. Bu yaklaşım ile denge problemi çözümlenirken, hareket kabiliyeti yüksek bir çalışma ortaya çıkmıştır. Çalışma uzayı analizi yapılarak  $\theta$ ,  $\beta$ ,  $\omega$  gibi anatomik düzlemler ile açılar tanımlanmış ve bu açılar alabileceği değerler ile analitik çözüm ele alınmıştır.

Kas iskelet modeli ile yapılan hesaplamalar ve bilgisayar destekli çözüm neticesinde ayak uzvu hareket kabiliyeti, çalışma uzayı anatomik açıdan diz eklemine karşılamıştır. İki ayaklı bir model üzerinde taşıyıcı uzuvları sabit tutacak koordinatlar hesaplanmıştır. Bu ayak konumları sistem ağırlık merkezi hesaplanarak kontrol edilmiş, özgün algoritma ile tasarım modellenmiştir.

Taşıyıcı ayağın, ağırlık merkezi izdüşümünde bulunarak diğer ayağın serbest bir şekilde hareket edebilir olmasıyla yürüme hareketi özelinde hareketleri incelenmiştir. Sistemin yürüme hareketi esnasında denge durumunu sürekli korurken aynı zamanda adım atmasına izin verecek

bir  $F(hareket)$  fonksiyonu oluşturulmuş, oluşturulan fonksiyonun çıktı değerleri sistem ayak konumlarına doğrudan girdi olarak verilerek sistemin davranışları incelenmiştir.

Sistemin ağırlık merkezine göre ayak tabanı konumu denklemler ile çözülmüştür. Ağırlık merkezi izdüşümü ayak tabanı içerisinde kaldığı müddetçe ayaklar sistemi taşıyacaktır. Ağırlık merkezinin uzayda ki konumu sistemi meydana getiren elemanların ağırlıkları ve sistem toplam kütesine bağlıdır. Sistem içerisinde ki elemanlardan birinin eksilmesi ya da ağırlık merkezi konumunun değişmesi ile sistemin toplam ağırlık merkezi izdüşümü konumu değişecektir ayrıca isteme ilave edilebilecek herhangi bir uzvun, ya da sistemin taşıyacağı ilave bir yükün ağırlık merkezinin hesaplanması yoluyla sisteme etkisi olacaktır.

Çalışma literatürde üzerine çalışılmış birçok yürüme hareketi tanımı ile benzeşmiş, hareketin denge odaklı yaklaşımıyla ileri seviyede ifade edilmiştir.

İki ayak üzerinde denge konumundan, tek ayak üzerinde denge konumuna geçiş aşamaları incelendiğinde bu hareketin dengesinin tek bir eksende olamayacağı görülmüş, örnek değerler ile sonuçlar ifade edilmiştir. Tek ayak denge konumunda iken, diğer ayağın yerden yukarıya hareketi model üzerinde çözümlenerek, Gx-Gy değişimi incelenmiştir. Ayak uzvunun Z ekseninde ki hareketi esnasında diz ekleminden kırılarak gerçekleşen bu hareket X-Y eksenlerinde ağırlık merkezi değişimlerine neden olmuştur. Elde edilen model ile bu değişimin nicel sonuçları hesaplanmıştır.

Bir ayak denge konumunda iken diğer ayağın yerden belirli bir yükseklikte, X-Y düzleminde dairesel hareketi incelenerek, sistemi taşıyan ayağın sistemin diğer unsurlarının hareketine göre konum değişimi incelenmiştir.

Kas giriş model yapıları bağlantı noktaları, anatomik yapıyla örtüşmüş ve ideal kas bağlantı noktalarının eklem mafsallara yaklaştıkça yük taşıma kabiliyetleri artmış ancak hareket, çalışma uzayında azalmalar meydana gelmiştir. Kas model sayısı, eyleyici, arttııkça motorlara binen yük azalacak ve insansı bir sistem tasarımı gerçekleşecektir. Bu neticesinde çok kısa aralıklarda bulunan kas doku modellerinin, çok az bir uzayıp kısalması ile güçlü ve hareket kabiliyeti yüksek bir tasarım ortaya çıkmıştır.

## **ÇIKAR ÇATIŞMASI**

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## **YAZAR KATKISI**

Hikmet İMAMOĞLU ve Prof. Dr. Süleyman Murat BAĞDATLI çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yöntem seçimi, modelleme ve algoritma, uygulama (verilerin işlenmesi), verilerin analizi ve yorumlanması, sonuçların değerlendirilmesi ve makale ana hatların oluşturulması, fikrîsel içeriğin eleştirel incelenmesine birlikte katkı sağlamışlardır, HİKMET İMAMOĞLU ilgili çalışmanın tam sorumluluk kısmında da katkıda bulunmuştur.



## KAYNAKLAR

- [1]. Soga E., Inoue S., Takanishi A., Yamaguchi. J., Development of a Bipedal Humanoid Robot, International Conference on Robotics Automation, Detroit, Michigan, 1999.
- [2]. Erbatur K., Seven U., Taşkıran E., Koca Ö., Ters Sarkaç Modeli ve Salınan Bacak Telifisi ile Oluşturulan Yürüyen Robot Referans Yörüngeleri, Sabancı Üniversitesi 2021.
- [3]. Çatalkaya M., Akay O.E., İnsan Adım Yörünge Eğrilerinin 2R Manipülatör Kullanarak Elde Edilmesi, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences 21(3):267-271, 2018.
- [4]. Kaneko K., Harada K., Kanehiro F., Miyamori G., Akachi K., Humanoid Robot, HRP-3 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Nice, 2008.
- [5]. İmamoğlu H., Bağımsız Hareket Kabiliyetine Sahip Robotik Yürüme Sistemi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 2023.
- [6]. Husty M.L., An algorithm for solving the direct kinematics of general Stewart-Gough platforms, Mechanism and Machine Theory, 31(4), Mayıs, 365-379,1996.
- [7]. Tez T., İki Ayaklı Yürüyen Robot Dinamiğinin Deneysel ve Teorik Araştırılması, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış), 2017.
- [8]. Gerçek A., İki Ayaklı Yürüyen Robot Tasarımı ve Prototip İmalatı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2012.
- [9]. İmamoğlu, H., & Bağdatlı, S. M., Mühendislik Problemlerinin Matlab Simulink Programı Desteğiyle Matematiksel Modellenmesi. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1(33), 1-15, 2022.
- [10]. Kim J.Y., Park W., Oh J.H., Walking Control Algorithm of Biped Humanoid Robot, Journal of Intelligent & Robotic Systems, 48(4):457-484, 2007.
- [11]. Nguyen V.X., Experimental System for The Optimization of The Parallel Manipulator Control, Journal of Computer Science and Cybernetics, 31(2) Ağustos, 83–95, 2015.
- [12]. Rahman N., Akhlaq A., Dynamic analysis and vibration control of a multi-body system using MSC Adams, Latin American Journal of Solids and Structures, 12(8):1505-1524, India, 2015.
- [13]. Şeker A., Talmaç M.A., Sarıkaya İ., Yürüme Biyomekaniği, TOTBİD Dergisi, 13:314–324, 2014.
- [14]. Şen M.A., Kalyancu M., Dört Ayaklı Robotların Modellenmesi, Kontrolü ve Engebeli Yüzeylerde Yürüyüşü Üzerine Bir Literatür Araştırması, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, c.9, s.1, 250-279, 2021.
- [15]. Tuna, A., Inclusive Education for Young Children with Autism Spectrum Disorder: Use of Humanoid Robots and Virtual Agents to Alleviate Symptoms and Improve Skills, and A Pilot Study. Journal of Learning and Teaching in Digital Age 7(2), 274-282, 2022.
- [16]. Avcı, S., Günümüz Sanat Eğitiminde Sanat Anatomisi Dersi, Yedi Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi. 20, 25-37, 2018.
- [17]. Breganon, R., Montezuma, M. A. F., Souza, M. M., Lemes, R. C., Belo, E. M., Optimal H Infinity Controller Applied to a Stewart Platform, International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 5(7), 51-59, 2018.
- [18]. Alam, M. N., Akhlaq A., Rahman N., Dynamic analysis and vibration control of a multi-body system using MSC Adams, Latin American Journal of Solids and Structures, 12(8), 1505-1524 2015.

## FARKLI DUVAR MODELLERİNDE CAM YÜNÜ YALITIM MALZEMESİNİN ISI YÜKÜ ÜZERİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Taylan Gazi ÜREGEN<sup>1</sup>

Accepted: 2024-07-17

DOI: 10.47118/somatbd.1493584

### ÖZET

Bu çalışmada, bir binaya ait farklı duvar tipleri için ısı akısı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kalsik duvar, 1, 5 ve 10 cm cam yünü yalıtımlı duvar modellerinin ısı akısı değerleri incelenmiştir. İlk olarak 2 cm dış sıva, 20 cm tuğla ve 2 cm iç sıva olacak şekilde klasik duvar modeli ve daha sonra yalıtımlı duvar modelleri için analizler Matlab yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Manisa iline ait ortalama sıcaklık değerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden alınmıştır. İç sıcaklık değeri 21 °C olarak kabul edilmiştir. Bu koşullar altında yapılan analizlerden ısı akısı değerleri karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda 10 cm cam yünü yalıtımlı duvarın ısı akısı değerlerinin, diğer duvar modellerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelime:** Cam yünü, Isı yalıtımı, Sayısal analiz

### NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GLASS WOOL INSULATION MATERIAL ON HEAT LOAD IN DIFFERENT WALL MODELS

#### ABSTRACT

This study investigates heat flux analyses for different wall types of a building. For this purpose, heat flux values of classical wall and wall models insulated with 1, 5, and 10 cm glass wool were examined. Initially, the classical wall model consisting of 2 cm exterior plaster, 20 cm brick, and 2 cm interior plaster was analyzed, followed by insulated wall models using Matlab software. Average temperature values for the Manisa province were obtained from the General Directorate of Meteorology. The indoor temperature value was assumed to be 21°C. Heat flux values from the analyses under these conditions were compared. As a result of the analyses, it was observed that the heat flux values of the wall insulated with 10 cm glass wool yielded better results compared to other wall models.

**Keywords:** glass wool, Thermal insulation, numerical analysis

---

<sup>1</sup>Öğr., Gör., MCBÜ Soma Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, taylan.uregen@cbu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Türkiye’de hanelerde tüketilen enerjinin büyük bir kısmı alan soğutma ve ısıtma amaçları için kullanıldığı bilinmektedir [1]. Artan nüfus, enerji ihtiyacı ve fosil yakıt kullanımının artmasına sebep olmaktadır. Fosil yakıtların kullanılması sonucunda ortaya çıkan karbon dioksit gazı küresel iklim değişikliğine yol açmaktadır [2]. Gerek iklim değişikliği ile ilgili problemler gerekse enerji tedariğinin ekonomi üzerindeki etkisi gibi birçok nedenlerden dolayı enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmaların önemi artmaktadır [3, 4]. Bu açıdan bakıldığında, binalarda yapılacak ısı yalıtım uygulamaları bir zorunluluk olarak görülmektedir [5]. Bu nedenle bina dış duvarlarının yalıtılması gerekmektedir. Yapılarda kullanılacak doğru yalıtım malzemeleri ile ısı kayıpları azalacaktır. Tüketilen enerji maliyeti göz önüne alındığında yalıtımın ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır [6, 7].

Isı yalıtımı, doğru şekilde yapılara uygulandığında ısı akış hızını engeller veya azaltır. Özellikle sert iklime sahip bölgelerde bulunan binalarda, enerji verimliliğinin arttırmasında önemli katkı sağlamaktadır [8, 9, 3]. Hanelerde ısı kaybını engellemek için yalıtım teknolojileri incelendiğinde yalıtım kalınlığı terimi ön plana çıkmaktadır [5].

Yalıtım kalınlıkları TS 825 Standartlarına göre farklı iklim koşulları için belirtilmektedir. Belirtilen standartın amacı, binalarda enerji tasarrufu sağlamak ve ihtiyaç duyulan enerjinin hesaplanması için gerekli hesap metodu ve değerlerini vermektir. Binalarda iklimlendirme, yaşanılan çevreyle ilgili ısı konforunu sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Isıl konforu tahmin etmek için sıcaklık, nem, ortalama ışınım, kişinin hareketlilik düzeyi ve giysi direnci gibi parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Isıl konforun sağlanması amacıyla, ısı yalıtımı için farklı özellikteki malzemelerin termofiziksel özellikleri belirlenmiş, belirlenen özelliklere göre deneysel ve sayısal birçok çalışma yapılmıştır [10-12].

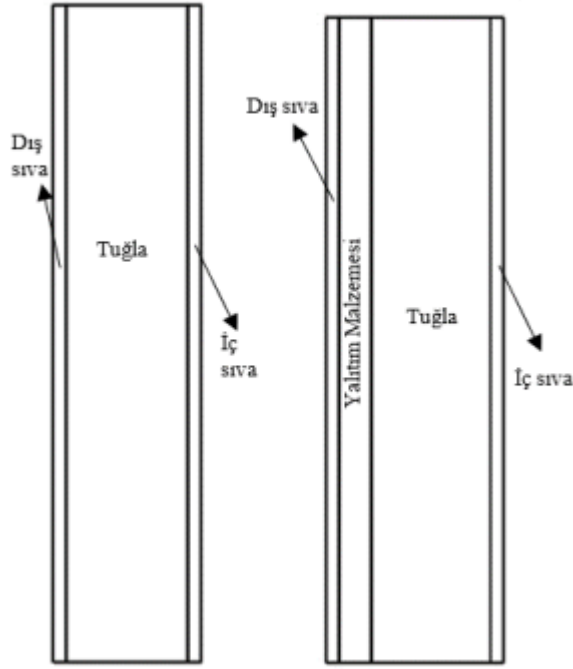
Literatürde binaların iklimlendirilmesi için yalıtım kalınlığının belirlenmesine yönelik farklı deneysel ve sayısal çalışmalar bulunmaktadır. Liu vd., yaptıkları çalışmada yıllık tüketilen enerji miktarını tahmini yapmışlardır. Isı ve nem transferi modeli kullanılarak nem transferinin ısı transferine etkisini incelemişlerdir [13]. Yu vd., yapmış oldukları çalışmada optimum yalıtım kalınlıklarının belirlenmesi için farklı yalıtım malzemelerini karşılaştırmışlardır [14]. Onbaşıoğlu ve Eğrican, yaptıkları çalışmada pasif ısıtma sistemlerinin ısı performanslarını, deneysel olarak sıcaklık, hız ve akı ölçümleri yapılmışlardır [15]. Yedder ve Bilgen, Trombe duvarlı sistemin ısı performansını sayısal olarak incelemişlerdir. Sistemi iki boyutlu ve laminer akış kabul etmişlerdir [16].

Bu çalışmada Manisa ili için Matlab yazılımı kullanılarak ortalama aylık sıcaklıklara göre hesaplamalar gerçekleştirilmiş olup, klasik duvar ve farklı kalınlıklardaki cam yünlü yalıtımlı duvar çeşitleri incelenmiştir. Modellerde elde edilen ısı akısı verileri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

İlimizde, genel olarak klasik model duvar yapı modeli uygulanmaktadır. Isıtma giderlerindeki artış nedeniyle yalıtım malzemelerinin kullanımı yaygınlaştırılarak ısıtma giderlerinin azaltılması istenmektedir. Bunlara ek olarak yalıtım uygulaması dıştan yalıtımlı duvarlar incelenmiş olup, yalıtım kalınlığı 1, 5 ve 10 cm seçilerek ısı akıları hesaplanmıştır.

Yalıtım malzemesi olarak cam yünü seçilmiştir. Kullanılan duvar modellerine ait duvar modelleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Duvar modelleri

Ülkemizde ısı yalıtımı için “TS 825 (Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı) Standardı” esas alınmaktadır. Duvar bileşenlerine ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Duvar bileşenlerinin özellikleri

Duvar Bileşenleri	Isıl İletkenlik ( W/mK)	Kalınlık (m)
Tuğla [17]	0,39	0,2
Dış Sıva [17]	1,6	0,02
İç Sıva [17]	1	0,02
Cam Yünü [17]	0,040	0,01-0,05-0,1

Yapılan modellerde dış duvar sıcaklığı, Manisa ili için Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerini aylara ait yıllık ortalama sıcaklık değerleri belirlenmiştir. İç duvar sıcaklığı, 21 °C kabul edilmiştir. Aylara ait sıcaklık değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Manisa ili için aylara ait ortalama sıcaklık değerleri [18]

Aylar	Ortalama Sıcaklık Değerleri
Ocak	6,6
Şubat	7,9
Mart	10,5
Nisan	15,1
Mayıs	20,3
Haziran	25,2
Temmuz	28,0
Ağustos	27,7
Eylül	23,4
Ekim	17,8
Kasım	12,2
Aralık	8,1

Yapılan çalışmada, ısı kayıplarının olduğu kabul edilmiş olup, matris metodu kullanılarak denklemlerin çözümü gerçekleştirilmiştir. Isı kaybının belirlenmesi ile ilgili denklemler verilmiştir.

$$\dot{q} = U\Delta T \quad (1)$$

Burada, " $\Delta T$ " sıcaklık farkını ( $^{\circ}\text{C}$ ), " $U$ " ısı geçiş katsayısıdır ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

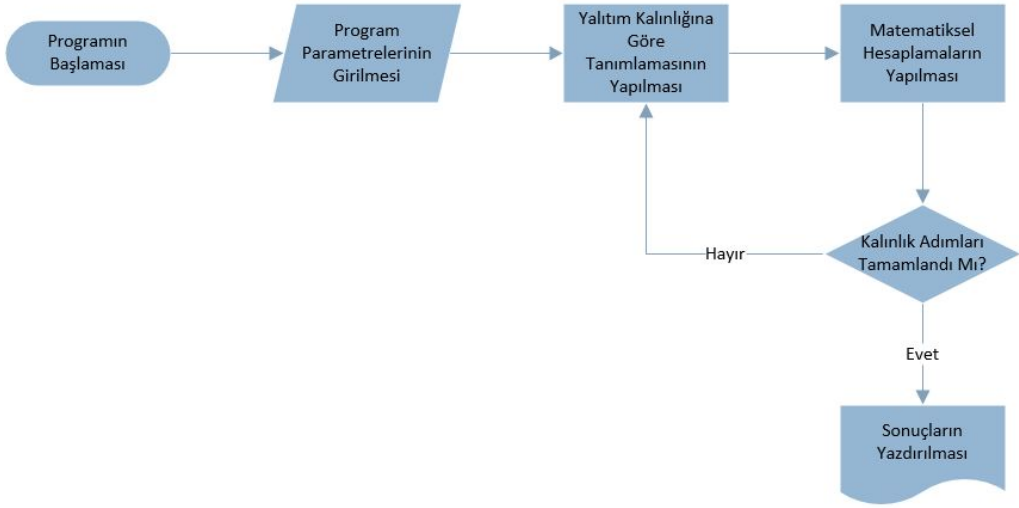
$$U = \frac{1}{R_{ds}} + \frac{1}{R_{is}} + \frac{1}{R_y} + \frac{1}{R_t} \quad (2)$$

" $R_{ds}$ " ve " $R_{is}$ " sırasıyla dış sıva ve iç sıva tabakalarının ısı dirençlerini, " $R_t$ " tuğla tabakasının ısı direnci, " $R_y$ " ise, yalıtım malzemesinin ısı direncini ifade etmektedir.

$$R_y = \frac{x}{k} \quad (3)$$

Yalıtım malzemesinin ısı direnci Denklem 3 kullanılarak bulunabilmektedir. " $x$ " yalıtım malzemesinin kalınlığı (m), " $k$ " yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısını ( $\text{W}/\text{mK}$ ) göstermektedir [19].

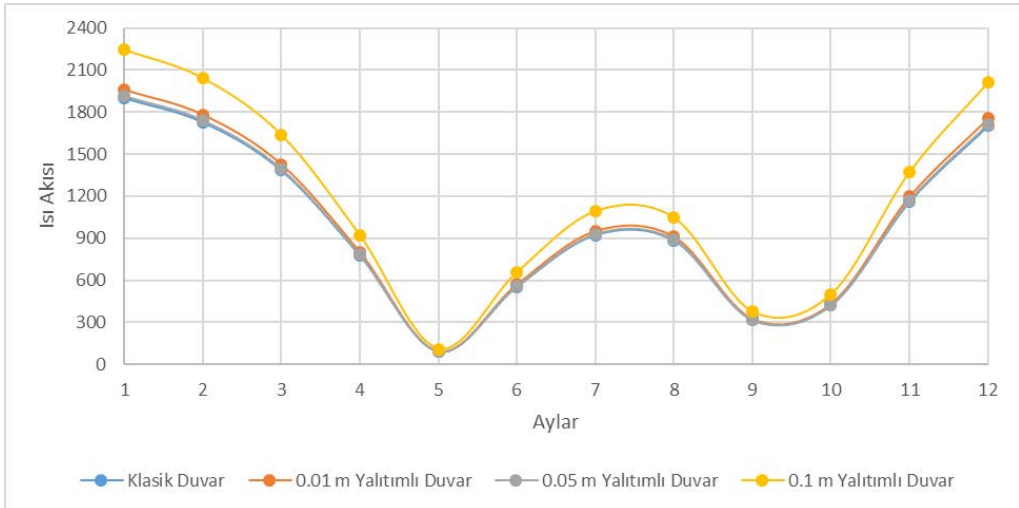
Verilen denklemler, Matlab yazılımı kullanılarak her yalıtım kalınlığı için çözdürülmüştür. Bu kod yardımıyla farklı kalınlık modellerine göre ısı akıları hesaplanmıştır. Matlabda gerçekleştirilen programın akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Matlabda hazırlanan programın akış diyagramı

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 2 cm iç sıva, 20 cm dış sıva, 2 cm tuğla bileşenlerinden oluşan klasik duvar modeli için ısı akısı analizi gerçekleştirilmiştir. Klasik duvara 1, 5 ve 10 cm arasında cam yünü yalıtımı eklenerek, yalıtımlı duvarlar içinde analizler gerçekleştirilmiştir. Dış ortam sıcaklıkları aylara ait ortalama sıcaklık değerleri kabul edilmiş olup, iç ortam sıcaklığı 21 °C belirlenmiştir. Matlab yazılımı kullanılarak verilen şartlara göre analizler yapılarak, duvar modelleri için ısı akısı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Duvar tiplerinin aylara göre ısı akısı değerleri

Şekil 3’de görüldüğü gibi farklı duvar modelleri için ısı akısı grafiği verilmiştir. Klasik duvar, 1 cm cam yünü yalıtımlı duvar ve 5 cm cam yünü yalıtımlı duvarların ısı akısı değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. 10 cm cam yünü yalıtımlı duvarın ısı akıları incelendiğinde, diğer duvar tiplerine göre ısı akısı değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Isı akısı değerinin artması, kış aylarında uygun koşullar altında bina içine temiz ve sıcak hava girmesi sağlandığından ısıtma için kullanılan enerji yükünden tasarruf sağlanabilecektir. Yaz ayları içinse binanın soğutma yükünü azaltacaktır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir binaya ait farklı duvar modelleri için ısı akısı analizleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 2 cm dış sıva, 20 cm tuğla ve 2 cm iç sıvadan oluşan klasik duvar için ısı akısı analizi yapılmıştır. Klasik duvarda kullanılmak üzere 1 cm, 5 cm ve 10 cm cam yünü kullanılarak, yalıtımlı duvar analizleride gerçekleştirilmiştir. Analizler Matlab yazılımı kullanılarak Manisa iline ait ortalama sıcaklık değerlerine göre hesaplanmıştır. Programda iç ortam sıcaklığı 21 °C kabul edilmiştir. Yapılan analizler incelendiğinde; klasik duvar modeli, 1 cm cam yünü yalıtımlı duvar ve 5cm cam yünü yalıtımlı duvarların ısı akısı değerlerinin birbirine yakın olduğu, en iyi ısı akısı sonuçlarının ise 10 cm cam yünü yalıtımlı duvarda olduğu görülmüştür. 10 cm cam yünü yalıtımlı duvarın yaz ve kış ayları için ısıtma ve soğutma giderlerinin azaltmasını sağlayacağı görülmektedir. Tüm durumlar göz önüne alındığında yalıtımlı duvarların kullanılması tercih edilebilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2024. Erişim Tarihi: Mayıs 2024. <https://data.tuik.gov.tr>.
- [2] Gürel, A. E., Cingiz, Z., 2011. Farklı dış duvar yapıları için optimum ısı yalıtım kalınlığı tespitinin ekonomik analizi. Sakarya University Journal of Science, 15(1), 75-81.
- [3] Al-Sanea, S. A., Zedan, M. F., 2002. Optimum insulation thickness for building walls in a hot-dry climate. International Journal of Ambient Energy, 23(3), 115-126.
- [4] Dombaycı, Ö. A., Acar, Ş. G., Ulu, E. Y., Öztürk, H. K., 2017. Thermoeconomic method for determination of optimum insulation thickness of external walls for the houses: Case study for Turkey. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 22, 1-8.
- [5] Deniz, E., Gürel, A. E., Daşdemir, A., Çamur, D., 2009. Fuel Consumption and Influences External Wall Optimum Insulation Thickness to Owning Cost of Energy. Technology, 12(4), 283-290.
- [6] Özel, M., 2018. Soğuk İklim Bölgesinde Farklı Dış Duvar Yapı Malzemelerinin Isıtma Yüküne Etkilerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(1), 105-113.
- [7] Özel, M., Çakmak, F. A., İlgin Beyazıt, N., 2021. Faz değiştiren malzemeli duvarlarda sıcaklık dağılımının nümerik analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 12(5), 803-810.
- [8] American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), 2001. Handbook of Fundamentals, Atlanta, GA, USA, Chapter 23.
- [9] Al-Homoud, M. S., 2005. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Building and Environment, 40(3), 353-366.
- [10] Ünver, Ü., Adıgüzel, E., Adıgüzel, E., Çivi, S. Ve Roshanaei, K., 2020. Türkiye'deki İklim Bölgelerine Göre Binalarda Isı Yalıtım Uygulamaları. İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi, 1(2), 171-187
- [11] Yamac, H. I. ve Koca, A., 2023. Performance analysis of water flow window systems with thermal energy storage tank includes phase change material in autumn season. Journal of Building Engineering, Vol. 70, 106281.
- [12] Üregen, T. G., Aksoy, G. ve Koca, A., 2019. Faz Değiştiren Madde Olarak Nano Katkılı Stearik Asit ve Palmitik Asidin Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(2), 407-413.
- [13] Liu, X., Chen, Y., Ge, H., Fazio, P. ve Chen, G., 2015. Determination of optimum insulation thickness of exterior wall with moisture transfer in hot summer and cold winter zone of China. Procedia Engineering, 121, 1008-1015.



- [14] Yu, J., Yang, C., Tian, L., Liao, D., A, 2009. Study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China. *Applied Energy*, 86, 2520-2529.
- [15] Onbasioglu, H., ve Egrican, A. N., 2002. Experimental approach to the thermal response of passive systems. *Energy Conversion and Management*, 43(15), 2053-2065.
- [16] Yedder, R. B. ve Bilgen, E., 1991. Natural convection and conduction in Trombe wall systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 34(4-5), 1237-1248.
- [17] TS 825, (2008). Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [18] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2024. Erişim Tarihi: Mayıs 2024, <https://www.mgm.gov.tr>.
- [19] Kan, M. Ve Kuru, M., 2022. Farklı Duvar Modellerinde Isı Yalıtımının Etkisinin İncelenmesi. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 4(3), 110-119.

## REVIEWING THE OPTIMAL CONDITIONS FOR EFFICIENTLY HARNESSING THE PHYTOTHERAPEUTIC POTENTIAL OF THE INVASIVE *CARPOBROTUS EDULIS* (L.) N.E. BR PLANT THREATENING PLANT DIVERSITY

MSc. Student Nil Sazlı<sup>1</sup>, Assist. Prof. Dr. Deniz Karataş<sup>1,\*</sup>

Accepted: 2024-07-17

DOI: 10.47118/somatbd.1498192

### ÖZET

Bu çalışma kapsamında Hottentot-fig olarak bilinen istilacı ve diğer bitki türlerini tehdit eden *Carpobrotus edulis* (L.) N.E.Br bitkisi incelenmektedir. Bu bitki istilacı özelliği ile kıyı bölgelerinde biyolojik çeşitlilik adına büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Literatürdeki birçok çalışma bu kriz durumunu fırsata çevirmek adına Hottentot-fig bitkisinin fitoterapötik potansiyellerini ortaya koymayı hedeflemiştir. Bitkinin hasat zamanı ve yerine göre değişen biyoaktif bileşenleri ve antioksidan, antiinflamatuvar özellikleri değerlendirilerek bu bitkinin gıda ve nutrasötik endüstrilerde kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Bu çalışmalarda uygun metodoloji ve en verimli sonuçları elde etmek için optimum parametreleri belirlemek adına diğer literatür çalışmaları ile ekstraksiyon, toplam fenolik içerik

HPLC-DAD gibi yöntemlerin sonuçları göz önünde bulundurularak kıyaslamalar yapılmaktadır. Buna bağlı olarak çalışmaların eksik ve güçlü yanları belirlenmiştir. Bizim çalışmamız kapsamında, literatürde kullanılan ve bilinen yöntemlerin yanı sıra alternatif yöntemlerin de göz önünde bulundurulması gerektiği, bu yöntemlerin sonuçlarının incelenmesi gerektiği ve farklı metod stratejileri ile verimli sonuçlar elde edilebileceği belirtilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Carpobrotus edulis* (L.) N.E.Br, Hottentot-fig, fitoterapötik, biyoaktif bileşen, yöntem, istilacı tür.

### ABSTRACT

This study investigates the *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br plant, known as Hottentot-fig, which is invasive and threatens other plant species. This plant poses a great threat to biodiversity in coastal areas with its invasive feature. Many studies in the literature have aimed to demonstrate the phytotherapeutic potentials of the Hottentot-fig plant as a way to turn this crisis situation into an opportunity. By evaluating the bioactive components and antioxidant and anti-inflammatory properties of the plant, which vary depending on harvest time and location, the usability of this plant in the food and nutraceutical industries has been demonstrated. In these studies, comparisons are made with other literature studies to determine

\* E-mail: deniz.karatas@cbu.edu.tr

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Bioengineering, 45140, Yunusemre, Manisa, Türkiye.

the optimum parameters for the most efficient results, taking into account the outcomes of methods such as extraction, total phenolic content, and HPLC-DAD. Consequently, the strengths and weaknesses of the studies have been identified. Within the scope of our study, it is stated that alternative methods should be taken into consideration in addition to the known methods used in the literature, the results of these methods should be examined, and efficient results can be obtained with different method strategies.

**Keywords:** *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br, Hottentot-fig, phytotherapeutic, bioactive compound, method, invasive species.

## 1. INTRODUCTION

*Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br, commonly known as Hottentot-fig, is a species of plant belonging to the Aizoaceae family, characterized by broad leaves and yellow flowers. This species is designated as problematic due to its invasive nature in coastal areas. Hottentot-fig contains flavonoids such as rutin, catechin, and hyperoside, which confer anti-bacterial properties to the plant [1]. However, attention should be paid to harvesting this plant in the regions and during the seasonal times that would yield the most efficient anti-bacterial properties from its flavonoids. In this study, extracts obtained by harvesting this plant species at different locations and times of the year were compared for the yield of polyphenols [2]. For instance, the extracts of Hottentot-fig exhibit stronger anti-inflammatory and antioxidant properties during summer and spring months compared to winter months [1].

The *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br species examined within the scope of this article, known as Hottentot-fig, is considered problematic due to its invasive nature in coastal areas. Coastal environments act as a transition zone between land and sea and provide protection against disasters such as floods and storms [3]. However, these areas cannot defend themselves against natural or anthropogenic changes. Management of Hottentot fig species that invade these areas is challenging as they inhibit the growth of other species and suppress native species. This situation causes various disadvantages in terms of biodiversity of the ecosystem and other species. Turning such crises into opportunities is of great importance for both ecosystems and humanity [2]. For example, researching and discovering the biochemical properties of the Hottentot fig and using these discovered properties beneficially for living organisms may be the most appropriate strategy to combat such invasive species [3]. *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br is a succulent plant that can grow to a diameter of at least 50 m. It can live in Mediterranean countries and South Africa. Characterized by its rapid growth, the Hottentot fig acts as an invasive species, occupying the places of native plant species in coastal areas such as sand dunes and sea cliffs [1].

This plant species contains a rich array of bioactive compounds, such as flavonoids, phenolic acids, triterpenes, and alkaloids. Bioactive compounds are substances that exhibit physiological or cellular activities, particularly those with positive implications for health[2]. Flavonoids, as an example of bioactive compounds, are commonly found in plants and possess antioxidant properties, making them potential candidates for pharmaceutical and medical purposes [4]. Phenolic acids, on the other hand, are present not only in plants but also in foods such as fruits and vegetables [5]. They belong to the phenolic group and exhibit properties such as antimicrobial, anti-inflammatory, and antioxidant effects. Triterpenes, falling into the chemical class of isoprenoids, play roles in tasks like antimicrobial functions and the regulation

of hormonal metabolism in plants [6]. Alkaloids, on the other hand, belong to the group of organic chemical compounds containing nitrogen in their structures [7]. While they contribute to the defense mechanisms of plants against harmful organisms, they are also utilized in medicine, such as in the case of morphine, due to their analgesic properties [8]. However, their usage can have both beneficial and harmful effects, depending on the context [1,2].

The fact that *Carpobrotus edulis* contains flavonoids and therefore antioxidants is an indication that it has the potential to be used in fields such as pharmacology. In addition to its antioxidant properties, this and other literature studies show that Hottentot-fig has bioactive properties that can be used in the field of medicine, such as anti-melanogenic, that is, equalizing skin tone and protecting skin health, wound healing, anti-bacterial and anti-fungal, thanks to the bioactive components it has. Due to these properties, it is an antiseptic for diabetes, tuberculosis, colds, eczema, burns, and a possible therapeutic drug even for HIV infections.

## **2. METHODS USED IN THE ANALYSIS OF THE HOTTENTOT-FIG PLANT**

This study examines the methodologies of different literature studies involving the collection and processing of the Hottentot-fig plant, the selection of extraction stages, and profile analysis in terms of nutritional, chemical, and bioactivity aspects. Additionally, it will help analyze the most efficient methodological techniques based on the results obtained from these analyses of the plant. In the chemical selection stage, DPPH, ABTS, and NO radicals are utilized to measure the antioxidant capacity of the Hottentot-fig plant. Noui et al. Accordingly, gallic acid, quercetin, and catechin standards are used to determine the phenolic compounds found in plant samples [9]. For HPLC-DAD analysis, various commercial standards, and chemicals such as chlorogenic, coumaric, and gallic acids are used. All these chemicals are chosen for the determination of phenolic components in the plant and the quantification of their concentrations using the Folin-Ciocalteu (F-C) reagent [10].

The collection, processing, and extraction of the Hottentot-fig plant are essential steps in the study to utilize it. However, in this research, Hottentot-fig was collected in three different regions in Portugal and during different seasons, such as January, May, July, and November, to investigate the bioactive yield at different times and in different regions. For the extraction stage, the plant was dried at a temperature of 40 degrees Celsius. The reason for setting the temperature at 40 °C could be to ensure the optimum drying temperature that does not harm the bioactive properties of the plant. The powdered form of the plant was extracted with a 80% water-acetone mixture for 24 hours [1, 11]. The choice of acetone and water as the solvent for extraction may be due to its ability to dissolve phenolic components present in the Hottentot-fig plant, making it the most suitable solvent for analyzing bioactive components. Extraction conditions, such as duration, extraction solution, and ratio, vary depending on the plant used, and the optimal conditions that provide maximum yield should be selected [12]. The continued process in the rotary evaporator is aimed at removing alcohol derived from acetone in the solution and increasing the concentration of components. Filtering the extracted solution helps remove solid particles, obtaining a purified solution. Dimethyl sulfoxide (DMSO) is used to dilute and store the obtained extracts and storing the samples at -20 °C is ideal for long-term storage [13].

This study encompasses two separate sections for nutritional profile analysis: proximate composition and mineral composition [14]. The proximate composition is a crucial stage to analyze the components of the Hottentot-fig plant. It determines the total ash, moisture, crude carbohydrates, crude fat, and crude protein content in this plant species. In this article, the moisture content of Hottentot-fig was calculated based on the fresh weight of the samples, while ash content was determined using the ashing method. The Kjeldahl method was employed to determine crude protein, the Bligh-Dyer method for crude fat, and crude carbohydrates were calculated by subtracting the weights of other identified components [15]. The second section of nutritional profile analysis is mineral composition. This stage involves determining the macro and micro mineral content of plant samples. Macro minerals refer to large quantity minerals such as sodium and calcium, whereas micro minerals contain smaller amounts of minerals like copper and zinc [16]. For mineral analysis in this article, a Microwave Digestion System, Microwave Plasma - Atomic Emission Spectrometer were used. The purpose of employing acidic digestion might be to break down organic matter in plant samples to release minerals in free form. The use of low-pressure microwave systems may aim to enhance the efficiency of mineral release. The application of the Atomic Emission Spectrometer could be to obtain macro and micro elements in the mineral composition stage [17].

The chemical analysis of the Hottentot-fig plant involves several stages, including the determination of total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), condensed tannins determination, and High-Performance Liquid Chromatography-Diode Array Detection (HPLC-DAD) for phenolic profile analysis. This stage allows for the quantification of total phenolic, flavonoid, and condensed tannins contents in previously obtained plant samples. TPC represents the total phenolic components in the plant sample, which, due to their antioxidant properties, is crucial in demonstrating the antioxidant capacity and bioactive nature of Hottentot-fig. The presence of phenolic components in a plant means the neutralization of reactive oxygen species, combating free radicals that negatively impact cells [18]. Similar to the TPC method, TFC is a technique used to determine the total flavonoid content in plant samples, and like phenolic compounds, flavonoids possess antioxidant properties, contributing to environmental protection and potential therapeutic roles in human health. The TFC method involves the use of  $AlCl_3$  as a reagent, forming a color-changing complex upon reacting with flavonoids. The absorbance of the complex formed at a specific wavelength is measured to determine the quantity of flavonoids using standards [19]. Condensed tannins determination (CTC) is employed in this study to identify the tannin profile and bioactive properties, such as anti-inflammatory effects, of Hottentot-fig. High CTC content protects plants against other insects and plants, indicating high antioxidant and anti-inflammatory properties [1, 20]. Another chemical analysis method used is High-Performance Liquid Chromatography-Diode Array Detection (HPLC-DAD) for phenolic profiling determination. With the HPLC-DAD system, the quantity of phenolic compounds present is measured [21]. Different wavelengths in the nanometer range are used in this stage to detect various phenolic components, as each wavelength corresponds to specific phenolic compounds. The selection of the HPLC-DAD method in this study may be attributed to its ability to separate complex phenolic compounds in plant samples, save time by analyzing multiple compounds simultaneously, and provide numerical results crucial in studies where precise measurements of phenolic compound quantities are essential[22].

In this study, the bioactive properties of the Hottentot-fig plant were analyzed for antioxidant and anti-inflammatory capacities *in vitro*. The EC50 values of the extracts were determined along with the activity percentage using diluted samples and negative controls to calculate the concentration ratio at which half-maximal effect is observed [23]. EC50 represents the concentration ratio at which half-maximal effect is observed for a compound. Experimental results revealed the concentration at which Hottentot-fig exhibited half-maximal antioxidant effect. A lower EC50 ratio at a low concentration indicates a higher antioxidant capacity [24]. DPPH, ABTS, and FRAP analysis methods were employed to analyze the antioxidant properties of the extracts using radical-based methods [25]. CCA and ICA analyses were conducted to detect the chelating properties of metal ions in the plant sample. The chelation property of metal ions in the plant indicates the ability to combat oxidative stress. *In vitro* anti-inflammatory activity analysis was performed to analyze the chemical components in the Hottentot-fig plant extract for anti-inflammatory bioactive properties. In this stage, the production of nitric oxide (NO) on LPS-stimulated macrophage cells was examined to assess the anti-inflammatory property. LPS stimulates macrophages due to its presence in the cell wall of bacteria, potentially triggering inflammatory responses by stimulating the immune system [1]. The examination of NO production serves as a good method to understand the inflammatory effect since an increase in NO production is observed in LPS-stimulated macrophages [26]. Measuring the production allows the determination of macrophage cell inflammatory levels [27]. If the bioactive components in the Hottentot-fig plant exhibit the ability to reduce or inhibit NO production, the anti-inflammatory property of the plant is established [28]. The Griess method was used in this stage to measure the amount of NO produced [29]. Excessive measurement of NO production indicates a response of cells to inflammation.

The final method used in the article is the statistical analysis stage. It is a crucial step for optimizing the results obtained during the experiments, accurately interpreting the data, and demonstrating the scientific validity of the study. In this research, the repetition of the experiments three times and the consistency of the results indicate the reliability of the study. XLSTAT and GraphPad Prism programs were employed to transform the obtained results into different visual forms, such as graphs, to interpret the results effectively. Additionally, in this study, the p-value calculated within the programs is used to determine the significance of the study [30]. If the p-value is less than 0.05, the study is considered statistically significant, and the results of the bioactive properties among Hottentot-fig plants collected from different regions and times are significantly different. Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) and Principal Component Analysis (PCA) are used to analyze the relationship in the experiments conducted on Hottentot-fig plants [31].

In summary, the material and method section of this article utilized various techniques to perform analyses aimed at determining the profiles of bioactive components and properties of Hottentot-fig plants at different times and regions. For instance, analyses such as DPPH, ABTS, NO radicals, TPC, TFC, and CTC were employed to assess the capacity of bioactive properties, such as antioxidants, in Hottentot-fig samples. In addition to these methods, different techniques, such as Oxygen Radical Absorbance Capacity, used in other studies in the literature, could also be applied. However, it is crucial to make the right choices, considering that the chemicals used in the analyses do not compromise the bioactive yield of the studied plant extract and that the materials in the laboratory are suitable. HPLC-DAD was used to

identify the type and quantity of phenolic compounds in the plant sample. This method is highly sensitive and selective, making it more practical compared to other methods.

To determine anti-inflammatory activities, methods such as the stimulation of RAW 264.7 cells with LPS and the analysis of NO production were employed. Through this technique, the anti-inflammatory property of the Hottentot-fig plant was identified. The use of RAW 264.7 cells for determining the anti-inflammatory property might be due to its widespread application as a method to reveal anti-inflammatory characteristics. In summary, the application of various method techniques for each analysis in this article is a crucial step in discovering the potential bioactive properties, such as antioxidants and anti-inflammatory features, of the Hottentot-fig plant, which poses a threat to biodiversity due to its invasive nature in different regions and times. This exploration is significant for identifying the plant as a potential candidate for beneficial drug use in humanity.

### **3. DIFFERENCES ACCORDING TO ANALYSIS METHODS**

When examining the results of the nutritional profile analysis in the study, it is observed that different outcomes are obtained when the Hottentot-fig plant is cultivated at different times and locations. During the fall and winter months, the ratios of components such as crude protein, fat, ash, and moisture are higher, whereas in the summer and spring months, fibers and carbohydrates are found in higher proportions. In addition to the seasonal variation in the components of the Hottentot-fig plant, the location also influences these components. The plant grown in Ria Alvor (A) region has a higher fiber content, while the one collected in Ancao beach (B) region has a higher carbohydrate content. Regarding minerals, it was determined that the Hottentot-fig plant in regions A and B has a high concentration of Ca, Na, and Fe, while in the Ria Formosa (C) region, the concentrations of other minerals are higher. As these results indicate, there are variations in the nutrient content depending on the location of the plant in spring and summer versus fall and winter months [11]. However, understanding the reasons for these differences is crucial. For instance, in halophyte plants, an adaptive process to the environment may be required to prevent excessive salt accumulation, maintain ionic balance within the cell, and protect the cell from oxidative stress[32]. The accumulation of carbohydrates in the cell facilitates osmotic regulation. In light of this information, it can be suggested that the Hottentot-fig plant may have accumulated carbohydrates within its structure to combat environmental stress and maintain intracellular salt balance during the spring and summer months. Moreover, the Hottentot-fig plant may have followed a strategic path to adapt to environmental changes. When all numerical results are examined, it is concluded that the Hottentot-fig species has a rich content in terms of carbohydrates, protein, and minerals such as Zn and Mn. However, the most noteworthy result in this study regarding the analysis of the nutritional profile is that the nutrient content is primarily influenced by the location and subsequently by the time of plant collection.

When examining the results of the chemical profile analysis of Hottentot-fig samples, the crucial data here are obtained from the TPC, TFC, and CTC analyses. The Hottentot-fig plant has a higher TPC ratio compared to other plants in various literature studies. However, within the scope of this study, when the TPC results of this plant in different seasons and regions A, B, C are examined, this plant species in region B, except for the summer, has yielded high results [33]. Generally, when the results of TPC for this plant species are examined, it is found that in the spring and summer months, there is a higher total phenol content compared to other

months [18]. Regarding TFC content in this study, the overall flavonoid ratio is low and close to each other when compared to other analysis results [19]. The sample of Hottentot-fig obtained from the Ria Alvor region in the summer month has shown significantly higher results in terms of flavonoid content compared to others. When looking at the CTC analyses, it can be generally said that this plant contains high tannins in every region and season [34]. However, the results indicate that the highest tannin content occurs in the fall and spring. In the fall month, region B has a high tannin content, while in the spring month, the Hottentot-fig plant in the Ria Formosa region has a very high content [19]. Generally, the variations in the ratios of phenolic, flavonoid, and similar contents in plants are attributed to factors such as the location where the plant is grown, harvest time, environmental stress conditions, and extraction conditions [35]. During the spring and summer months, Hottentot-fig, like other plants, is exposed to environmental stress conditions such as drought, excessive exposure to UV radiation. To survive, they may increase phenol production in their structures as an adaptation strategy to environmental conditions in the spring and summer months. This adaptation strategy may account for the variations in TFC and CTC contents depending on the location. The analysis results of phenolic compounds have revealed the presence of phenolic acids such as salicylic, chlorogenic, caffeic, coumaric, and ferulic acids, as well as flavonoids and luteolin-7-O-glucoside compounds [24, 36]. Among these compounds, salicylic acid and luteolin-7-O-glucoside are found more in Hottentot-fig samples from regions B and C. The main reason for this is their efforts to adapt to environmental stress they are exposed to. Luteolin derivatives are produced in plants exposed to abundant sunlight and to combat soil salinity [37]. Therefore, these components are more abundant in Hottentot-fig in regions B and C. Salicylic acid provides plant immunity, while caffeic acid provides resistance to stress through its antioxidant activity and increases salt tolerance. Gentisic acid has been identified as a signaling molecule in response to defense and salinity factors in Hottentot-fig [38]. The phenolic compounds found in Hottentot-fig not only protect the plant from stress factors but also contribute to its therapeutic bioactivity [39]. Thanks to these components, this plant species possesses bioactive properties such as anti-inflammatory, antimicrobial, and antioxidant activities. The reason for Hottentot-fig's bioactive properties lies in its content of phenolic, flavonoid, and condensed tannin. Since the content of these compounds varies depending on the location and time of cultivation, it has been concluded that its bioactive properties are also location and season dependent.

The results of the analysis of the bioactivity profile of the Hottentot-fig plant include the examination of antioxidant and anti-inflammatory activities, as well as mineral content in terms of location and season. The plant samples were found to have antioxidant capacity in the analysis conducted using DPPH, ABTS, and NO methods [25]. The lower EC<sub>50</sub> values compared to positive controls indicate that the samples have high antioxidant capacity. The Hottentot-fig's high antioxidant capacity was observed to be even higher in the analysis with ABTS radicals. The months with the most efficient antioxidant capacities were identified as spring and summer. However, it was observed that A and B regions had higher antioxidant capacities for ABTS radicals, especially during the winter season [40]. This is attributed to the production of phenolic compounds by the plant to adapt to environmental factors, as mentioned above. Additionally, the types of solvents used for plant extracts are crucial. Extracts using a water or methanol mixture will yield different antioxidant activity results depending on the solvent type. While water shows stronger activity, an extract using a methanol solvent may exhibit lower activity [41]. When examining the analysis data for the chelation properties of metal ions, copper shows a moderate chelation property compared to the positive control.



However, the results for iron are relatively low. To detect the anti-inflammatory property of Hottentot-fig plant samples, it is necessary to reduce the production of NO [1, 23]. The samples of this plant, found in region B and collected during the summer months, exhibit higher anti-inflammatory activity. In conclusion, there are many factors that affect the analysis data of the bioactive profiles of the Hottentot-fig plant. From the initial stages to the final stages of the methods, all materials, chemicals, and environmental differences can impact the obtained findings. The solvents and temperatures used in plant extraction stages affect the results of these analyses [3]. However, in this study, the most important and focal point is the variation in the values of the plant's nutritional, chemical, and bioactivity profiles, which is attributed to different locations and seasonal times of cultivation for the Hottentot-fig plant. Plants grown in different locations produce specific phenolic compounds in their metabolism to adapt to the environment and protect themselves. Hottentot-fig is one of these plants. Through the production of these compounds for adaptation, it gains bioactive properties that make it potentially useful for humanity and pharmaceutical purposes.

#### 4. CONCLUSION

In this study, the invasive Hottentot plant, which is found in coastal areas and poses a threat to the diversity of other plants, and its phytotherapeutic properties are examined. Although this plant species poses a crisis for plant ecology, it has the potential to be used in health and nutraceutical fields thanks to its bioactive properties such as antioxidant and antimicrobial. In the study, the techniques used to obtain the Hottentot-fig plant were examined and the results that provided the best yield were analyzed and commented on. In addition, thanks to the different bioactive components found in this plant species, it has the potential to be a resource for use in industries such as phytotherapeutics, nutraceuticals, and food. Hottentot-shank, aka *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br. Considering the most efficient methodology and results for the Br plant, future studies will benefit from its therapeutic potential by turning the invasive feature of this plant into an opportunity instead of a crisis.

## 5. REFERENCES

- [1] Pereira C.G., Neng N.R., Custodio L. (2023). "From Threat to Opportunity: Harnessing the Invasive *Carpobrotus edulis* (L.) N.E.Br for Nutritional and Phytotherapeutic Valorization Amid Seasonal and Spatial Variability". *Mar Drugs*;21.
- [2] Bazzicalupo M., Cornara L., Burlando B., Cascini A., Denaro M., Smeriglio A., et al. (2021). "Carpobrotus edulis (L.) N.E.Br. extract as a skin preserving agent: From traditional medicine to scientific validation". *J Integr Med*;19:526-536.
- [3] Omoruyi B.E., Bradley G., Afolayan A.J. (2012). "Antioxidant and phytochemical properties of *Carpobrotus edulis* (L.) bolus leaf used for the management of common infections in HIV/AIDS patients in Eastern Cape Province". *BMC Complement Altern Med*;12:215.
- [4] Wu J., Lv S., Zhao L., Gao T., Yu C., Hu J., et al. (2023). "Advances in the study of the function and mechanism of the action of flavonoids in plants under environmental stresses". *Planta*;257:108.
- [5] Sun W., Shahrajabian M.H. (2023). "Therapeutic Potential of Phenolic Compounds in Medicinal Plants-Natural Health Products for Human Health". *Molecules*;28.
- [6] Rahman M.M., Rahaman M.S., Islam M.R., Rahman F., Mithi F.M., Alqahtani T., et al. (2021). "Role of Phenolic Compounds in Human Disease: Current Knowledge and Future Prospects". *Molecules*;27.
- [7] Patel R.K., Gangwar D., Gupta H., Sharma N., Kumar R. (2023). "Plants Alkaloids Based Compound as Therapeutic Potential for Neurodegenerative". *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*;2:14-26.
- [8] Misiurek J., Plech T., Kapron B., Makuch-Kocka A., Szultka-Mlynska M., Buszewski B., et al. (2023). "Determination of Some Isoquinoline Alkaloids in Extracts Obtained from Selected Plants of the Ranunculaceae, Papaveraceae and Fumarioideae Families by Liquid Chromatography and In Vitro and In Vivo Investigations of Their Cytotoxic Activity". *Molecules*;28.
- [9] Noui A., Boudiar T., Boulebd H., Gali L., Del Mar Contreras M., Segura-Carretero A., et al. (2022). "HPLC-DAD-ESI/MS profiles of bioactive compounds, antioxidant and anticholinesterase activities of *Ephedra alata* subsp. *alenda* growing in Algeria". *Nat Prod Res*;36:5910-5915.
- [10] Ahmed W., Azmat R., Mehmood A., Qayyum A., Ahmed R., Khan S.U., et al. (2021). "The analysis of new higher operative bioactive compounds and chemical functional group from herbal plants through UF-HPLC-DAD and Fourier transform infrared spectroscopy methods and their biological activity with antioxidant potential process as future green chemical assay". *Arabian Journal of Chemistry*;14.
- [11] Castañeda-Loaiza V., Placines C., Rodrigues M.J., Pereira C., Zengin G., Uysal A., et al. (2020). "If you cannot beat them, join them: Exploring the fruits of the invasive species *Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br as a source of bioactive products". *Industrial Crops and Products*;144.

- [12] Abubakar A.R., Haque M. (2020). "Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes". *J Pharm Bioallied Sci*;12:1-10.
- [13] Moomin A., Russell W.R., Knott R.M., Scobbie L., Mensah K.B., Adu-Gyamfi P.K.T., et al. (2023). "Season, storage and extraction method impact on the phytochemical profile of *Terminalia ivorensis*". *BMC Plant Biol*;23:162.
- [14] Mondal D.D., Chakraborty U., Bera M., Ghosh S., Kar D. (2023). "An overview of nutritional profiling in foods: Bioanalytical techniques and useful protocols". *Front Nutr*;10:1124409.
- [15] Yan Y., Zhang M., Gao J., Qin L., Fu X., Wan J. (2023). "Comparison of methods for detecting protein extracted from excess activated sludge". *Environ Sci Pollut Res Int*;30:60967-60975.
- [16] Malka M., Du Laing G., Bohn T. (2022). "Separate Effects of Foliar Applied Selenate and Zinc Oxide on the Accumulation of Macrominerals, Macronutrients and Bioactive Compounds in Two Pea (*Pisum sativum* L.) Seed Varieties". *Plants (Basel)*;11.
- [17] Bankaji I., Kouki R., Dridi N., Ferreira R., Hidouri S., Duarte B., et al. (2023). "Comparison of Digestion Methods Using Atomic Absorption Spectrometry for the Determination of Metal Levels in Plants". *Separations*;10.
- [18] Molole G.J., Gure A., Abdissa N. (2022). "Determination of total phenolic content and antioxidant activity of *Commiphora mollis* (Oliv.) Engl. resin". *BMC Chem*;16:48.
- [19] Hmamou A., Eloutassi N., Alshawwa S.Z., Al Kamaly O., Kara M., Bendaoud A., et al. (2022). "Total Phenolic Content and Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Papaver rhoeas* L. Organ Extracts Growing in Taounate Region, Morocco". *Molecules*;27.
- [20] Martins G.R., Monteiro A.F., do Amaral F.R.L., da Silva A.S. (2021). "A validated Folin-Ciocalteu method for total phenolics quantification of condensed tannin-rich acai (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds extract". *J Food Sci Technol*;58:4693-4702.
- [21] Tran G.-H., Uy N.-P., Kang S.-H., Heo W., Lee E.-S., Roh S.-S., et al. (2024). "HPLC/DAD Analysis and Antioxidant Activity of Adlay Sprouts and Seeds". *Separations*;11.
- [22] Chaudhry A.W., Memon A.A., Mangi J.U., Gorar M., Zaman N., Mahar Z.A., et al. (2024). "An efficient determination of phenolic compounds by HPLC-DAD and their bioactivity assay from aerial parts of *Eucalyptus tereticornis* plant". *Pakistan Journal of Botany*;56.
- [23] Zargoosh Z., Ghavam M., Bacchetta G., Tavili A. (2019). "Effects of ecological factors on the antioxidant potential and total phenol content of *Scrophularia striata* Boiss". *Sci Rep*;9:16021.
- [24] Abdel-Tawab M. (2021). "Considerations to Be Taken When Carrying Out Medicinal Plant Research-What We Learn from an Insight into the IC(50) Values, Bioavailability and Clinical Efficacy of Exemplary Anti-Inflammatory Herbal Components". *Pharmaceuticals (Basel)*;14.

- [25] Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. (1999). "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay". *Free Radic Biol Med*;26:1231-1237.
- [26] Suriyaprom S., Srisai P., Intachaisri V., Kaewkod T., Pekkoh J., Desvaux M., et al. (2023). "Antioxidant and Anti-Inflammatory Activity on LPS-Stimulated RAW 264.7 Macrophage Cells of White Mulberry (*Morus alba* L.) Leaf Extracts". *Molecules*;28.
- [27] Garcia-Oliveira P., Carreira-Casais A., Pereira E., Dias M.I., Pereira C., Calhelha R.C., et al. (2022). "From Tradition to Health: Chemical and Bioactive Characterization of Five Traditional Plants". *Molecules*;27.
- [28] Yuandani, Jantan I., Rohani A.S., Sumantri I.B. (2021). "Immunomodulatory Effects and Mechanisms of Curcuma Species and Their Bioactive Compounds: A Review". *Front Pharmacol*;12:643119.
- [29] Asigbaase M., Adusu D., Anaba L., Abugre S., Kang-Milung S., Acheamfour S.A., et al. (2023). "Conservation and economic benefits of medicinal plants: Insights from forest-fringe communities of Southwestern Ghana". *Trees, Forests and People*;14.
- [30] Guo C., Zhang Y., Wu D., Wang M., Du Y., Chu J., et al. (2022). "Principal Component Analysis to Assess the Changes of Yield and Quality in *Pinellia ternata* at Different Stages after Brassinolide Treatments". *Int J Mol Sci*;23.
- [31] Amatto P.P.G., Chaves L., Braga G.G., Carmona F., Pereira A.M.S. (2024). "Effect of *Crocus sativus* L. (saffron) and crocin in the treatment of patients with type-2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis". *J Ethnopharmacol*;319:117255.
- [32] Moini Jazani A., Karimi A., Nasimi Doost Azgomi R. (2022). "The potential role of saffron (*Crocus Sativus* L.) and its components in oxidative stress in diabetes mellitus: A systematic review". *Clin Nutr ESPEN*;48:148-157.
- [33] Ng Z.X., Koick Y.T.T., Yong P.H. (2021). "Comparative analyses on radical scavenging and cytotoxic activity of phenolic and flavonoid content from selected medicinal plants". *Nat Prod Res*;35:5271-5276.
- [34] Keskin Çavdar H., Yıldırım Z.İ., Fadiloğlu S. (2021). "Evaluation of the effect of geographical origin and extraction solvents on bioactive and antioxidative properties of *Inula viscosa* L. grown in Turkey by chemometric approach". *European Food Research and Technology*;248:253-261.
- [35] Hussain A., Rasheed H., Khan M.A., Bokhari S.A.I. (2024). "Potentials of TPC and TFC as Free Radical Scavengers and Microbial Growth Inhibitors in Himalayan Endemic *Artemisia sieversiana* Ehrh ex Willd. (Asteraceae) Plant from Northeastern, Pakistan". *Anti-Infective Agents*;22.
- [36] Xu Z., Meenu M., Chen P., Xu B. (2020). "Comparative Study on Phytochemical Profiles and Antioxidant Capacities of Chestnuts Produced in Different Geographic Area in China". *Antioxidants (Basel)*;9.
- [37] Zafar J., Aqeel A., Shah F.I., Ehsan N., Gohar U.F., Moga M.A., et al. (2021). "Biochemical and Immunological implications of Lutein and Zeaxanthin". *Int J Mol Sci*;22.

- [38] Mechchate H., Es-Safi I., Mohamed Al Kamaly O., Bousta D. (2021). "Insight into Gentisic Acid Antidiabetic Potential Using In Vitro and In Silico Approaches". *Molecules*;26.
- [39] Ibrahim R.K., Towers G.H.N. (1959). "Conversion of Salicylic Acid to Gentisic Acid and o-Pyrocatechuic Acid, all Labelled with Carbon-14, in Plants". *Nature*;184:1803-1803.
- [40] Ilyasov I.R., Beloborodov V.L., Selivanova I.A., Terekhov R.P. (2020). "ABTS/PP Decolorization Assay of Antioxidant Capacity Reaction Pathways". *Int J Mol Sci*;21.
- [41] Dudonne S., Vitrac X., Coutiere P., Woillez M., Merillon J.M. (2009). "Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays". *J Agric Food Chem*;57:1768-1774.

## BİYOAKTİF BİLEŞİKLERİN ENKAPSÜLASYONU VE ET VE ET ÜRÜNLERİNDE UYGULAMALARI

Tuba NURİLER<sup>1\*</sup>, Aytunga BAĞDATLI<sup>1</sup>

Accepted: 2024-07-17

DOI: 10.47118/somatbd.1500219

### ÖZET

Enkapsülasyon teknolojisi gıda ürünlerindeki temel bileşenlerin kararlılığını, spesifikliğini ve biyoyararlanımını iyileştirmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Ayrıca, enkapsülasyon teknolojisi, biyoaktif bileşiklerin termal ve oksidatif kararlılıklarını artırmak, kontrollü salınımını gerçekleştirmek ve baskın koku ve tadını maskeleyerek amacıyla uygulama alanı bulan değerli yöntemlerden biridir. Bu teknoloji diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, çekirdek malzemeyi dış ortamdan izole edebilmekte ve istenmeyen bileşenlerin oluşumunu engellemeye yardımcı olabilmektedir. Bu sebeplerle, enkapsülasyon teknolojisi gıdaların raf ömrünü uzatmaya, besin değerini yükseltmeye, çeşitliliğini arttırmaya ve daha sağlıklı gıdalar elde etmeye imkan sağlamaktadır. Bu derleme, et ve et ürünlerinin muhafazasında karşılaşılan zorluklara odaklanarak enkapsüle biyoaktif bileşiklerin et ve et ürünlerine ilave edilmesi, ürünün organoleptik özellikleri üzerindeki etkileri ve raf ömrü süresince meydana gelen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değişimleri hakkında değerli bilgiler sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** enkapsülasyon, biyoaktif bileşikler, antioksidan, antimikrobiyal.

### ABSTRACT

Encapsulation technology has emerged to improve the stability, specificity and bioavailability of basic components in food products. In addition, encapsulation technology is one of the valuable methods that find application in order to increase the thermal and oxidative stability of bioactive compounds, to perform controlled release and to mask the dominant odor and taste. Compared to other methods, this technology can isolate the core material from the external environment and help to prevent unwanted components. For these reasons, encapsulation technology allows to extend the shelf life of foods, increase their nutritional value, increase their variety and obtain healthier foods. This review focuses on the difficulties encountered in the preservation of meat and meat products and provides valuable information about the addition of encapsulated bioactive compounds to meat and meat products, their effects on the organoleptic properties of the product and the physical, chemical and microbiological changes that occur during the shelf life.

**Key words:** encapsulation, bioactive compounds, antioxidant, antimicrobial.

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa/TÜRKİYE

\* htuba93@gmail.com

## 1. GİRİŞ

Et ve et ürünleri, işleme, pişirme ve muhafaza edilmesi sırasında meydana gelen mikrobiyolojik bozulmalara ve lipit ve protein oksidasyonuna karşı oldukça duyarlıdır. Bu durum, gıdanın besin değerinin, aromasının ve dokusunun bozulmasına ayrıca raf ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Et ve et ürünlerinin kalitesini korumanın veya iyileştirmenin geleneksel yolu sentetik gıda katkı maddelerinin kullanılmasıdır (Zhang ve Piao, 2023). Fakat bu kimyasal koruyucuların gıda ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle tüketiciler tarafından doğal kaynaklı koruyucular talep edilmektedir (Amiri ve ark., 2021).

Son yıllarda çeşitli et ve et ürünlerine entegre edilmek üzere önemli antimikrobiyal ve antioksidan özelliklere sahip yeni ve toksik olmayan biyoaktif bileşikler araştırılmaktadır (Konfo ve ark., 2023). Bununla birlikte, doğal olarak oluşan biyoaktif bileşiklerin kimyasal olarak kararsız olduğu, oksidatif parçalanmaya duyarlı olduğu ve formülasyonlarda doğrudan kullanımının sınırlı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, bu bileşiklerin dağıtım, depolama ve işleme koşullarına karşı yüksek hassasiyet gösterdiği ve istenmeyen bir tat oluşturması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Zhang ve ark., 2022). Bu amaçla biyoaktif bileşiklerin enkapsüle edilerek gıda matrisine ilave edilmesiyle bu dezavantajların önüne geçilebileceği belirtilmiştir (Jiang ve ark., 2024).

Enkapsülasyon teknolojisi, biyoaktif bir bileşiği bozulmasına ve biyoyararlanım kaybına neden olabilecek farklı fizikokimyasal faktörlerden (sıcaklık, oksijen, nem, pH vb.) korumak amacıyla bir duvar malzemesi içine hapseden işlem olarak tanımlanmaktadır. Bu teknoloji, ılımlı çalışma koşulları sağladığı için biyoaktif bileşiklerin enkapsüle edilmesine oldukça uygundur. Ayrıca bu teknoloji, diğer kapsülleme tekniklerine kıyasla daha yüksek enkapsüle verimliliği ve daha fazla azaltılmış parçacık boyutu sunmaktadır (Vázquez-González ve ark., 2021).

Enkapsülasyon, biyoaktif bileşikleri korumak için en etkili stratejilerden biridir. Bu stabilizasyon biçimi, püskürtmeli kurutma ve emülsifikasyon teknikleri kullanılarak farklı ölçeklerde maddelerin paketlenmesi için kullanılmaktadır. Enkapsülasyon teknolojisindeki en önemli hedef, hapsedilen bileşiğin veya bileşiklerin orijinal işlevselliğini korumak ve bunların uygun miktarda amaçlanan yere ulaşmasını sağlamaktır. Bu işlevsellik, işleme, depolama ve raf ömrü boyunca korunmalıdır (Olivares-Tenorio ve ark., 2024). Kontrollü salınım olarak belirtilen bu işlevsellik, enkapsülasyon uygulamalarında en önemli parametrelerden ve istenen karakteristik özelliklerden biridir. Salınım oranını etkileyen başlıca faktörler aktif maddenin bulunduğu matris yapısı ve kullanılan duvar materyali ile aktif maddenin kimyasal özellikleri arasındaki ilişkidir. Çekirdekteki aktif maddenin yavaş bozulan bir matris içine enkapsülasyonu, maddenin yavaş ve kontrollü salınımı için imkan sağlamaktadır (Smaoui ve ark., 2021).

Gıda endüstrisinde enkapsülasyon teknolojisinin; kontrollü ve hedefli salınım sağlayabilmesi, gıdadaki besin maddelerinin tutulma süresini iyileştirebilmesi, işleme ve depolama sırasında biyoaktif bileşiklerin stabilitesini ve kullanılabilirliğini koruyabilmesi, gıda matrisiyle istenmeyen etkileşimleri önleyebilmesi, bozulma süreçlerini yavaşlatabilmesi, istenmeyen koku veya tadı maskeleyebilmesi ve biyoaktif bileşiğin işlevselliğini koruyabilmesi gibi birçok avantajı bulunmaktadır (Zhang ve ark., 2022). Enkapsülasyon, gıdalarda özellikle raf ömrünü arttırmak, besin değerini yükseltmek, sindirilebilirliği sağlamak ve olgunlaşma süresini kısaltmak gibi birçok amaçlarla uygulanmaktadır. Son yıllarda et ve et ürünlerinde

enkapsülasyon teknolojisiyle birlikte çeşitli bileşenlerin kullanılması, ürün çeşitliliğinin artmasına ve tüketici sağlığını geliştirici ürünler elde edilmesine imkan sağlamaktadır (Kaur ve Kaur, 2021).

Et ve et ürünlerinin gıda güvenliği ve kalite parametrelerinin korunması amacıyla, çeşitli yöntemler kullanılarak biyoaktif materyaller ile muamele edilmesi çok yaygındır. Enkapsüle edilen biyoaktif materyaller çevresel şartlara daha dirençli hale gelerek uzun süre ortamda etkinliklerini koruyabilmektedir. Bu sebeplerle son yıllarda enkapsülasyon teknolojisi ile gıdaların aromasını, stabilitesini ve raf ömrünü kontrol etmek amacıyla yapılan çalışmalar ivme kazanmıştır (Soyuçok ve ark., 2019). Bu çalışmada, et ve et ürünlerinde meydana gelen bozulmaları geciktirmek veya önlemek ve ürün kalitesini korumak veya arttırmak amacıyla enkapsüle biyoaktif materyallerin kullanımına yönelik yeni çalışmalar derlenmiştir.

## 2. GIDA ENDÜSTRİSİNDE ENKAPSÜLASYON TEKNOLOJİSİ

Enkapsülasyon; katı, sıvı veya gaz halindeki gıda bileşenlerinin kaplanarak kapsüller içinde tutulması ve belirli hızlarda salınmasını sağlayan teknolojidir (Tutun ve Yurdakul, 2022). Kaplanan materyale çekirdek malzemesi, aktif madde, iç faz veya dolgu adı verilirken, enkapsüle etmek için kullanılan maddeye duvar malzemesi, kabuk, taşıyıcı, kapsülleyici ajan, membran veya kaplama malzemesi denilmektedir (Culas ve ark., 2024). Gıda çekirdek malzemeleri arasında esterler, eterler, ketonlar, alkoller, su, gliserin, mentol, aroma bileşenleri, pigmentler, enzimler, mineraller, vitaminler, amino asitler, yağlar, katı yağlar, çeşniler, gıda katkı maddeleri ve probiyotikler bulunmaktadır (Alu'datt ve ark., 2022). Enkapsülasyon teknolojisinde en yaygın kullanılan kaplama malzemeleri; nişasta, selüloz, alginat, pektin, karragenan ve kitosan gibi polisakkaritler, soya, peynir altı suyu, kazein, jelatin ve beta ( $\beta$ )-laktoglobulin gibi proteinler ve hidrojene bitkisel yağlar gibi lipidlerdir (Gökmen ve ark., 2012).

Enkapsülasyon teknolojisinin en önemli amacı aktif olarak kullanılacak çekirdek malzemelerin nanometrik, mikrometrik veya milimetrik ölçülerde kaplama materyali içinde tutulmasını sağlamaktır (Tutun ve Yurdakul, 2022). Enkapsülasyon uygulamaları kapsül boyutuna göre nanoenkapsülasyon ( $<0.2 \mu\text{m}$ ), mikroenkapsülasyon ( $0.2-5,000 \mu\text{m}$ ) ve makroenkapsülasyon ( $>5,000 \mu\text{m}$ ) olarak isimlendirilmektedir (Gökmen ve ark., 2012). Bileşiklerin enkapsüle edilmesinde; püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma, soğutma, eriyik enjeksiyonu, ekstrüzyon, akışkan yataklı kaplama, lipozomal ve niozomal hapsetme, inklüzyon kompleksasyonu ve emülsifikasyon dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar arasında mikroemülsiyonlar ve nanoemülsiyonlar özel avantajlara sahip yeni yaklaşımlardır (Garavand ve ark., 2021).

Enkapsülasyon teknolojisinde kullanılacak olan kaplama materyali seçimi işlemin başarısını etkileyen önemli unsur olmakla birlikte, kaplama materyali çekirdek materyalini dış etkilere karşı bariyer görevi görerek korumak, herhangi başka bir bileşenle reaksiyona girmesini engellemekle görevlidir. Bununla birlikte kaplama materyali istenilen çözgüde çözünebilmeli, çekirdek materyalini çok iyi kaplayarak hem ürünün işlenmesi hem de depolanması sırasında koruyabilme özelliğine sahip olmalıdır. Aynı zamanda istenilen koşullarda çekirdek materyalinin salınımını kolaylaştırırken, düşük maliyetli, tatsız ve temini kolay olmalıdır. Ancak bütün bu özelliklerin tek bir materyal ile sağlanması oldukça güç olduğu için farklı kaplama materyallerinin bir arada kullanılması önerilmektedir (Balcı-Torun, 2019).



Gıdalarda meydana gelen bozulmalar, gıda kaynaklı hastalıklara neden olmakla birlikte gıdaların raf ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Gıda endüstrisinde geliştiren tüm yöntemler; bozulma etmeni mikroorganizmalar, kimyasal maddeler, oksijen, nem, ışık, dış etkenler (darbe, ezilme vb.) gibi istenmeyen faktörleri veya koşulları önleyerek gıdanın raf ömrünü uzatmak ve depolama ve taşıma sırasında gıdanın kalitesini ve güvenliğini korumak için geliştirilmektedir (Zhu ve ark., 2024). Enkapsülasyon teknolojisinin gıda endüstrisinde uygulanması oldukça eskiye dayanmaktadır. Özellikle son yıllarda fonksiyonel gıdaların öneminin giderek artması sonucunda enkapsülasyon işlemi gıda sektörü için daha fazla önem kazanmıştır (Alu'datt ve ark., 2022).

### 3. BİYOAKTİF BİLEŞİKLER

Biyoaktif bileşikler, çeşitli yaşam olaylarında önemli roller oynayan organizmalarda eser veya küçük miktarlarda bulunan maddelerdir. Bu bileşenler arasında terpenoidler, steroller, alkaloidler, glikozitler, reçineler, bitki pigmentleri, mineral elementler, enzimler ve vitaminler bulunmaktadır (Xu ve ark., 2024). Doğal olarak türetilen antioksidan ve antimikrobiyal özellikler çay, bitkiler, baharatlar, tahıllar, ağaçlar, meyveler ve sebzeler yoluyla elde edilmektedir (Zhang ve ark., 2022). Doğal olarak oluşan bu biyoaktif moleküller, et ve et ürünlerinde oksidasyonu engelleyen veya geciktiren antioksidanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca antioksidan aktiviteye ek olarak, çoğu doğal biyoaktif bileşik antimikrobiyal antikanserijen, antiinflamatuar ve antiviral özelliklere de sahip olmaktadır (Nkurunziza ve ark., 2021).

Biyoaktif bileşiklerin daha güvenli ve daha etkili olduğuna dair kanıtlar, et endüstrisinde sentetik antioksidanların yerini almak üzere et sistemlerine bitki kaynaklı biyoaktif maddeler ilave etmeye yönelmiştir. Sonuç olarak yeşil çay, sarımsak, adaçayı, üzüm, soğan, kakao, kekik, biberiye vb. gibi bazı bitkiler, GRAS (Genel Olarak Güvenli Kabul Edilir) akreditasyonu sebebiyle güvenli olarak görülmektedir. Son yıllarda çeşitli et ve et ürünlerine entegre edilmek üzere çeşitli bitkiler araştırılmaktadır (Zhang ve ark., 2022). Ancak çeşitli çalışmalarda, doğal kaynaklı biyoaktif bileşiklerin doğrudan gıda matrisine eklendiğinde, duyuşal özellikleri olumsuz yönde etkileyebileceği ve istenen antioksidan ve antimikrobiyal özelliklerinin depolamanın son günlerinde azaldığı belirlenmiştir. Bu sebeplerle enkapsülasyon teknolojisi, biyoaktif bileşiklerin kontrollü salınımını gerçekleştirerek olumsuz çevre şartlarında ve istenen raf ömrü boyunca antioksidan ve antimikrobiyal özellikler sergilenmesine imkan sağlayan bir yöntem olarak önerilmektedir (Rahmemon ve ark., 2021).

Enkapsülasyon teknolojisi, biyoaktif materyalleri bir veya daha fazla duvar malzemesi yoluyla korumak için etkili bir yöntemdir. Böylelikle biyoaktif materyallerin, gıda bileşenleriyle doğrudan etkileşimi önlenir ve bu materyallerin biyolojik aktiviteleri artırılabilir (Zhang ve Piao, 2023). Bu amaçla biyoaktif bileşiklerin enkapsüle edilmesine dayalı yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Chen ve ark., (2020) kurkimini Xu ve ark., (2022) fenoller ve flavonoidler içeren bitki ekstraktlarını enkapsüle ederek etkilerini incelemiş ve iki çalışmada da serbest formlarından daha yüksek oksidatif kararlılık gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, tannik asit-Fe III kompleksi ile oluşturulan mikrokapsüllerin, çekirdek malzemeyi oksidasyondan daha etkili bir şekilde koruduğu belirtilmiştir (Xu ve ark., 2022).

#### 4. ENKAPSÜLE BİYOAKTİF BİLEŞİK İÇEREN ET VE ET ÜRÜNLERİ

Gıda endüstrisinde et ve et ürünlerinin mikrobiyal bozulmaları, protein ve lipit oksidasyonlarını yavaşlatabilecek, kalitesini iyileştirebilecek ve raf ömrünü uzatabilecek doğal alternatif yollar aranmaktadır (Manassi ve ark., 2022). Geliştirilen yöntemlerdeki amaç, gıdaların daha güvenilir bir şekilde üretilmesi, besin değerini kaybetmemesi, mümkün olduğunca doğal ve sağlıklı olmasıdır. Bu sebeple sağlıklı ve güvenli gıda üretmek amacıyla gıda endüstrisinde gıda kaynaklı patojenleri önlemek ve gıdaların bozulmasını kontrol altına almak amacıyla birçok yöntem araştırılmaktadır. Son yıllarda, et ve et ürünlerinde doğal biyoaktif bileşiklerin kullanılması ve bu bileşiklerin çeşitli yöntemlerle entegre edilmesi yönünde çalışmalar hız kazanmaktadır (Zhang ve Piao, 2023). Bu amaçla enkapsülasyon teknolojisiyle biyoaktif bileşik içeren et ve et ürünleri yönünde yapılan çalışmalar literatürde araştırılmaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar irdelendiğinde enkapsülasyon teknolojisi et ve et ürünlerinde mikrobiyal gelişim, lipit oksidasyonu, duyu özellikler ve fizikokimyasal özellikler açısından değerlendirilmiştir. Surendhiran ve ark., (2020), kitosan ve etilen oksit kaplama materyallerini kullanarak nar kabuğu ekstraktını enkapsüle etmiş ve sığır etine uygulamıştır. Enkapsüle nar kabuğu ekstraktının önemli fizikomekanik, termal ve antimikrobiyal özellikler sergilediği ve ambalajlamada etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, in vitro deneyler sonucunda uygun ortamda yavaşça salınan kapsüllenmiş nar kabuğu ekstraktının *E. coli* oluşumunu büyük ölçüde inhibe ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca Najjaa ve ark., (2020), spreyle kurutma yöntemi ile *Allium sativum* esansiyel yağını (%5, %10, %15, %20) mikroenkapsüle ederek sığır eti kıymasına uygulamış antimikrobiyal etkinliğini araştırmıştır. Çalışmada mikroenkapsüle *Allium sativum* esansiyel yağ oranının artmasıyla *E. coli* gelişiminin önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir.

Sığır eti köftesinin raf ömrünü iyileştirmek amacıyla Morsy ve ark., (2019) nar kabuğu nanopartiküllerini enkapsüle ederek köftelere uygulamış ve etkisini incelemiştir. Enkapsüle nar kabuğu nanopartikülleri ile muamele edilen köftelerin raf ömrünün 15 güne kadar uzadığı ve depolama boyunca su tutma kapasitesinin ve pişirme veriminin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Hadian ve ark., (2017) enkapsüle *Rosmarinus officinalis* uçucu yağının *Salmonella Typhimurium*'a karşı antibakteriyel aktivitesini çeşitli et ürünleri için değerlendirmiştir. Çalışmada 2 mg/g lik enkapsüle *Rosmarinus officinalis* uçucu yağının kullanımıyla antimikrobiyal etki sağlanmış ve 12 günlük depolama süresine ulaşabileceği tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada, nitrit kullanımını azaltmak amacıyla Vafania ve ark., (2019), jelatin/kitosan kaplama materyali kullanarak kekik esansiyel yağını (%20- %40) enkapsüle etmiş ve sosislere uygulamıştır. Enkapsüle kekik esansiyel yağı içeren sosislerde *C. perfringens* sayılarının kontrol grubuna göre daha az sayıda geliştiği gözlemlenmiştir.

Çeşitli kaplama materyallerinin araştırıldığı bir çalışmada, Esmaceli ve ark., (2020) kitosan veya peynir altı suyu proteini kaplama materyallerini kullanarak sarımsak esansiyel yağını enkapsüle etmiş ve sosislere uygulamıştır. Kontrol ile kıyaslandığında tüm uygulama yöntemlerinin mikrobiyal gelişmeyi ve lipit oksidasyonunu geciktirdiği bildirilmiştir. En iyi sonuçlar ise kitosan kaplama materyali kullanılarak üretilen enkapsüle sarımsak esansiyel yağ uygulanan örneklerde elde edilmiştir. Ayrıca Oliveira ve ark., (2022) jelatin veya kitre zamkı kaplama materyali kullanarak zeytin yaprağının fenolik ekstraktını liyofilizasyon yöntemiyle enkapsüle etmiştir. Çalışmada enkapsüller koyun eti hamburgerine uygulanarak oksidatif bozulma açısından etkisi araştırılmıştır. Kaplama materyali olarak kitre zamkı ve jelatinin

birlikte kullanıldığı enkapsüller ile diğer gruplara göre daha yüksek enkapsülasyon etkinliği ve antioksidan aktivite değerleri elde edilmiştir. Başka bir çalışmada, Snoussi ve ark., (2022) kitosan, arap zıncı ve medyan zincirli triagliseroller içeren kaplama materyaline farklı konsantrasyonlarda kekik esansiyel yağı (%0-2-2,5-3-3,5) ilave ederek nanoemülsiyonlar üretmiştir. Nanoemülsiyonlar taze sığır etine uygulanmış ve kontrol grubu ile depolama parametreleri açısından kıyaslanmıştır. Çalışmada kekik uçucu yağının %2 oranında kullanılmasıyla emülsifikasyon özelliklerinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, diğer gruplar ile kıyaslandığında kontrol grubunda daha yüksek pH ve TBA değerleri elde edildiği belirlenmiştir.

Çeşitli bitkisel yağların et ürünlerine ilave edilmesiyle istenmeyen duyu kalite özellikleri gelişebilmektedir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada Heck ve ark., (2017) yüksek n-3 PUFA seviyelerine sahip chia ve keten tohumu yağını sodyum aljinat ve CaCl<sub>2</sub> kaplama materyali ile enkapsüle ederek burgerlere uygulamıştır. Çalışmada, doğrudan chia ve keten tohumu yağı içeren örneklerle kıyasla bu yağların enkapsüle edilerek burgerlere uygulanmasıyla daha iyi tekstürel özellikler sağlanmıştır. Ayrıca bu yağların enkapsüle yöntemiyle et ürünlerine ilave edilmesinin tekstürü olumsuz etkilemediği için umut verici bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Sarmast ve ark., (2023) laktik asit bakterileri tarafından üretilen bakteriyosinler ve uçucu yağlar (EO) içeren çeşitli biyoaktif bileşenlerin jelatin bazlı enkapsülasyonunu gerçekleştirmiş ve köftelere uygulamıştır. Çalışmada narenciye ekstraktının, tarçın ve kekik uçucu yağların 20 ile 5000 ppm arasında patojen mikroorganizmalara karşı sinerjistik etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca enkapsülasyon uygulamasıyla biyoaktif bileşiklerin daha iyi korunduğu ve mikrobiyal gelişmeyi, lipid oksidasyonunu ve renk değişikliklerini geciktirmede etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Radünz ve ark., (2020) kekik esansiyel yağını doğrudan veya enkapsüle ederek hamburger tipi et ürünlerine uygulamış ve antioksidan ve antimikrobiyal etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada incelenen farklı mikroorganizmalara karşı enkapsüle kekik esansiyel yağının, doğrudan ilave edildiği yöntemle göre daha yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği ve mikrobiyal bozulmaları önemli ölçüde geciktirdiği belirtilmiştir. Başka bir çalışmada, Ghaderi-Ghahfarokhi ve ark., (2017) tarçın esansiyel yağını köftelere doğrudan veya enkapsüle ederek uygulamıştır. Çalışmada, doğrudan tarçın esansiyel yağı içeren örneklerin renk ve koku değerlerinin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca tarçın esansiyel yağının enkapsüle edilerek köftelere uygulanmasıyla mikrobiyal gelişmenin geciktirildiği ve tüketici kabul edilebilirliğinin iyileştirildiği tespit edilmiştir. Masoomian ve ark., (2023) modifiye atmosfer paketleme (MAP) ve nanoenkapsüle narenciye ekstraktı ve kekik esansiyel yağının (%0,05-0,1-0,2) kombinasyonunu kıymaların 4 °C'de depolanmasında uygulamıştır. Sonuçlar incelendiğinde, %0,2 oranında esansiyel yağ içeren nanoenkapsüllerde, depolamanın 34. gününde esansiyel yağların %50'sinin korunarak en yüksek değere sahip olduğu bildirilmiştir. Nanoenkapsüle esansiyel yağlar ve MAP kombinasyonun, mikrobiyal gelişmeyi geciktirmede önemli bir sinerjik etkiye sahip olduğu kontrol grubuyla karşılaştırıldığında kıymanın raf ömrünü 3-4 gün uzattığı belirlenmiştir.

Tometri ve ark., (2020) lesitin kaplama materyali kullanarak *Laurus nobilis* yaprağı ekstraktını nano-lipozom yöntemiyle enkapsüle etmiş ve sığır etine uygulamıştır. *Laurus nobilis* yaprağı ekstraktının 1500 ppm oranda enkapsüle edilerek uygulanmasıyla oksidasyon sürecinin ve mikrobiyal bozulmaların geciktirildiği tespit edilmiştir. Gorzin ve ark., (2024) maltodekstrin/zamk arabik kaplama çözeltisinde *Oliveria decumbens* Vent. (OEO) ve fesleğen (BEO) esansiyel yağlarını dondurarak kurutma yöntemiyle enkapsülasyonunu gerçekleştirerek

sığır kıymasına uygulamış ve duyuşal özellikler, antioksidan ve antibakteriyel aktiviteler açısından değerlendirmiştir. Çalışmada, hem serbest hem de enkapsüle OEO ve BEO'ların çeşitli gram pozitif ve gram negatif bakterilere karşı önemli derecede antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca tiyobarbiturik asit değerlerinin esansiyel yağların eklenmesiyle daha iyi korunduğu belirtilmiştir. Duyusal analizler doğrultusunda, enkapsülasyon işleminde kullanılan esansiyel yağların doğal lezzet ve aromalarının etkili bir şekilde maskelendiği ve bu sayede kıyma örneklerine ilave edilmeye uygun hale geldiği sonucuna varılmıştır.

Goudarzi ve ark., (2023) akıllı ambalajlama sistemi içerisinde kullanılmak üzere enkapsüle Prunus domestica ekstraktı (PDE; %3) ve epigallokateşin gallat (EGCG; 5 ve 10 µg/ml) içeren k-karragenan-poli(vinil alkol) (KC-PVA) elektrodeğirme fiber matları üretmiştir. KC-PVA elektrodeğirme fiber matları, soğuk depolama sırasında çiğ kıyma etinin bozulmasını izlemek ve raf ömrü kalitesini artırmak amacıyla uygulanmıştır. Çalışmada, en düşük mikrobiyal ve kimyasal değişimler KC-PVA-EGCG 5 µg/ml-PDE 3% örneklerinde en yüksek duyuşal puanlar ise KC-PVA-EGCG 10 µg/ml-PDE 3% elektrodeğirme fiber matlarıyla paketlenmiş örneklerde bulunmuştur. Ayrıca çalışmanın sonunda, KC-PVA-PDE 3% elektrodeğirme fiber matlarıyla paketlenmiş numunelerin toplam canlı sayısı, pH ve toplam uçucu bazık azotu sırasıyla 7,21 log CFU/g, 6,63 ve 28,07 mg N/100 g'a ulaştığı ve bu grup için matların renginin beyazdan morumsu-kırmızıya değiştiiği saptanmıştır. Bu sebeple enkapsüle PDE ve EGCD içeren elektrodeğirme fiber matlarının soğuk depolama sırasında kıyma eti için akıllı bir ambalaj malzemesi olarak kullanılabilieceği belirtilmiştir.

## SONUÇ

Et ve et ürünlerinin güvenliğini ve muhafazasını iyileştirme potansiyeline sahip olan enkapsülasyon teknolojisinin geliştirilmesi ve uygulanması gelecek vadettmektedir. Son çalışmalar, enkapsüle biyoaktif bileşiklerin kararlılık, biyoaktivite ve kontrollü salınım özellikleri açısından serbest formlarından daha iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca enkapsülasyon teknolojisiyle, biyoaktif materyallerin duyuşal kaliteyi olumsuz etkileyen baskın koku ve tat gibi sorunları aşılmaktadır. Ancak, enkapsülasyon işleminde meydana gelen enerji tüketimi, yüksek hazırlama maliyetleri, enkapsülasyon oranındaki sınırlamalar ve hassas kontrollü salınım gibi zorluklar hala mevcuttur. Bu sorunları ele almak için, enkapsülasyon teknolojisindeki temel araştırmaları güçlendirmek çok önemlidir. Ayrıca, araştırmalarda daha yüksek bir doğruluk sağlayacağı için enkapsüle biyoaktif bileşiklerin kontrollü salınımının modellenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, çevre dostu, enerji açısından verimli ve düşük hazırlama gereksinimleri olan yeni enkapsülasyon teknolojilerinin geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Ayrıca bir diğer önemli konu ise enkapsüle biyoaktif bileşiklerin aktivitesini etkileyebilecek olan yüksek hidrostatik basınç, mikrodalga, ohmik ısıtma, ışınlama ve ultrason gibi yeni teknolojilerin araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan araştırmalar ve teknolojik gelişmelerle birlikte enkapsülasyon teknolojisinin et ve et ürünlerinin muhafazasında geleneksel bir süreç haline gelmesi beklenmektedir. Ayrıca, bu teknoloji çok yönlü uygulama alanı bularak enzim enkapsülasyonu, enkapsüle biyosensör üretimi ve kendi kendini imha gibi yeni teknolojilerin geliştirilmesine fırsat sağlayacaktır. Sonuç olarak, enkapsülasyon teknolojisinin; gıdaların işlenmesinde, gıda kalitesinin, verimliliğinin ve raf ömrünün artırılmasında ayrıca gıdalarda meydana gelen bozulmaların tespitinde daha büyük bir rol oynayacağı beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

- Amiri, S., Moghanjoui, Z.M., Bari, M.R., Khaneghah, A.M. (2021). “Natural protective agents and their applications as bio-preservatives in the food industry: An overview of current and future applications”. *Italian Journal of Food Science.*, 33, 55-68. DOI 10.15586/ijfs.v33iSP1.2045
- Balcı-Torun, F. (2019). “Farklı enkapsülasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen aroma kapsüllerinin depolama stabilitesinin ve gıda katkı maddesi olarak kullanımının araştırılması”. Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Türkiye.
- Chen, Y., Tai, K., Ma, P., Su, J., Dong, W., Gao, Y., Mao, L., Liu, J., Yuan, F. (2021). “Novel  $\gamma$ -cyclodextrin-metal-organic frameworks for encapsulation of curcumin with improved loading capacity, physicochemical stability and controlled release properties”. *Food Chemistry*, 347, 128978. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128978>
- Culas, M.S. Popovich, D.G. Rashidinejad, A. (2024). “Recent advances in encapsulation techniques for cinnamon bioactive compounds: A review on stability, effectiveness, and potential applications”. *Food Bioscience*, 57, 103470. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103470>
- Esmaili H., Cheraghi N., Khanjari, A., Rezaeigolestani, M., Basti, A.A., Kamkar, A., Aghaee, E.M. (2020). “Incorporation of nanoencapsulated garlic essential oil into edible films: A novel approach for extending shelf life of vacuum-packed sausages”. *Meat Science*, DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108135
- Garavand, F., Jalai-Jivan, M., Assadpour, E., Jafari, S.M. (2021). “Encapsulation of phenolic compounds within nano/microemulsion systems: A review”. *Food Chemistry*, 1, 364, 130376. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130376.
- Ghaderi-Ghahfarokhi, M., Barzegar, M., Sahari, M.A., Gavlighi, H.A., Gardini, F. (2017). “Chitosan-cinnamon essential oil nano-formulation: Application as a novel additive for controlled release and shelf life extension of beef patties”. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 19–28.
- Gorzin, M., Saeidi, M., Javidi, S., Seow, E-K., Abedinia, A. (2024). “Nanoencapsulation of *Oliveria decumbens* Vent./basil essential oils into gum arabic/maltodextrin: Improved in vitro bioaccessibility and minced beef meat safety”. *International Journal of Biological Macromolecules*, 270, 132288.
- Goudarzi, J., Moshtaghi, Hamdollah, Yasser, S. (2023). “Kappa-carrageenan-poly(vinyl alcohol) electrospun fiber mats encapsulated with *Prunus domestica* anthocyanins and epigallocatechin gallate to monitor the freshness and enhance the shelf-life quality of minced beef meat”. *Food Packaging and Shelf Life*, 35, 101017. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.101017>
- Gökmen, S. Palamutoğlu, R., Sariçoban, C. (2012). “Gıda Endüstrisinde Enkapsülasyon Uygulamaları”. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 36-50.

- Hadian, M., Rajaei, A., Mohsenifar, A., Tabatabaei, M. (2017). "Encapsulation of Rosmarinus officinalis essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antibacterial activity in beef cutlet against Salmonella typhimurium during refrigerated storage". LWT, 84, 394–401.
- Heck, R.T., Vendruscolo, R.G., de Araújo Etchepare, M., Cichoski, A.J., de Menezes, C.R., Barin, J.S., Sampagnol, P.C.B. (2017). "Is it possible to produce a low-fat burger with a healthy n-6/n-3 PUFA ratio without affecting the technological and sensory properties"? Meat Science, 130, 16–25.
- Jiang, G., Ramachandriah, K., Zhao, C. (2024). "Advances in the development and applications of nanofibers in meat products". Food Hydrocolloids, 146, 109210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109210>
- Kaur, R., Kaur, L. (2021). "Encapsulated natural antimicrobials: A promising way to reduce microbial growth in different food systems". Food Control, 123, 107678.
- Konfo, T.R.C., Djouhou, F.M.C., Koudoro, Y.A., Dahouenon-Ahoussi, E., Avlessi, F., Sohounhloue, C.K.D., Simal-Gandara, J. (2023). "Essential oils as natural antioxidants for the control of food preservation". Food Chemistry Advances, 2, 100312. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100312>
- Manassi, C.F., de Souza, S.S., Hassemer, G.S., Sartor, S., Lima, C.M.G., Miotto, M., Lindner, J.D., Rezzadori, K., Pimentel, T.C., Ramos, G.L.P.A., Esmerino, E., Duarte, M.C.K.H., Marsico, E.T., Verruck, S. (2022). "Functional meat products: Trends in pro-, pre-, syn-, para- and post-biotic use". Food Research International, 154, 111035, doi: 10.1016/j.foodres.2022.111035.
- Masoomian, M., Sarmast, E., Salmieri, S., Lacroix, M. (2023). "Application of nano-encapsulated antimicrobial compounds combined with MAP for bio-preservation of ground meat". Journal of Food Measurement and Characterization, 17, 6552–6565. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02141-x>
- Morsy, M. K., Mekawi, E., Elsabagh, R. (2018). "Impact of pomegranate peel nanoparticles on quality attributes of meatballs during refrigerated storage". LWT, 89, 489–495.
- Najjaa, H., Chekki, R., Elfalleh, W., Tlili, H., Jaballah, S., Bouzouita, N. (2020). "Freezedried, oven-dried, and microencapsulation of essential oil from Allium sativum as potential preservative agents of minced meat". Food Science & Nutrition, 8(4), 1995–2003.
- Nkurunziza, D., Sivagnanam, S.P., Park, J-S., Cho, Y-J., Chun, B.S. (2021). "Effect of wall materials on the spray drying encapsulation of Brown seaweed bioactive compounds obtained by subcritical water extraction". Algal Research, 58, 102381. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102381>
- Oliveira, F.M., Oliveira, R.M., Buchweitz, L.T.G., Pereira, J.R., Hackbart, H.C.S., Nalério, E.S., Borges, C.D., Zambiasi, R.C. (2022). "Encapsulation of olive leaf extract (*Olea europaea* L.) in gelatin/tragacanth gum by complex coacervation for application in sheep meat hamburger". Food Control, 131, 108426.

Olivares-Tenorio, M-L., Cortes-Prieto, C-M., Londoño-Univio, N-C., Rojas-Díaz, D-A., Quintanilla-Carvajal, M-X., Tibaquira-Perez, L-N., Ricaurte-Puentes, L-Y., Rada-Bula, A-I., Romero, H-M., Garcia-Nuñez, J-A. (2024). "Bioactive compounds in palm oil: A comprehensive review of recent advances in physicochemical characteristics, health-promoting properties and technologies for extraction, concentration, fractionation, encapsulation and functional food applications". *Journal of Food Composition and Analysis*, 132, 106306. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106306>

Radünz, M., Hackbart, H.C.S., Camargo, T.M., Nunes, C.F.P., Barros, F.A.P., Magro, J.D., Filho, P.J.S., Gandra, E.A., Radünz, A.L., Zavareze, E.R. (2020). "Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products". *International Journal of Food Microbiology*, 330, 108696.

Rahnemoon, P., Sarabi-Jamab, M., Bostan, A., Mansouri, E. (2021). "Nano-encapsulation of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract and evaluation of its antimicrobial properties on coated chicken meat". *Food Bioscience*, 43(3), 101331. DOI:10.1016/j.fbio.2021.101331

Sarmast, E., Foudjing, G.G.D., Salmieri, S., Lacroix, M. (2023). "Application of combined essential oils and bacteriocins encapsulated in gelatin for bio-preservation of meatballs". *Journal of Food Safety*, 43, 13080. <https://doi.org/10.1111/jfs.13080>

Smaoui, S., Hlima, H.B., Braïek, O.B., Ennouri, K., Mellouli, L., Khaneghah, A.M. (2021) "Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation". *Meat Science*, 181, 108585.

Snoussi, A., Chouaibi, M., Koubaier, H-B-H., Bouzouita, N. (2022) Encapsulation of Tunisian thyme essential oil in O/W nanoemulsions: Application for meat preservation. *Meat Science*, 188, 108785.

Soyuçok, A., Kılıç, B., Başyigit-Kılıç, G. (2019). "Et Ürünlerinde Enkapsülasyon Teknolojisinin Kullanımı". *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 102-110.

Surendhiran, D., Li, C., Cui, H., Lin, L. (2020). "Fabrication of high stability active nanofibers encapsulated with pomegranate peel extract using chitosan/PEO for meat preservation". *Food Packaging and Shelf Life*, 23, 100439.

Tometri, S.S., Ahmady, M., Ariaii, P., Soltani, M.S. (2020). "Extraction and encapsulation of *Laurus nobilis* leaf extract with nano-liposome and its effect on oxidative, microbial, bacterial and sensory properties of minced beef". *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(6), 3333-3344.

Tutun, S., Yurdakul, Ö. (2022). "Enkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı". *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni*, 13, (2), 99-119. DOI: 10.38137/vftd.1096571

Vafania, B., Fathi, M., Soleimani-Zad, S. (2019). "Nanoencapsulation of thyme essential oil in chitosan-gelatin nanofibers by nozzle-less electrospinning and their application to reduce nitrite in sausages". *Food and Bioproducts Processing*, 116, 240-248.

Vázquez-González, Y., Prieto, C., Filizoglu, M.F., Ragazzo-Sánchez J.A., Calderón-Santoyo, M., Furtado, R.F., Cheng, H.N., Biswas, A., Lagaron, J.M. (2021). "Electrosprayed cashew gum microparticles for the encapsulation of highly sensitive bioactive materials". *Carbohydrate Polymers*, 264, 118060. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118060>

Zhang, L., Piao, X. (2023). "Use of aromatic plant-derived essential oils in meat and derived products: Phytochemical compositions, functional properties, and encapsulation". *Food Bioscience*, 53, 102520. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102520>

Zhang, D., Ivane, N.M.A., Haruna, S.A., Zekrumah, M., Elysé, F.K.R., Tahir, H.E., Wang, G., Wang, C., Zou, X. (2022). "Recent trends in the micro-encapsulation of plant-derived compounds and their specific application in meat as antioxidants and antimicrobials". *Meat Science*, 191, 108842. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108842>

Zhu, Y., Gu, M., Su, Y., Li, Z., Xiao, Z., Lu, F., Han, C. (2024). "Recent advances in spoilage mechanisms and preservation technologies in beef quality: A review". *Meat Science*, 213, 109481. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109481>

Xu, R., Deng, W., Dai, Y., Hu, J. (2022). "pH-responsive citral microcapsules with tannic acid-Fe<sup>III</sup> coordination complexes". *Food Chemistry*, 397, 133715. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133715>

Xu, Y., Yan, X., Zheng, H., Li, J., Wu, X., Xu, J., Zhen, Z., Du, C. (2024). "The application of encapsulation technology in the food Industry: Classifications, recent Advances, and perspectives".



**T.C. MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ**  
**SOMA MESLEK YÜKSEKOKULU TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ**  
**YAZIM KURALLARI VE YAYIN İLKELERİ**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi**, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu tarafından yılda iki kez yayımlanır. Dergide, Meslek Yüksekokulları Teknik Programlarında yer alan anabilim dallarıyla ilgili konularda özgün ve nitelikli çalışmalar, yabancı dillerden Türkçe'ye çeviriler ve güncel tez özetleri yayımlanabilir.

Dergiye gönderilen eserlerde aranacak yayın ilkeleri ve yazım kuralları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

**1-)** Dergiye gönderilen yazı ve makaleler daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış ve yayın hakları verilmemiş olmalıdır.

**2-)** Dergide yayınlanacak yazı ve makaleler Türkçe, İngilizce, Fransızca ve Almanca'dan herhangi biriyle yapılabilir. Ancak Türkçe hazırlanan çalışmalarda Türk Dil Kurumunun belirlediği kurallar esas alınmalıdır. Çalışmanın başında Türkçe başlık ve en fazla 200 sözcükten oluşan Türkçe ve İngilizce özet ile en fazla 10 tane anahtar sözcük verilmelidir.

**3-)** Dergide yayımlanacak çalışmaların biçim sırası

- Türkçe başlık
- Özet
- Anahtar sözcükler
- İngilizce özet
- İngilizce anahtar sözcükler
- Metin
- Kaynaklar
- Ekler

şeklinde olmalıdır.

**4-)** Çalışmanın başlığı sol üst kenardan 6 cm. aşağıdan yazılmalıdır. Başlığın sağ alt tarafına yazar veya yazarların adları akademik ünvanlarla birlikte yazılmalı çalıştığı kurum, iletişim ve elektronik posta adresleri ise adların yanına konulacak dipnot işaretleriyle sayfa altına verilmelidir. Eğer çalışma başka bir kurumdan destek aldıysa başlık yanına verilecek dipnotla sayfa altına ilgili kurum yazılmalıdır.

**5-)** Dergiye gönderilecek yazı ve makaleler MS Word programında yazılmış üç kopya olarak eposta veya kargo yoluyla gönderilmelidir.

**6-)** Çalışmalar ekleriyle birlikte 15 sayfayı geçmemelidir.

**7-)** Metin yazımı A4 boyutundaki kağıda tek aralıklı olarak times new roman tur karakteriyle 10 punto, dipnot ve açıklamalar 8 punto ile yazılmalıdır. Başlıklar 12 punto koyu, özet ve dipnotlar tek ara ile yazılmalıdır. Sayfa boyutları sol 5 cm, sağ 4 cm, üst 7 cm ve alt 5 cm. olacak şekilde ayarlanmalıdır.

**8-)** Metin içindeki alıntı ve aktarma yoluyla kullanılan kaynaklar; parantez sistemine göre soyadı, yılı ve sayfası olacak şekilde metin içinde cümle bitiminde gösterilmeli ve ayrıca kaynakçada da yer almalıdır. Açıklama ve diğer dipnotlar numaralandırma esasına göre metnin sonuna eklenmelidir.

**9-)** Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi** ulusal hakemli bir dergidir. Dergiye gönderilen yazı ve makaleler ilgili alandaki en az iki hakeme gönderilir. Oy birliği sağlanamazsa üçüncü bir hakeme gönderilerek sonuca karar verilir. Yazı ve makalelerin içeriğinden yazarlar ve hakemler sorumludur.

**10-)** Yazı ve makalesi yayımlanan her yazara derginin ilgili sayısından 1 adet gönderilir. Ayrıca telif ücreti ödenmez.

**11-)** Dergi yayın ilkelerine, yazım kurallarına ve bilimsel araştırma yöntemlerine uygun olmayan yazı ve makaleler yayın kurulunca dikkate alınmaz.