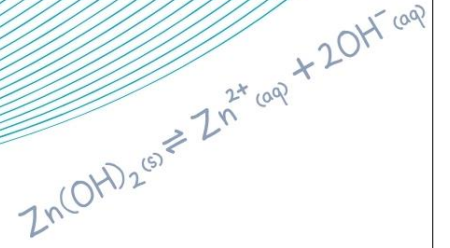
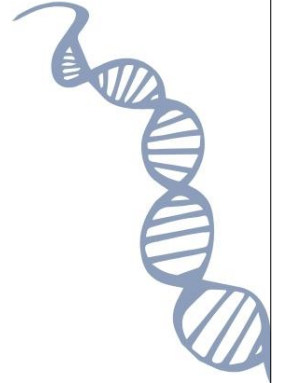


e-ISSN: 2667-7814

$$m = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}$$



ALANYA  
ALAADDİN  
KEYKUBAT  
ÜNİVERSİTESİ



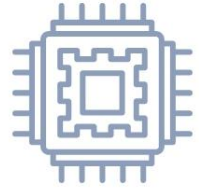
0101001  
1111101  
0101010  
0101001  
1111101  
0101001

ALKÜ  
FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

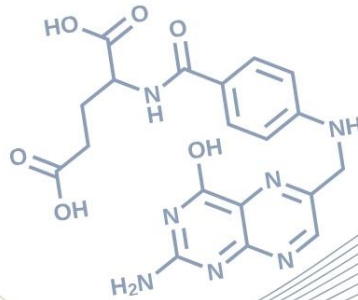
Cilt: 6 Sayı: 3 (Eylül-Aralık 2024)

ALKU  
JOURNAL OF SCIENCE

Volume: 6 Issue: 3 (September-December 2024)



$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$$



$$E = mc^2$$

## **DERGİNİN KÜNYESİ / JOURNAL INFO**

**Derginin Adı / Journal Name:** ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi / ALKU Journal of Science

**Kısa Adı/ Short Name:**

**e-ISSN:** 2667-7814

**Doi prefix:** 10.46740/alku.

**Yayın Dili / Publication Language :** Türkçe / English

**Yayın Periyodu / Publication Period:** Yılda üç kez (Nisan, Ağustos ve Aralık) / Three times a year (April, August, and December)

**Sahibi / Owner:** Prof. Dr. Kenan Ahmet TÜRKDOĞAN, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rektörü

**Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Publishing Manager:** Doç. Dr. Sefa YILDIRIM

**Kuruluş / Establishment:** ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi tarafından tüm mühendislik bilimleri ve temel bilimler alanında yılda 3 kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimizde, Türkçe ve İngilizce dillerinde orijinal araştırma çalışmaları ve derlemeler yayımlanmaktadır. Bu dergi, hakemli ve açık erişimli bir uluslararası mühendislik bilimleri ve temel bilimler dergisidir. Değerlendirme ve yayınlanma süreçlerinde yazarlardan ücret talep edilmez.

ALKU Journal of Science is an international, peer-reviewed journal which is published by Rafet Kayış Engineering Faculty of Alanya Alaaddin Keykubat University in all areas of engineering and basic science. ALKU Journal of Science is a triannually published open access journal operating an online submission and peer review system which allows authors to submit articles online and track their progress. No charges are required from the authors in all of the publication steps.

**Dizinler ve Platformlar / Indexing and Platforms:** Google Scholar, Cosmos Impact Factor, ResearchBip, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Asos Index, International Innovative Journal Impact Factor(IIJIF), Scientific Indexing Services(SIS)

**Web Adresi/ Web address :** <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

**Yayınlayan Kuruluş / Publisher :** Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi / Alanya Alaaddin Keykubat University

**Makale gönderim ve takip sistemi / Article submission and tracking system:** ULAKBİM Dergi Sistemleri, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

**Web barındırma ve teknik destek / Web hosting and technical support:** Dergipark Akademik <http://dergipark.gov.tr/>

**İletişim / Contact:** Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya, Antalya. E-mail: [alkufbd@alanya.edu.tr](mailto:alkufbd@alanya.edu.tr) Tel/Phone: 0242 5106060 (2545)

## EDİTÖR / EDITOR

**Doç. Dr. Sefa YILDIRIM**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

## YARDIMCI EDİTÖR / ASSOCIATE EDITOR

**Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Canbolat**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

## ALAN EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

**Prof. Dr. Derman Vatansver Bayramol**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği. Alanya, Antalya

Subject: Metallurgical and Materials Engineering

Alan: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

**Doç. Dr. Tuğba Aktar Küçükarslan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Food Engineering

Alan: Gıda Mühendisliği

**Doç. Dr. Bertan Beylergil**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mechanical Engineering

Alan: Makine Mühendisliği

**Doç. Dr. İbrahim Tekin**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mathematics

Alan: Matematik

**Doç. Dr. Burak Saltuk**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği. Alanya, Antalya

Subject: Biosystems Engineering

Alan: Biyosistem Mühendisliği

**Doç. Dr. Alper Kürşat Uysal**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Computer Engineering

Alan: Bilgisayar Mühendisliği

**Doç. Dr. Üyesi Aslı Giray**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Genetic Engineering

Alan: Genetik Mühendisliği

**Doç. Dr. Üyesi Emrah Irmak**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya  
Subject: Electrical-Electronic Engineering  
Alan: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

**Doç. Dr. Murat Aksel**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya  
Subject: Civil Engineering  
Alan: İnşaat Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Fatma Aydın Ünal**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya  
Subject: Metallurgical and Materials Engineering  
Alan: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Atıl Kurt**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği. Alanya, Antalya  
Subject: Industrial Engineering  
Alan: Endüstri Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Özgür Öztürk**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya  
Subject: Genetics and Bioengineering  
Alan: Genetik ve Biyomühendislik

**Dr. Öğr. Üyesi Korhan Ökten**, Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Amasya  
Subject: Mechanical Engineering  
Alan: Makine Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Masum Tümçay**, Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
Subject: Metallurgical And Material Engineering  
Alan: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad Noori**, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
Subject: Civil Engineering  
Alan: İnşaat Mühendisliği

**Dr. Öğr. Üyesi Derya Dinler**, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara  
Subject: Industrial Engineering  
Alan: Endüstri Mühendisliği

## **YAYIN, DİL ve TEKNİK EDITÖRLERİ / PUBLISHING, LANGUAGE AND TECHNICAL EDITORS**

**Dr. Öğr. Üyesi Gökhan Canbolat**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Dr. Öğr. Üyesi Feray Bayça**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Mustafa Altuğ Peker**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Hüseyin Şenli**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Dilara Zeynep Yüzen**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Enis Körpe**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Gürkan Çelik**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Dr. Sevda Altun**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Işıl Kaan**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Ahsen Battal**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Dr. Ercan Şener**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Ali Çoban**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Arş. Gör. Dilara Durak**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

**Öğr. Gör. Nilgün İnce**, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

## **YAYIN KURULU / PUBLISHING BOARD**

Hüseyin AKILLI (Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi)

Gökhan APAYDIN (Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Naci ÇAĞLAR (Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi)

Hakan ÇELEBİ (Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi)

Rossana DIMITRI (Dr., University of Salento)

Tamio ENDO (Prof. Dr., Mie University)

John GELEGENIS (Prof. Dr., Technological Educational Institute of Athens)

Viktor GRIBNIAKN (Prof. Dr., Vilnius Gediminas Technical University)

Anastas IVANOV IVANOV (Prof. Dr., Todor Kableshkov Higher School of Transport)

İlker Murat KOÇ (Prof. Dr., Istanbul Teknik Üniversitesi)

Anatoli I POPOV (Prof. Dr., University of Latvia)

Bilsay SÜMER (Doç. Dr., Hacettepe Üniversitesi)

Cevat SARIOĞLU (Prof. Dr., Marmara Üniversitesi)

Francesco TORNABENE (Dr., University of Bologna)

Jamal Seyyed Monfared ZANJANI (Dr., University of Twente)

## ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ 2024:6(3)

## ALKU JOURNAL OF SCIENCE 2023:6(3)

### İçindekiler / Contents

1. A Review on Basic Principles of Mucoadhesion: The Importance of Chitosan as a Mucoadhesive Biopolymer / *Mukoadhezyonun Temel Prensipleri Üzerine Bir Derleme: Mukoadhezif Biyopolimer Olarak Kitosan'ın Önemi*  
Emine Büşra, Eker Fidan, Kevser Bal, Saadet Kevser Pabuccuoğlu..... 174-194
2. Extraction and Encapsulation Methods for Pomegranate Seed (*P. granatum*) Oils, Review / *Nar Çekirdeği (P. granatum) Yağlarının Ekstraksiyonu ve Enkapsülasyon Yöntemleri, Derleme*  
Nilüfer Gülcan Akalan, Aslı Gök..... 195-214
3. Adımların Ötesinde Ayakkabı Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Sürdürülebilir Ayakkabı Tasarımı / *Beyond The Steps Materials Used in Footwear Production and Sustainable Footwear Design*  
Özgenur Battal, Mervenur Acar, İlayda Derindere, Ali Karcier, Mahmut Tolga Yalgın, Muhammet Uzun..... 215-239
4. Yeşil Altyapı Sistemlerinin Hidrolojik/Hidrolik ve Su Kalitesi Modeli ile Performansının İncelenmesi: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü Örneği / *Investigation of the Green Infrastructure Performance via Hydrologic/Hydraulic and Water Quality Model: A Case Study of Istanbul University-Cerrahpaşa Büyükçekmece Campus*  
Orkun Aydın, Selin Emir, Selen Emir, Ecem Güney, Elif Naz Coşkun, Zeynep Aydın, Ecem Yıldız, Yasemin Kaya, Sezar Gülbaz..... 240-252
5. Modern Zamanlarda Türk Evinin Yeniden İnşası: Akın Evi Örneği / *Reconstruction of The Turkish House in Modern Times: The Akın House Example*  
Suphi Saatçi, Durmuş Baysal, Serkan Akın..... 253-271
6. Comparative Analysis of Heat Transfer Coefficient Using Experimental Data and Empirical Expressions / *DeneySEL Veriler ve Ampirik İfadeler Kullanılarak Isı Transfer Katsayısının Karşılaştırmalı Analizi*  
Birkut Güler..... 272-282



## A Review on Basic Principles of Mucoadhesion: The Importance of Chitosan as a Mucoadhesive Biopolymer

Emine Büşra Eker Fidan<sup>1</sup> , Kevser Bal<sup>1</sup> , Saadet Kevser Pabuccuoğlu<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Department of Chemical Engineering, Istanbul University-Cerrahpasa, Istanbul, Türkiye

\* saadetk@iuc.edu.tr

### Abstract

Mucoadhesive polymers have the special functions which lead to adhesion to the mucin/ epithelial surface on the mucus-covered areas in the body such as eye, nose, vaginal and buccal cavities, and GI tract. Therefore, they provide to increase the residence time of the dosage form on the mucosa and to significantly improve the drug administration. Mucoadhesive drug delivery systems containing chitosan and its modified derivatives have many advantages for both local and systemic drug delivery. The goal of this review is to put forward the importance of chitosan as a functionalized mucoadhesive drug delivery system.

**Keywords:** Mucoadhesion, Mucoadhesive polymers, Mucoadhesive drug delivery systems, Chitosan.

## Mukoadhezyonun Temel Prensipleri Üzerine Bir Derleme: Mukoadhezif Biyopolimer Olarak Kitosan'ın Önemi

### Özet

Mukoadhezif polimerler, vücuttaki göz, burun, vajinal ve bukkal boşluklar ile gastrointestinal sistem gibi mukusla kaplı bölgelerde mukus/epitel yüzeyine yapışma özelliğine sahiptir. Bu nedenle, dozaj formunun mukozadaki kalış süresini artırma ve buna bağlı olarak ilaç uygulamasını önemli ölçüde iyileştirme özellikleri gösterirler. Kitosan ve modifiye edilmiş türevlerini içeren mukoadhezif ilaç taşıma sistemleri hem lokal hem de sistemik ilaç taşınmasında birçok avantaj sunar. Bu derlemenin amacı, fonksiyonelleştirilmiş bir mukoadhezif ilaç taşıma sistemi olarak kitosanın önemini vurgulamaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Mukoadhezyon, Mukoadhezif polimerler, Mukoadhezif ilaç taşıma sistemleri, Kitosan.



## 1. INTRODUCTION

Mucoadhesive Biopolymer theory was first described in the early 1980s with the application of controlled drug release systems. Mucoadhesion is defined as the ability of synthetic or natural polymers to adhere to mucosal membranes with a mucus structure, such as the nose, mouth, vagina and gastrointestinal tract [1]. Many gains have been achieved by ensuring the adhesion and penetration of the carrier system onto the mucosal membrane. The most important of these benefits are that it extends the contact time on the mucosal membrane and increases the penetration of the active ingredient and its bioavailability by protecting it biologically [2, 3].

Drug transport from the mucosal surface, the fact that the drug can be easily absorbed into the bloodstream due to the presence of dense blood vessels in the mucosal membrane structure, being painless and easy to apply to the patient, increases the importance of mucosal drug transport. In addition, the therapeutic effect of oral drug delivery, which is the most preferred method in traditional treatment, is limited due to enzymatic and chemical degradation in the gastrointestinal tract.

The therapeutic effect of oral drug administration, which is the most preferred method in traditional treatment, is limited due to enzymatic and chemical degradation in the gastrointestinal system, as well as the mucosal layer that covers and protects the epithelial tissue, preventing the drug from localizing and reducing its absorption into the circulatory system. To overcome these difficulties, biopolymers used as drug carrier systems protect the active ingredients against degradation, while problems arising from the mucosal membrane barrier can be solved by selecting biopolymers with mucoadhesive properties. Thus, a therapeutic effect can be achieved by providing a controlled and prolonged release of the active substance at the maximum dose to the targeted area. It also increases patient compliance by providing convenience as an application method and reducing the frequency of medication intake [4].

### 1.1 Structure and Types of Mucosal Membranes

The structure referred to as mucosal membrane or mucosa is a type of membrane that is found in the parts of the body that open to the outside and covers the surface of the internal organs. The mucosal membrane is responsible for protecting the epithelial tissue from microbial and physical damage. The most important structure that forms the mucous membrane is referred to as mucus. Mucus is a biological hydrogel that lubricates the epithelial surface in moist areas of the body, including the respiratory, gastrointestinal and reproductive tract etc. This structure not only protects the epithelial surface from physical damage with its lubricating effect, but also acts as a dynamic physicochemical semi-permeable barrier that allows the transportation and exchange of certain molecular structures such as water, gas, hormones and nutrients, while capturing and blocking foreign and harmful substances such as toxins, heavy metals, viruses and parasites [5, 6]. While mucus life or clearance time is expressed in minutes and hours, in this short period of time, the mucus layer is destroyed by shedding, excretion or digestion, and is renewed by the epithelium tissue forming a new mucus structure. Therefore, biological or synthetic particles must penetrate faster than the clearance time cycle of the mucus to reach targeted areas [5, 7, 8].

Mucus has a complex structure in aqueous liquid composed of 95% water and 5% consists of 0.5-1% electrolytes, 1-2% lipids, 0.5% small proteins, 1-5% mucin which a large glycoprotein structure, enzymes and bacteria. The primary and most important component of mucus is mucin and it contains structures consisting of approximately 80% glycosylated proteins with different glycoprotein content [8-10]. The glycoprotein chain has a flexible and random spiral structure and a braided morphology and its molecular weight varies from 40 MDa to 0.5 MDa and is a part of the mucus secretion that is responsible for its hydration, lubrication, viscoelastic properties and adhesion to the mucosa [3, 10]. Mucin has a structure in which proline, threonine and/or serine molecules are repeated in varying numbers in the amine and carboxyl-terminated protein chain structure, and cysteine-rich parts are scattered throughout the chain. Cysteine has a negative charge that causes intramolecular repulsion as a result of ionization of the high sialic acid and sulfate content in its structure under aqueous conditions [8, 11].

Since the mucosal membrane contains different pH, enzymes, surface area, bacteria and different mucin structures depending on the tissue it is located in, it is necessary to design a transport system suitable for the targeted area [12].

Ocular/Eyes; it contains inorganic salts and tear secretion with a pH value of 7.3-7.7, due to its anatomy. The pressure created by the constant opening and closing of the eyelids removes any foreign substance that enters it. Since this makes it difficult to successfully apply topical drug delivery systems, chitosan, poly (acrylic acid), poloxomer methyl cellulose, hydroxy ethyl cellulose, poly (amidoamine) dendrimers, poly (vinyl prolidone) and thiolated bioadhesive polymers are preferred to increase the effectiveness of the drug [13–15].

Oral cavity; consists of buccal mucosa and sublingual mucosa. In local applications to the oral cavity, hepatic first pass metabolism is prevented and the pharmacological passage of the active substance into the systemic circulation system is increased. This makes it an important target tissue for drug delivery, as it causes the amount of the therapeutic agent to increase in the blood circulation and therefore the therapeutic effect to increase. The surface area of the oral cavity mucosa is small, but the drug delivery system is easy to implement. The sublingual mucosa consists of dense smooth muscles that do not move and is more permeable than the buccal mucosa. Due to this feature, while rapid release is achieved by sublingual mucosa, drug delivery through the buccal mucosa is preferred to ensure controlled release. Thiolated derivatives and bioadhesive polymers such as poly (acrylic acid), sodium carboxymethyl cellulose, hyaluronic acid, polycarbophil, chitosan and gellan are used as delivery systems [16, 17].

Gastrointestinal system; its acidic structure and chemical degradation of nutrients or drugs due to enzymatic hydrolysis reduces the bioavailability and mucosal membrane permeability of drugs. In order to protect the therapeutic agent in the acidic enzyme environment, it is used by coating it with enzyme inhibitor, conjugated polymers or lipid. The fact that it offers different drug designs, is easier than intravenous and submuscular administration, and is a natural route makes it the most researched drug delivery route. Chitosan, poly (acrylic acid), alginate and sodium carboxymethyl cellulose bioadhesive polymers and their thiolated derivatives are examples of polymers that are being developed for the gastrointestinal drug delivery systems [18–20].

Vaginal mucosa; it contains special proteins and glycogen epithelial tissue. Glycogen enzymes and bacteria break down and create an acidic environment (pH=4-5). The content of vaginal secretion constantly changes depending on age, the amount of hormones, the variety of bacteria and viruses. Vaginal formulations can be applied locally, increase permeability to the systemic circulatory system due to have dense blood vessels, which provides an advantage in the treatment of regional diseases. Gellan gum, starch, chitosan, carbomer, poloxamer and thiolated structures can be given as examples of drug carrier biopolymers [13, 21–23].

Nasal cavity; it consists of two spaces separated by a septum in the middle. There are 3 regions with different functions with special epithelial tissue, 12-14 cm deep, 5 cm high, with a surface area of approximately 150-160 cm<sup>2</sup>. It is thought that drug transport occurs from respiratory and olfactory regions. The large surface area of the nasal cavity, low enzyme activity and rich vascular structure make nasal administration preferred for the transportation of drugs [24, 25].

Sections that comprise up the nasal cavity; respiratory region, olfactory region and vestibular region. The mucosal membrane structure of this region contains hairs called cilia, 5-10 µm in size, which serve to retain particles in the inhaled air, and a mucus secretion that moisturizes the air. Mucus secretion has a pH value of 5.5-6.5 and its transport speed is approximately 5-8 mm/minute. For this reason, since the ciliated mucosa structure has a cleaning function (mucociliary clearance) against foreign molecules and particles, the retention time of the foreign substance in the mucosa is 10-20 minutes [26–28].

In nasal drug delivery, small volumes of 25-200 µl can be used and the therapeutic agent is eliminated from the nasal cavity in a short time due to the mucociliary clearance effect and in addition, disadvantages such as the formulation may have toxic and irritating effects are encountered. But considering the advantages

such as ease of application, not causing a hepatic first-pass metabolism effect, and most importantly, providing passage to the central nervous system (CNS) without getting stuck in the blood-brain barrier (BBB) in brain targeting and having a significant therapeutic effect in the treatment of neurodegenerative diseases, the importance of nasal drug delivery is increasing. Chitosan, poly (acrylic acid), sodium carboxymethyl cellulose, carbopol, gellan gum and thiolated derivatives are preferred in nasal drug delivery [25, 29–33].

## 1.2 Mucoadhesion Mechanism

There must be three active region that provide the mucoadhesion mechanism between mucus and polymer. These regions;

1. Surface of mucoadhesive polymer
2. First layer of mucosal membrane (mucus)
3. Interface between mucosal membrane and mucoadhesive polymer

Wetting and swelling of the mucoadhesive polymer at the interface between the polymer and the mucosal membrane, with the expansion of the surface area of the polymer, the penetration of polymer chains into the membrane tissue occurs. And thus, as a result of the interaction of polymer chains and mucus, physical and/or chemical bonds are formed and mucoadhesion occurs. The mucoadhesion mechanism is explained by six theories [34–36].

1. Adsorption theory; the interaction of mucoadhesive polymers and mucus structure provides the formation of covalent and non-covalent (Van Der Waals, hydrogen and hydrophobic) bonds. Although weak (non-covalent) bonds are formed, intense binding and mucoadhesion can occur due to the formation of many interaction areas, and this theory is accepted as the basis of the mucoadhesion/bioadhesion mechanism [1, 37].
2. Diffusion theory; it refers to the formation of semi-permanent bonds as a result of the intertwining and entanglement of mucoadhesive polymer chains and mucus glycoproteins. Bond strength increases with the number of penetrating mucoadhesive polymer chains. The penetration and entanglement of the mucoadhesive polymer into the mucus structure depends on the flexibility of the polymer chains, chemical structure, concentration, diffusion coefficient and contact time [38, 39].
3. Electrostatic theory; it is explained as the formation of an electrical double layer at the interface as a result of electron exchange by electrostatic interaction with the negatively charged mucin and the positively charged polymer [1].
4. Fracture theory; the force required to separate two previously bonded surfaces from the interface is expressed as the degree of adhesion. When evaluating the breaking properties of the adhesive bond in separation experiments, it is assumed that the breakdown of the adhesive bond occurs at the bioadhesive interface [40].
5. Mechanical theory; the realization of adhesion depends on the smoothness of the two interacting surfaces and the suitability of the area required for interaction [40, 41].
6. Wetting/Wettability theory; The ability of liquid or low-viscosity mucoadhesive polymers to spread on the mucosa is expressed as surface tension. Adhesion occurs with the energy change that occurs at the surface and interface as a result of the mucoadhesive polymer coming into contact with the mucosa. Thus, the energy required to eliminate the tension at the interface indicates the mucoadhesive property of the polymer [35, 42].

## 1.3 Mucoadhesion-Relating Factors

It is important to consider the factors influencing the mucoadhesion mechanism for the explanation of the mucoadhesiveness [43]. These factors are presented below.

### 1.3.1 Polymer

The hydrophilic group content of the polymer is one of its key characteristics. Mucoadhesive polymers must have the hydrophilic groups like carboxyl, hydroxyl, amine, sulfate, etc. in order to create hydrogen bonds with mucus [1, 43].

The polymer's level of hydration is an other crucial characteristic. High chain mobility and swelling at a suitable hydration level enable mucoadhesive polymers to form a gel, which in turn enhances interpenetration and adhesion/mucoadhesion with the mucus structure [1]. The polymer concentration as well as the amount of water present in the surroundings determine the appropriate degree of hydration. Mucoadhesion may also be adversely affected by excessive swelling. Additionally, with the osmotic pressure force between the dry polymer and the wet mucosal surface, many polymers can exhibit mucoadhesive characteristics even while they exhibit minimal hydration. [44, 45].

The polymer structure is a further feature that influences adhesion to mucosa. Adhesion and mucoadhesion are determined by the polymer's molecular weight ( $M_w$ ), chain length, and chain structure (conformation, modification rate). Sufficient lengthening of the chain and a high molecular weight of the polymer both influence high mucoadhesion [1, 39, 46, 47].

The polymer chains' flexibility is a further important aspect. Mucoadhesive polymers' viscosity, diffusion coefficient, and chain flexibility allow gel formation by swelling as a result of absorbing external water, and this property of the polymer has a significant effect on the mucoadhesion mechanism. Inadequate flexible polymer chains exhibit low mucus interpenetration, which results in weaker mucoadhesion bonds [43, 47].

Mucoadhesion is also influenced by polymer concentration. The forming of strong mucoadhesion interactions requires an ideal polymer concentration. Chains interpenetrate into the mucus structure promoting mucoadhesion when chain mobility achieves an optimal concentration. Mucus interpenetration reduces at very high concentrations because of the chains' limited mobility and dense spiral shape. On the other hand, the adhesion bond density is reduced at low concentrations because no polymer chain can interpenetrate adequately [47–49].

Cross-link density of the crosslinked polymer (hydrogel) is another parameter that significantly influences the mucoadhesive polymer's swelling capacity. A high cross-link structure inhibits chain mobility and reduces polymer hydration, which in effect reduces the interpenetration of the chains into the mucus structure and negatively impacts adhesion/mucoadhesion [45, 47].

The other important factor is the type of surface charge and its density of the polymer. Positively and negatively charged polymers adhere to biological surfaces more readily than uncharged ones due to their surface charge. Polymers with positive surface charges, like chitosan, also exhibit high mucoadhesiveness due to strong electrostatic interaction with the amine groups and mucin sialic groups in the mucus structure, while anionic polymers, like carbomer with a negative surface charge, show high mucoadhesive properties by forming hydrophobic interactions, hydrogen bonds, or van der Waals bonds with mucus [1, 43, 50].

The acidic or basic character of the mucoadhesive polymers is indicated by its pKa value, which also influences the mucoadhesion mechanism by influencing the behavior of the ionic interaction with mucosal membrane in a pH environment [1, 45, 51].

### 1.3.2 External factors

The pH value of the environment influences the dissociation of functional groups, which itself effects the swelling degree of the polymer and the surface charge density of mucus. Consequently, this effects the mucoadhesion mechanism [47, 51]. Mucoadhesion is further influenced by the existence of ionic forces in the surroundings. Mucoadhesion is decreased because interaction can protect functional regions that provide adhesion through the ion effect [1, 47].

Mucoadhesion depends on the polymers that are mucoadhesive to remain on the surface of the mucosal membrane for the ideal amount of time, as well as the pressure that is generated during this time [47, 52].

Mucoadhesion is directly affected by the types of mucins found in the structure of mucus, which in turn influences the interaction between the polymer and mucus. The presence of cysteine-rich mucin glycoproteins demonstrates high mucoadhesion through the formation of disulfide bonds with thiomers, compared to adhesiveness formed by hydrogen bonding or electrostatic interactions [53].

The mucus cycle is another crucial factor. At specific times, mucus is removed from the gel layer surface and is regenerated by keeping a specific thickness and viscosity. The particular conditions are dependent upon the location of the mucosal membrane. This cycle has an immediate impact on mucoadhesion by modifying the duration of material contact with the mucosal membrane surface. Adhesion/mucoadhesion can be enhanced and contact time can be extended by producing polymers with strong mucoadhesion capabilities [47, 52].

#### 1.4 Mucoadhesive Polymers

The environment of the mucosal membrane can have a variety of effects on drug bioavailability, including the drug's molecule breaking down and decreasing its therapeutic efficacy, the environment's varying pH, the presence of bacteria and enzymes, and the mucus renewing itself periodically. Because to the biochemical structure of the oral mucosal barrier, it is found that when protein and peptide drugs are examined through the mucosa, their bioavailability is less than 5% [54]. Mucoadhesive polymers offer a significant potential to enhance the therapeutic effectiveness and bioavailability of drugs by preventing drug degradation and achieving controlled extended drug release by prolonging the retention time of drug on the mucosal membrane surface [35].

Chain interactions allow mucoadhesive polymer chains to penetrate into mucin chains. Mucoadhesion occurs by the chains interacting, ionic and hydrophobic interactions between polar and nonpolar groups, hydrogen bonding and/or disulfide bond formation as a result of thiolated polymer interaction, and cysteine-rich mucus glycoprotein interaction [53, 55].

The electrostatic interaction of the polymer with ionizable groups that have a cationic or anionic surface charge and the mucus structure results in the formation of an ionic bond. Due to the weakly positively charged polymer's electronegatively charged atoms (H, O, F, and N) having the ability to establish hydrogen bonds and influence the other electronegative atoms in the mucus structure, it happens. Van der Waals bond is the formation of a weak bond between the mucoadhesive polymer and nonpolar groups in the mucus structure due to induced dipole groups, and between polar groups by dipole-dipole interaction. Designing mucoadhesive polymers with thiomers that have a free thiol group in their structure creates thiolated polymers. A strong covalent bond is formed by forming a disulfide bond between thiol groups and cysteine-rich mucus glycoproteins. Thus, the retention time and bioavailability of the drug increases. Another advantage is that it exhibits rapid swelling and water uptake behavior due to its structure [55, 56].

Mucoadhesive polymers are categorized into three groups based on their sources: synthetic, semi-synthetic, and natural. Additionally, based on their surface charge, they are further divided into three groups: cationic, anionic, and nonionic. Furthermore, thiol-containing polymers are regarded as a specific category of new generation mucoadhesive polymers [53, 57–59]. This classification is presented with some examples in Figure 1.



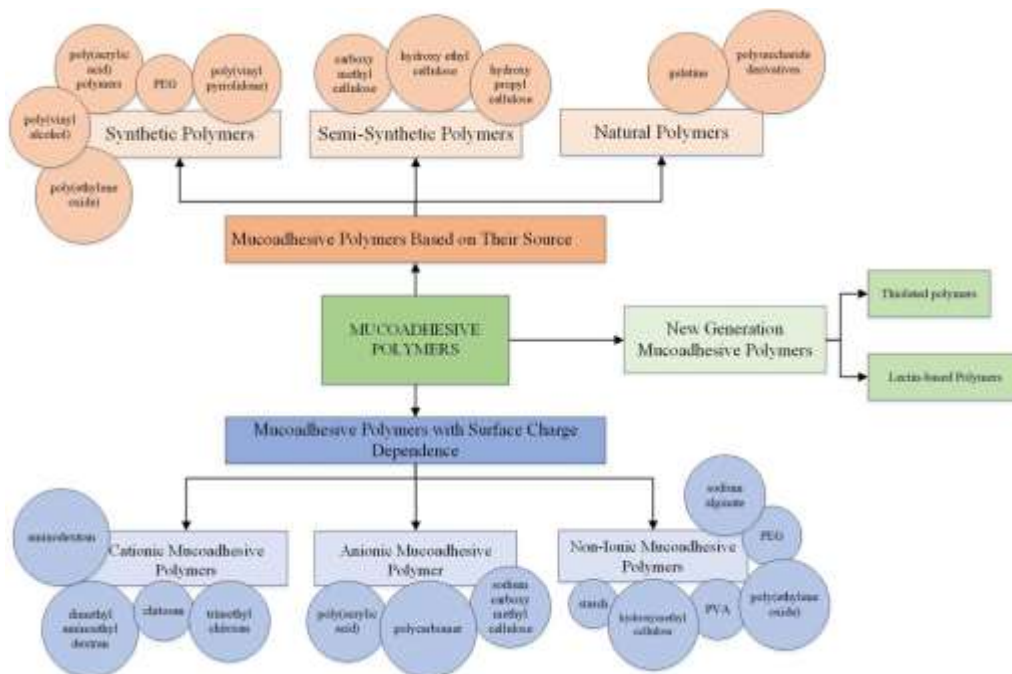


Figure 1. Classification of the mucoadhesive polymers

### 1.4.1 Chitosan

Chitosan is obtained by deacetylating chitin, a natural polymer produced by crustaceans such as crabs, shrimps and lobsters. Chitosan is a semi-natural biopolymer with a linear chain structure that is made up of units of D-glucosamine and N-acetyl-D-glucosamine bonded by  $\beta$ -(1-4) glycosidic linkages [60].

The degree of deacetylation (DD) indicates the amount of amine groups in the chitosan molecular structure, even though the hydroxyl and amine functional groups in the chitosan molecule are important for chitosan solubility. Its pKa value is approximately 6.5 due to the presence of amine groups, and when it is protonated and dissolved in acidic environments with pH less than 6.5, it forms positively charged (cationic) chitosan molecules. Chitosan is not soluble in water or most organic solvents, which restricts its application in many situations. Chitosan is modified to create chitosan derivatives, which improve its characteristics. Consequently, its physicochemical characteristics are enhanced and its range of applications is expanded through chemical modification.

The biocompatibility, biodegradability, mucoadhesiveness and nontoxic properties of chitosan and its derivatives provide their use in a wide range of pharmaceutical applications such as biomedicine, drug delivery systems, tissue engineering, bioimaging, implants, contact lenses, gene transfer, protein binding and wound healing.

In the areas of food technology, textile manufacturing [61], and water purification systems [62], it is also employed [63]. Chitosan can be created for a variety of applications since it can be used to prepare in different forms of structures, such as hydrogels, microparticles, nanoparticles, membranes, sponges, or fibers [64].

Chitosan has cationic surface charge at acidic pH value due to the the amine groups in the molecular structure that contribute to its mucoadhesiveness. The occurrence of an electrostatic interaction between positively charged chitosan molecules and the anionic characteristics of sialic acid groups in mucus structure constitute the basis of the mucoadhesion mechanism [65]. Hydrophobic interaction and the formation of hydrogen bonds also play a significant role [66, 67]. Furthermore, the cationic chitosan molecule interacts with the mucus membrane through interactions that stimulate movement throughout

mucosal cells and cause proteins linked to the close connection between cells to reorganize. As a result, the drug's penetration is increased. In this instance, it highlights how chitosan increases permeability [68, 69]. Up until an optimal value, the mucoadhesion property of chitosan increases with increasing molecular weight ( $M_w$ ) and DD, and it decreases with increasing cross-linking [70].

The goal of chemically modifying the chitosan molecule is to enhance its drug retention duration, solubility, stability, hydrophobicity or hydrophilicity, usability as a drug delivery system across a broad pH range, penetrating ability, permeability, and mucoadhesiveness [67, 71]. To enhance chitosan's mucoadhesive features, modified synthetic derivatives such as Trimethyl Chitosan (TMC), Thiolated Chitosan, Chitosan with improved hydrophobicity, and PEGylated Chitosan structures can be mentioned [72, 73].

**Trimethyl Chitosan (TMC):** A derivative of TMC with improved water solubility due to the addition of a protonated group  $[-N^+(CH_3)_3]$  to its structure, this modified polymer exhibits one of the strongest mucoadhesive properties, primarily attributed to its persistent cationic nature. Shinde et al. [74] applied the ionic gelation method to evaluate the nanoparticle systems made from chitosan and TMC loaded with flurbiprofen as drug transport vectors via the ocular (or eye) mucosal membrane. In comparison to chitosan, the TMC nanoparticulate system exhibits increased mucoadhesive properties and longer drug release behavior. It has a greater drug loading capacity than conventional vectors and, because of its strong mucoadhesiveness, extends the duration that Flurbiprofen is retained on the mucosal membrane of the eye, enhancing its bioavailability. He and Yin [75] investigated the oral and intravenous delivery of folic acid-modified TMC nanoparticulate systems loaded with paclitaxel for the treatment of cancer. The examination of the intestinal mucosal membrane of a rabbit revealed that the folate TMC nanoparticles had a stronger mucosal adherence. Paclitaxel's anticancer impact was enhanced by the formulation, which also lengthened its half-life in the blood and enhanced its concentration in tumor cells.

**PEGylated Chitosan:** It is a chitosan derivative modified by poly (ethylene glycol) (PEG). In general, methyl-poly (ethylene glycol) is recommended to avoid polymer chain cross-linking. It improves chitosan's biocompatibility and durability against enzymatic degradation in addition to making it more soluble in water, which enhances the drug's bioavailability in vivo. Jintapattanakit et al [76] synthesized a TMC copolymer with PEG and evaluated its mucoadhesive properties. It was determined that the insulin-loaded nanocomplex structure's mucadephilic properties and insulin loading capability increase with a rise in positive charge. It has also been noted that, in addition to the positive charge impact, the mucoadhesive feature of the PEGylated TMC nanocomplex structure is further enhanced by the PEG chain's capacity to enter mucus.

**Carboxymethyl Chitosan (CMC):** It is an amphoteric derivative of chitosan due to the presence of amine (basic) and carboxyl (acidic) groups in its chemical structure. In an acidic environment, the polymer structure becomes cationic by protonating the amino groups, while in a basic environment, the polymer behaves anionically as the carboxyl groups dissociate [77].

**Acrylated Chitosan:** Mucoadhesion occurs through the covalent bond between the acrylate vinyl group incorporated into the chitosan structure and the sulfhydryl groups of the glycoproteins found in the mucus structure. The use of acrylate groups in mucoadhesive polymers was first carried out by Davidovich-Pinhas and Bianco-Peled [78]. As a common feature of thiolated chitosan and acrylated chitosan, mucoadhesion occurs through covalent bonding [79–81].

**Chitosan with Enhanced Hydrophobic Properties:** Covalent bonding of hydrophobic alkyl chains can increase the hydrophobicity of chitosan. By making phospholipid domains in the cell membrane structure more fluid, these substances improve cell penetration. Furthermore, by reacting hydrophobically with the hydrophobic groups of lipids in the cell structure, it strengthens the mucoadhesive characteristic of chitosan when added to the structure [72, 73]. Another effect of increasing the hydrophobic feature is that as the hydration of the agent decreases, it shows higher resistance to degradation by the enzymes of its environment (such as stomach enzymes), thus increasing the stability of chitosan [82, 83]. Table 1 displays chitosan modifications with hydrophobic groups.

Table 1. Hydrophobically Modified Chitosan derivatives

Modification Type	Drug	Results	Reference
Modification of chitosan using (C6-C16) fatty acids	No specific drug reported	<ul style="list-style-type: none"> <li>Palmitoyl chitosan-derived tablets have improved mechanical properties and stability.</li> <li>Because of the strong hydrophobic interaction created by the degree of alteration and the long alkyl chain structure, it exhibits prolonged drug release.</li> </ul>	[84]
Modification of chitosan using fatty acids (C6-C20)	pDNA	<ul style="list-style-type: none"> <li>By attaching to the lipophilic cell membrane, the hydrophobic alkyl chain structure increases adhesion.</li> <li>Comparing palmitoyl chitosan nanomicellar formulation to other fatty acid modifications, it demonstrates the highest intracellular absorption and gene transfection efficiency.</li> </ul>	[85]
Modification of chitosan using Palmitic acid (TMC-g-PA)	Resveratrol	<ul style="list-style-type: none"> <li>The TMC-g-PA nanoparticulate system improves bioavailability by 3.8 times when drug release is evaluated in vitro,</li> <li>It may be utilized as a drug delivery vector for oral administration.</li> </ul>	[6]
Modification of chitosan using palmitoyl quaternary ammonium	Curcumin	<ul style="list-style-type: none"> <li>The formulation has improved antibacterial and antioxidant effects over free curcumin, and it also demonstrates regulated and sustained drug release when taken orally.</li> </ul>	[87]
Micellar formulation of palmitoyl glycol chitosan (PGC)	No specific drug reported	<ul style="list-style-type: none"> <li>PGC exhibited a therapeutic effect into the cornea, improving medication penetration, and it enhanced the micelle structure's penetration in the epithelial corneal cell line.</li> </ul>	[88]
N-palmitoyl-N-monomethyl-N,N-dimethyl-N,N,N-trimethyl-6-O-glycolchitosan (GCPQ) polymer	SARS-COV-2 virus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Studies using Vero E6 and A549 cells in vitro reveal that, at non-toxic GCPQ polymer concentrations, there is an inhibitory effect on SARS-CoV2 replication.</li> <li>Ex vivo treatment of the GCPQ formulation on human airway epithelial (HAE) cells confirms its inhibitory action.</li> <li>A prolonged retention effect is observed when the GPCQ polymer spray formulation is applied to mice nostrils in vivo.</li> <li>GPCQ formulation has the potential to prevent SARS-COV-2 infection and, by preventing the virus from infecting the brain, may lessen neurological problems.</li> </ul>	[89]



O-methyl-O'-succinylpolyethylene glycol and oleic acid grafted chitosan	Camptothecin	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Camptothecin was stabilized by chitosan micelles.</li> <li>▪ The new amphiphilic chitosan showed a controlled release in intestinal fluids.</li> <li>▪ It has yielded successful results for the encapsulation of hydrophobic drugs</li> </ul>	[90]
11-carbon and 3-carbon alkyl chains grafted hydrophobic chitosan	Carvacrol	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Using chitosan grafted with two distinct alkyl chain lengths, this study showed that carvacrol inhibited the formation of biofilms and their motility.</li> <li>▪ Carvacrol-loaded modified chitosan nanoparticles are an efficient method for <i>P. aeruginosa</i> biofilm-associated infections.</li> </ul>	[91]

**Thiolated Chitosan:** This derivative of chitosan is the product of modifying chitosan with substances that include a thiol group. Cysteine (Cys), thioglycolic acid (TGA), 2-iminothioline, 4-thiobutylamide (TBA), N-acetyl cysteine, isopropyl-S-acetyl thioacetamide, and glutathione are a few examples of thiolizing agents. Enhancing chitosan's mucoadhesive properties enhances its application in biomedical and pharmaceutical fields. Table 2 displays some specific studies on thiolated chitosan.

Thiolation of chitosan not only improves the mucoadhesive properties of chitosan, but also improves its permeability-increasing effect and provides in situ gelling properties. It also provides enzyme inhibition and is biodegradable due to its structure [67, 79, 92, 93]. In addition to the physical interaction, the addition of thiol groups to the structure increases the secondary interactions between the polymer and mucus. These interactions also facilitate the creation of disulfide covalent bonds, which provide mucus glycoproteins with cysteine-rich domains excellent mucoadhesiveness [69, 79].

- **Permeability enhancing feature:** The property that enhances permeability is caused about by the interaction between cationic chitosan and the negatively charged cell membrane, as well as the structural rearrangement of proteins involved to tight junctions. Unfortunately, limited diffusion and/or competing charge interactions with mucin prohibit it from reaching the epithelium and reduce its permeability because of the size of the chitosan chains in the mucus layer. Disulfide bonds are formed in the presence of thiol groups, which inhibit transmembrane protein tyrosine phosphatase and open tight junctions by altering their structural integrity [94–97].

- **Property of in situ gelation (cross-linking):** Crosslinking between the polymer chains are created by the oxidation of the thiolated polymer at physiological pH levels, which results in the creation of both intramolecular and intermolecular disulfide bonds. In the pH range of 5–6, it creates an intramolecular and intermolecular disulfide bond, forming a three-dimensional network structure. This arrangement allows for extended regulated release of the medicine while also ensuring greater stability of the carrier vector. This property allows thiolated chitosans to be applied to the mucosa of the nose, mouth, eyes, and vagina [69, 98–100].

- **Inhibition of enzyme activity:** Thiomers inhibit zinc-dependent proteases, including carboxypeptidases and aminopeptidases. The ability of thiomers to bind zinc ions is the basis of the inhibitory mechanism. Its application in the oral delivery of peptide- and protein-based medications is made possible by this inhibitory effect [69].

Table 2. Thiolated Chitosan

Product	Drug	Results	Reference
Chitosan-Cys conjugate	$\alpha$ -Mangostin	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Thiolated chitosan NPs cross-linked with genipin and surface modified with Eudragit exhibited stronger mucoadhesion than uncoated NPs and cysteine-based NPs.</li> <li>▪ NPs exhibited anti-tumor activity.</li> <li>▪ It was concluded that muadhesive thiolated chitosan NPs are a suitable carrier for the controlled release of <math>\alpha</math>-mangostin into the colon-targeted delivery.</li> </ul>	[101]
Preactivated Chitosan-thioglycolic acid and mercaptionicotinic conjugate (PTCS)	Octreotide	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Because the -SH groups were preactivated, PTCS-NPs' mucoadhesion and penetration enhancement were significantly greater than those of thiolated nanoformulations.</li> <li>▪ The oral bioavailability of PTCS-NPs was 7.2 times higher than that of octreotide.</li> <li>▪ By using preactivated thiolated chitosan, confirmed the idea of the improved bioavailability of octreotide.</li> </ul>	[102]
Functionalized Chi with a series of thio-acids	No specific drug reported	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ This is directly related to the presence of thiol-containing substituents, as the acquired results are consistent with the structure-activity relationship previously established for other chitosan derivatives.</li> <li>▪ It demonstrates that N-acyl thiolated chitosans are a promising option for the synthesis of high-yield, biocompatible, and reasonably priced antibacterial compounds.</li> </ul>	[103]
Lipid carrier coated with chitosan-N-acetylcysteine conjugate nanostructure	Curcumin	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ The amount of curcumin in albino rabbit tears increased 2.4 times when ocular drug release was evaluated.</li> </ul>	[104]
pH-responsive Chitosan-thioglycolic acid (TGA) conjugate	Heparin	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A basic ionic gelation technique was used to successfully create a pH-responsive nanoparticle system made of TCS and HP-55 (a cross-linking agent).</li> <li>▪ TCS/HP-55 NPs' mucoadhesive and intestinal penetrative qualities were greatly enhanced both in vivo and in vitro.</li> </ul>	[105]
Chitosan -3-mercaptopropanoic acid (3-MPA) conjugate	No specific drug reported	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ At high TPP concentrations, chitosan treated with thiol groups demonstrated a stable nanoparticle structure.</li> <li>▪ The hydrodynamic diameter and surface charge values of chitosan nanoparticles were found to significantly interact with the molar ratio (Ch-SH/TPP). This demonstrates that the size and charge ranges at which new nanoparticles can be produced are 100 nm and 200 nm, and 30 mV and 40 mV, respectively.</li> </ul>	[106]

Chitosan-N-acetyl cysteine conjugate	Lysozyme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chitosan-N-acetyl cysteine conjugate tablets showed an 8.3-fold increase in mucoadhesive properties.</li> <li>It has been evaluated as a potentially useful novel vector for the creation of biodegradable and mucoadhesive compositions.</li> </ul>	[107]
Chitosan-thioamidine conjugate	Fluorescence labeled dextrane (FD4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>The mucoadhesive properties of chitosan-thioethylamide (TEA) conjugate tablet formulations are found to increase by three to nine times, respectively. The composition may find application as a vector for controlled drug release.</li> </ul>	[98]
Chitosan-TGA conjugates	Clotrimazole	<ul style="list-style-type: none"> <li>Its strong mucoadhesive property allowed it to exhibit regulated medication release behavior.</li> <li>It has been reported that vaginal infections can be treated using chitosan-TGA conjugates.</li> </ul>	[108]
Chitosan-TGA conjugates	Lysozyme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Results of tensile experiments and the rotating cylinder method show that the mucoadhesive behaviors of tablets made from chitosan-TGA conjugate increase by 6.3 and 10.3, respectively, and consequently, the retention time rises.</li> </ul>	[109]
Thiolated chitosan Nanoparticles with pentaerythritol tetrakis (3-mercaptopropionate)	Insulin	<ul style="list-style-type: none"> <li>With <i>in vivo</i> trials, insulin provided extended release to ensure biodistribution and bioavailability due to its interaction with intestinal mucus.</li> </ul>	[110]
Nanoformulation of thiolated chitosan coated with hyaluronic acid	Vincristine	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>In vitro</i> studies demonstrated vincristine's fast release during 12 hours, whereas the modified nanoformulation demonstrated prolonged constant release for up to 72 hours at pH 7.4 and 6.8.</li> </ul>	[111]
Nanoparticles of thiolated chitosan-eudragit RS100	Moxifloxacin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thiolated versions of both polymers were synthesized by providing disulfide bond formation, and <i>in vivo</i> studies showed that the nanoformulation provided controlled release and consequently improved bioavailability.</li> </ul>	[112]
Nanoparticles of thiolated chitosan with 3MPA	Tobramycin	<ul style="list-style-type: none"> <li>Thiolated chitosan-loaded nanoparticles have enhanced precorneal retention, sustained drug release, and high ocular bioavailability at low doses due to their strong surface charge</li> </ul>	[113]

## CONCLUDING REMARKS

Mucoadhesive polymer-based drug delivery systems have a remarkable importance in many applications in pharmaceutical technologies. Chitosan and its modified derivatives, which have excellent biocompatibility, low toxicity and good mucoadhesion, have been used safe as mucoadhesive biopolymers with various form such as tablet, gel, wound dressing, scaffold and nanoparticulate formulation etc. The

studies reported in the literature clearly reveal the reasons why these versatile biopolymers is extensively used in many fields of the pharmaceutical technology and nanobiotechnology.

## REFERENCES

- [1] G. P. Andrews, T. P. Laverty, and D. S. Jones, “Mucoadhesive polymeric platforms for controlled drug delivery,” *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 71, no. 3, pp. 505–518, Mar. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2008.09.028>.
- [2] J. Bassi da Silva, S. B. de S. Ferreira, O. de Freitas, and M. L. Bruschi, “A critical review about methodologies for the analysis of mucoadhesive properties of drug delivery systems,” *Drug Development and Industrial Pharmacy*, vol. 43, no. 7, pp. 1053–1070, Mar. 2017, doi: <https://doi.org/10.1080/03639045.2017.1294600>.
- [3] M. T. Cook and V. V. Khutoryanskiy, “Mucoadhesion and mucosa-mimetic materials—A mini-review,” *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 495, no. 2, pp. 991–998, Nov. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.09.064>.
- [4] L. Serra, J. Doménech, and N. A. Peppas, “Engineering design and molecular dynamics of mucoadhesive drug delivery systems as targeting agents,” *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 71, no. 3, pp. 519–528, Mar. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2008.09.022>.
- [5] S. K. Linden, P. Sutton, N. G. Karlsson, V. Korolik, and M. A. McGuckin, “Mucins in the mucosal barrier to infection,” *Mucosal Immunology*, vol. 1, no. 3, pp. 183–197, May 2008, doi: <https://doi.org/10.1038/mi.2008.5>.
- [6] R. A. Cone, “Barrier properties of mucus,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 61, no. 2, pp. 75–85, Feb. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2008.09.008>.
- [7] A. P. Corfield, “Mucins: a biologically relevant glycan barrier in mucosal protection,” *Biochimica Et Biophysica Acta*, vol. 1850, no. 1, pp. 236–252, Jan. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2014.05.003>.
- [8] N. A. Bustos, K. Ribbeck, and C. E. Wagner, “The role of mucosal barriers in disease progression and transmission,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 200, pp. 115008–115008, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2023.115008>.
- [9] C. E. Wagner, K. M. Wheeler, and K. Ribbeck, “Mucins and Their Role in Shaping the Functions of Mucus Barriers,” *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, vol. 34, no. 1, pp. 189–215, Oct. 2018, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-100617-062818>.
- [10] J. Leal, H. D. C. Smyth, and D. Ghosh, “Physicochemical properties of mucus and their impact on transmucosal drug delivery,” *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 532, no. 1, pp. 555–572, Oct. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.09.018>.
- [11] R. Bansil and B. S. Turner, “Mucin structure, aggregation, physiological functions and biomedical applications,” *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, vol. 11, no. 2–3, pp. 164–170, Jun. 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2005.11.001>.
- [12] L. N. Thwala, M. J. Santander-Ortega, M. Victoria Lozano, and N. S. Csaba, “Functionalized Polymeric Nanostructures for Mucosal Drug Delivery,” *Elsevier eBooks*, pp. 449–487, Jan. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-50878-0.00015-x>.

- [13] A. Ahuja, R. K. Khar, and J. Ali, "Mucoadhesive Drug Delivery Systems," *Drug Development and Industrial Pharmacy*, vol. 23, no. 5, pp. 489–515, Jan. 1997, doi: <https://doi.org/10.3109/03639049709148498>.
- [14] A. Ludwig, "The use of mucoadhesive polymers in ocular drug delivery," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 57, no. 11, pp. 1595–1639, Nov. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.07.005>.
- [15] M. J. Alonso and A. Sánchez, "The potential of chitosan in ocular drug delivery," *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, vol. 55, no. 11, pp. 1451–1463, Nov. 2003, doi: <https://doi.org/10.1211/0022357022476>.
- [16] V. F. Patel, F. Liu, and M. B. Brown, "Modeling the oral cavity: In vitro and in vivo evaluations of buccal drug delivery systems," *Journal of Controlled Release*, vol. 161, no. 3, pp. 746–756, Aug. 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2012.05.026>.
- [17] D. M. Shinkar, A. S. Dhake, and C. M. Setty, "Drug Delivery from the Oral Cavity: A Focus on Mucoadhesive Buccal Drug Delivery Systems," *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, vol. 66, no. 5, pp. 466–500, Sep. 2012, doi: <https://doi.org/10.5731/pdajpst.2012.00877>.
- [18] D. Dodou, P. Breedveld, and P. A. Wieringa, "Mucoadhesives in the gastrointestinal tract: revisiting the literature for novel applications," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics: Official Journal of Arbeitsgemeinschaft Fur Pharmazeutische Verfahrenstechnik e.V.*, vol. 60, no. 1, pp. 1–16, May 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2005.01.007>.
- [19] S. L. Tao and T. A. Desai, "Gastrointestinal patch systems for oral drug delivery," *Drug Discovery Today*, vol. 10, no. 13, pp. 909–915, Jul. 2005, doi: [https://doi.org/10.1016/s1359-6446\(05\)03489-6](https://doi.org/10.1016/s1359-6446(05)03489-6).
- [20] J. Byrne et al., "Devices for drug delivery in the gastrointestinal tract: A review of systems physically interacting with the mucosa for enhanced delivery," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 177, p. 113926, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.113926>.
- [21] H. Gupta and A. Sharma, "Ion activated bioadhesive in situ gel of clindamycin for vaginal application," *International Journal of Drug Delivery*, vol. 1, no. 1, pp. 32–40, Jul. 2009, doi: <https://doi.org/10.5138/ijdd.2009.0975.0215.01004>.
- [22] M. K. Gök et al., "Development of starch based mucoadhesive vaginal drug delivery systems for application in veterinary medicine," *Carbohydrate Polymers*, vol. 136, pp. 63–70, Jan. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.079>.
- [23] M. K. Gök et al., "The effects of the thiolation with thioglycolic acid and l -cysteine on the mucoadhesion properties of the starch-graft-poly(acrylic acid)," *Carbohydrate Polymers*, vol. 163, pp. 129–136, May 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.065>.
- [24] M. C. Veronesi et al., "Imaging of intranasal drug delivery to the brain," *American journal of nuclear medicine and molecular imaging*, vol. 10, pp. 1–31, Feb. 2020, PMID: 32211216.
- [25] F. Erdő, L. A. Bors, D. Farkas, Á. Bajza, and S. Gizurason, "Evaluation of intranasal delivery route of drug administration for brain targeting," *Brain Research Bulletin*, vol. 143, pp. 155–170, Oct. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2018.10.009>.

- [26] E. Marttin, N. G. M. Schipper, J. Coos. Verhoef, and F. W. H. M. Merkus, "Nasal mucociliary clearance as a factor in nasal drug delivery," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 29, no. 1–2, pp. 13–38, Jan. 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/s0169-409x\(97\)00059-8](https://doi.org/10.1016/s0169-409x(97)00059-8).
- [27] Ö. Yıldız, "Nazal yolla ilaçların verilmesi," *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, vol. 36, no. 4, pp. 267–283, 2007, doi: [https://doi.org/10.1501/eczfak\\_0000000541](https://doi.org/10.1501/eczfak_0000000541).
- [28] M. S. Ali and J. P. Pearson, "Upper Airway Mucin Gene Expression: A Review," *The Laryngoscope*, vol. 117, no. 5, pp. 932–938, May 2007, doi: <https://doi.org/10.1097/mlg.0b013e3180383651>.
- [29] S. Md *et al.*, "Optimised nanoformulation of bromocriptine for direct nose-to-brain delivery: biodistribution, pharmacokinetic and dopamine estimation by ultra-HPLC/mass spectrometry method," *Expert Opinion on Drug Delivery*, vol. 11, no. 6, pp. 827–842, Mar. 2014, doi: <https://doi.org/10.1517/17425247.2014.894504>.
- [30] C. Dufes, J.-C. Olivier, F. Gaillard, A. Gaillard, W. Couet, and J.-M. Muller, "Brain delivery of vasoactive intestinal peptide (VIP) following nasal administration to rats," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 255, no. 1, pp. 87–97, Apr. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(03\)00039-5](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(03)00039-5).
- [31] B. Slütter and W. Jiskoot, "Dual role of CpG as immune modulator and physical crosslinker in ovalbumin loaded N-trimethyl chitosan (TMC) nanoparticles for nasal vaccination," *Journal of Controlled Release*, vol. 148, no. 1, pp. 117–121, Nov. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.06.009>.
- [32] D. Gadhawe, N. Rasal, R. Sonawane, M. Sekar, and C. Kokare, "Nose-to-brain delivery of teriflunomide-loaded lipid-based carbopol-gellan gum nanogel for glioma: Pharmacological and in vitro cytotoxicity studies," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 167, pp. 906–920, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.047>.
- [33] K. Mfoafo, R. Mittal, A. Eshraghi, Y. Omid, and H. Omidian, "Thiolated polymers: An overview of mucoadhesive properties and their potential in drug delivery via mucosal tissues," *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 85, p. 104596, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2023.104596>.
- [34] A. Sosnik, J. das Neves, and B. Sarmiento, "Mucoadhesive polymers in the design of nano-drug delivery systems for administration by non-parenteral routes: A review," *Progress in Polymer Science*, vol. 39, no. 12, pp. 2030–2075, Dec. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.07.010>.
- [35] S. Mansuri, P. Kesharwani, K. Jain, R. K. Tekade, and N. K. Jain, "Mucoadhesion: A promising approach in drug delivery system," *Reactive and Functional Polymers*, vol. 100, pp. 151–172, Mar. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2016.01.011>.
- [36] S. P. Bandi, S. Bhatnagar, and V. V. K. Venuganti, "Advanced materials for drug delivery across mucosal barriers," *Acta Biomaterialia*, vol. 119, pp. 13–29, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.10.031>.
- [37] B. Chatterjee, N. Amalina, P. Sengupta, and U. K. Mandal, "Mucoadhesive Polymers and Their Mode of Action: A Recent Update," *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2017, doi: <https://doi.org/10.7324/japs.2017.70533>.
- [38] J. Smart, "The basics and underlying mechanisms of mucoadhesion," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 57, no. 11, pp. 1556–1568, Nov. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.07.001>.



- [39] N. Mishra *et al.*, “Bioadhesive and phase change polymers for drug delivery,” pp. 151–186, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91248-8.00003-9>.
- [40] R. Shaikh, T. R. Raj Singh, M. J. Garland, A. D. Woolfson, and R. F. Donnelly, “Mucoadhesive drug delivery systems,” *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 89–100, 2011, doi: <https://doi.org/10.4103/0975-7406.76478>.
- [41] I. Singh, P. Pawar, E. A. Sanusi, and O. A. Odeku, “Mucoadhesive polymers for drug delivery systems,” *Adhesion in Pharmaceutical, Biomedical and Dental Fields*, pp. 89–113, 2017. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119323716>.
- [42] V. V. Khutoryanskiy, “Advances in Mucoadhesion and Mucoadhesive Polymers,” *Macromolecular Bioscience*, vol. 11, no. 6, pp. 748–764, Dec. 2010, doi: <https://doi.org/10.1002/mabi.201000388>.
- [43] S. Alawdi and A. B. Solanki, “Mucoadhesive Drug Delivery Systems: A Review of Recent Developments,” *Journal of Scientific Research in Medical and Biological Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 50–64, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.47631/jsrmb.v2i1.213>.
- [44] S. A. Mortazavi and J. D. Smart, “An investigation into the role of water movement and mucus gel dehydration in mucoadhesion,” *Journal of Controlled Release*, vol. 25, no. 3, pp. 197–203, Jun. 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/0168-3659\(93\)90078-j](https://doi.org/10.1016/0168-3659(93)90078-j).
- [45] L. Kumar, S. Verma, B. Vaidya, and Vivek Kumar Gupta, “Bioadhesive Polymers for Targeted Drug Delivery,” *Elsevier eBooks*, pp. 322–362, Jan. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809717-5.00012-9>.
- [46] Y. Huang, W. Leobandung, A. Foss, and N. A. Peppas, “Molecular aspects of muco- and bioadhesion”, *Journal of Controlled Release*, vol. 65, no. 1–2, pp. 63–71, Mar. 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/s0168-3659\(99\)00233-3](https://doi.org/10.1016/s0168-3659(99)00233-3).
- [47] V. K. Yadav, A. B. Gupta, R. Kumar, J. S. Yadav, and B. Kumar, “Mucoadhesive polymers: means of improving the mucoadhesive properties of drug delivery system,” *J. Chem. Pharm. Res*, 2010 vol. 2, no. 5, pp.418-432, ISSN No: 0975-7384.
- [48] M. J. Tobyn, J. R. Johnson, and P. W. Dettmar, “Factors affecting in vitro gastric mucoadhesion IV. Influence of tablet excipients, surfactants and salts on the observed mucoadhesion of polymers,” *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 43, no. 1, pp. 65–71, Jan. 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/s0939-6411\(96\)00009-4](https://doi.org/10.1016/s0939-6411(96)00009-4).
- [49] M. Ugwoke, R. Agu, N. Verbeke, and R. Kinget, “Nasal mucoadhesive drug delivery: Background, applications, trends and future perspectives,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 57, no. 11, pp. 1640–1665, Nov. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2005.07.009>.
- [50] C.-M. Lehr, J. A. Bouwstra, E. H. Schacht, and H. E. Junginger, “In vitro evaluation of mucoadhesive properties of chitosan and some other natural polymers,” *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 78, no. 1–3, pp. 43–48, Jan. 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/0378-5173\(92\)90353-4](https://doi.org/10.1016/0378-5173(92)90353-4).
- [51] N. A. Peppas and Y. Huang, “Nanoscale technology of mucoadhesive interactions,” *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 56, no. 11, pp. 1675–1687, Sep. 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2004.03.001>.

- [52] M. Surendranath, R. M. R., and R. Parameswaran, "Recent advances in functionally modified polymers for mucoadhesive drug delivery," *Journal of Materials Chemistry B*, vol. 10, no. 31, pp. 5913–5924, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1039/D2TB00856D>.
- [53] M. Yaqoob, A. Jalil, and A. Bernkop-Schnürch, "Mucoadhesive Polymers: Gateway to Innovative Drug Delivery," *Elsevier eBooks*, pp. 351–383, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821185-4.00020-8>.
- [54] H. Zhang, J. Zhang, and J. B. Streisand, "Oral Mucosal Drug Delivery," *Clinical Pharmacokinetics*, vol. 41, no. 9, pp. 661–680, 2002, doi: <https://doi.org/10.2165/00003088-200241090-00003>.
- [55] A. Bernkop-Schnürch, "Mucoadhesive systems in oral drug delivery," *Drug Discovery Today: Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 83–87, Mar. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ddtec.2005.05.001>.
- [56] V. M. Leitner, G. F. Walker, and A. Bernkop-Schnürch, "Thiolated polymers: evidence for the formation of disulphide bonds with mucus glycoproteins," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics: Official Journal of Arbeitsgemeinschaft Fur Pharmazeutische Verfahrenstechnik e.V.*, vol. 56, no. 2, pp. 207–214, Sep. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/s0939-6411\(03\)00061-4](https://doi.org/10.1016/s0939-6411(03)00061-4).
- [57] P. Subramanian, "Mucoadhesive Delivery System: A Smart Way to Improve Bioavailability of Nutraceuticals," *Foods*, vol. 10, no. 6, p. 1362, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/foods10061362>.
- [58] M. L. Bruschi, S. Barbosa, and Silva, "Mucoadhesive and mucus-penetrating polymers for drug delivery," *Elsevier eBooks*, pp. 77–141, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818038-9.00011-9>.
- [59] Ö. Kaplan *et al.*, "Thiolated  $\alpha$ -cyclodextrin: The likely smallest drug carrier providing enhanced cellular uptake and endosomal escape," *Carbohydrate Polymers*, vol. 316, p. 121070, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121070>.
- [60] M. N. V. R. Kumar, R. A. A. Muzzarelli, C. Muzzarelli, H. Sashiwa, and A. J. Domb, "Chitosan Chemistry and Pharmaceutical Perspectives," *Chemical Reviews*, vol. 104, no. 12, pp. 6017–6084, Dec. 2004, doi: <https://doi.org/10.1021/cr030441b>.
- [61] Z. Shariatinia, "Pharmaceutical applications of chitosan," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 263, pp. 131–194, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2018.11.008>.
- [62] W. M. Kedir, G. F. Abdi, M. M. Goro, and L. D. Tolesa, "Pharmaceutical and drug delivery applications of chitosan biopolymer and its modified nanocomposite: A review," *Heliyon*, vol. 8, no. 8, p. e10196, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10196>.
- [63] R. C. F. Cheung, T. B. Ng, J. H. Wong, and W. Y. Chan, "Chitosan: An Update on Potential Biomedical and Pharmaceutical Applications," *Marine Drugs*, vol. 13, no. 8, pp. 5156–5186, Aug. 2015, doi: <https://doi.org/10.3390/md13085156>.
- [64] A. Anitha *et al.*, "Chitin and chitosan in selected biomedical applications," *Progress in Polymer Science*, vol. 39, no. 9, pp. 1644–1667, Sep. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.02.008>.
- [65] A. Harugade, A. P. Sherje, and A. Pethe, "Chitosan: A review on properties, biological activities and recent progress in biomedical applications," *Reactive and Functional Polymers*, vol. 191, p. 105634, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2023.105634>.



- [66] I. A. Sogias, A. C. Williams, and V. V. Khutoryanskiy, “Why is Chitosan Mucoadhesive?,” *Biomacromolecules*, vol. 9, no. 7, pp. 1837–1842, Jun. 2008, doi: <https://doi.org/10.1021/bm800276d>.
- [67] T. M. Ways, W. Lau, and V. Khutoryanskiy, “Chitosan and Its Derivatives for Application in Mucoadhesive Drug Delivery Systems,” *Polymers*, vol. 10, no. 3, p. 267, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/polym10030267>.
- [68] J. Smith, E. Wood, and M. Dornish, “Effect of Chitosan on Epithelial Cell Tight Junctions,” *Pharmaceutical Research*, vol. 21, no. 1, pp. 43–49, Jan. 2004, doi: <https://doi.org/10.1023/b:pham.0000012150.60180.e3>.
- [69] V. K. Mourya and N. N. Inamdar, “Chitosan-modifications and applications: Opportunities galore,” *Reactive and Functional Polymers*, vol. 68, no. 6, pp. 1013–1051, Jun. 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2008.03.002>.
- [70] M. M. Issa, M. Köping-Höggård, and P. Artursson, “Chitosan and the mucosal delivery of biotechnology drugs,” *Drug Discovery Today: Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, Mar. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ddtec.2005.05.008>.
- [71] E. M. Khalaf *et al.*, “Recent progressions in biomedical and pharmaceutical applications of chitosan nanoparticles: A comprehensive review,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 231, pp. 123354–123354, Mar. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123354>.
- [72] M. S. Hasnain and A. K. Nayak, “Chitosan as mucoadhesive polymer in drug delivery,” *Chitosan in Drug Delivery*, pp. 225–246, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819336-5.00004-2>.
- [73] M. Werle, H. Takeuchi, and A. Bernkop-Schnürch, “Modified Chitosans for Oral Drug Delivery,” *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 98, no. 5, pp. 1643–1656, May 2009, doi: <https://doi.org/10.1002/jps.21550>.
- [74] U. A. Shinde, P. N. Joshi, D. D. Jain, and K. Singh, “Preparation and Evaluation of N-Trimethyl Chitosan Nanoparticles of Flurbiprofen for Ocular Delivery,” *Current Eye Research*, vol. 44, no. 5, pp. 575–582, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1567793>.
- [75] R. He and C. Yin, “Trimethyl chitosan based conjugates for oral and intravenous delivery of paclitaxel,” *Acta biomaterialia*, vol. 53, pp. 355–366, Apr. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2017.02.012>.
- [76] A. Jintapattanakit, V. B. Junyaprasert, and T. Kissel, “The role of mucoadhesion of trimethyl chitosan and PEGylated trimethyl chitosan nanocomplexes in insulin uptake,” *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 98, no. 12, pp. 4818–4830, Dec. 2009, doi: <https://doi.org/10.1002/jps.21783>.
- [77] R. Jayakumar, M. Prabakaran, S. V. Nair, S. Tokura, H. Tamura, and N. Selvamurugan, “Novel carboxymethyl derivatives of chitin and chitosan materials and their biomedical applications,” *Progress in Materials Science*, vol. 55, no. 7, pp. 675–709, Sep. 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2010.03.001>.
- [78] M. Davidovich-Pinhas and Havazelet Bianco-Peled, “Novel mucoadhesive system based on sulfhydryl-acrylate interactions,” *Journal of Materials Science Materials in Medicine*, vol. 21, no. 7, pp. 2027–2034, Apr. 2010, doi: <https://doi.org/10.1007/s10856-010-4069-6>.
- [79] S. Bonengel and A. Bernkop-Schnürch, “Thiomers — From bench to market,” *Journal of Controlled Release*, vol. 195, pp. 120–129, Dec. 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.06.047>.

- [80] T. Eshel-Green and H. Bianco-Peled, "Mucoadhesive acrylated block copolymers micelles for the delivery of hydrophobic drugs," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 139, pp. 42–51, Mar. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.11.044>.
- [81] A. Štorha, E. A. Mun, and V. V. Khutoryanskiy, "Synthesis of thiolated and acrylated nanoparticles using thiol-ene click chemistry: towards novel mucoadhesive materials for drug delivery," *RSC Advances*, vol. 3, no. 30, p. 12275, May 2013, doi: <https://doi.org/10.1039/c3ra42093k>.
- [82] L. Shi and K. D. Caldwell, "Mucin Coating on Hydrophobic Polymer Materials," *MRS Proceedings*, vol. 599, Jan. 1999, doi: <https://doi.org/10.1557/proc-599-299>.
- [83] T. A. Sonia and C. P. Sharma, "Chitosan and Its Derivatives for Drug Delivery Perspective," *Advances in Polymer Science*, pp. 23–53, 2011, doi: [https://doi.org/10.1007/12\\_2011\\_117](https://doi.org/10.1007/12_2011_117).
- [84] C. Le Tien, M. Lacroix, P. Ispas-Szabo, and M.-A. Mateescu, "N-acylated chitosan: hydrophobic matrices for controlled drug release," *Journal of Controlled Release*, vol. 93, no. 1, pp. 1–13, Nov. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/s0168-3659\(03\)00327-4](https://doi.org/10.1016/s0168-3659(03)00327-4).
- [85] D. Sharma and J. Singh, "Synthesis and Characterization of Fatty Acid Grafted Chitosan Polymer and Their Nanomicelles for Nonviral Gene Delivery Applications," *Bioconjugate Chemistry*, vol. 28, no. 11, pp. 2772–2783, Oct. 2017, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.bioconjchem.7b00505>.
- [86] H. Li, Z. Zhang, X. Bao, G. Xu, and P. Yao, "Fatty acid and quaternary ammonium modified chitosan nanoparticles for insulin delivery," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 170, pp. 136–143, Oct. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.05.063>.
- [87] Y. Xie, X. Gong, Z. Jin, W. Xu, and K. Zhao, "Curcumin encapsulation in self-assembled nanoparticles based on amphiphilic palmitic acid-grafted-quaternized chitosan with enhanced cytotoxic, antimicrobial and antioxidant properties," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 222, pp. 2855–2867, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.064>.
- [88] M. C. Bonferoni *et al.*, "Palmitoyl Glycol Chitosan Micelles for Corneal Delivery of Cyclosporine," *Journal of Biomedical Nanotechnology*, vol. 12, no. 1, pp. 231–240, Jan. 2016, doi: <https://doi.org/10.1166/jbn.2016.2140>.
- [89] Krzysztof Pyrc *et al.*, "SARS-CoV-2 inhibition using a mucoadhesive, amphiphilic chitosan that may serve as an anti-viral nasal spray," *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99404-8>.
- [90] A. Almeida *et al.*, "Novel amphiphilic chitosan micelles as carriers for hydrophobic anticancer drugs," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 112, p. 110920, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110920>.
- [91] A. T. Bernal-Mercado, J. Juarez, M. A. Valdez, J. F. Ayala-Zavala, C. L. Del-Toro-Sánchez, and D. Encinas-Basurto, "Hydrophobic Chitosan Nanoparticles Loaded with Carvacrol against *Pseudomonas aeruginosa* Biofilms," *Molecules*, vol. 27, no. 3, p. 699, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules27030699>.

- [92] A. Bernkop-Schnürch and S. Steininger, "Synthesis and characterisation of mucoadhesive thiolated polymers," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 194, no. 2, pp. 239–247, Jan. 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-5173\(99\)00387-7](https://doi.org/10.1016/s0378-5173(99)00387-7).
- [93] M. Mukhtar, E. Fényes, C. Bartos, M. Zeeshan, and R. Ambrus, "Chitosan biopolymer, its derivatives and potential applications in nano-therapeutics: A comprehensive review," *European Polymer Journal*, vol. 160, p. 110767, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110767>.
- [94] N. G. M. Schipper, K. M. Vårum, P. Stenberg, G. Ocklind, H. Lennernäs, and P. Artursson, "Chitosans as absorption enhancers of poorly absorbable drugs," *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 8, no. 4, pp. 335–343, Aug. 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/s0928-0987\(99\)00032-9](https://doi.org/10.1016/s0928-0987(99)00032-9).
- [95] A. Bernkop-Schnürch, M. Hornof, and D. Guggi, "Thiolated chitosans," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 57, no. 1, pp. 9–17, Jan. 2004, doi: [https://doi.org/10.1016/s0939-6411\(03\)00147-4](https://doi.org/10.1016/s0939-6411(03)00147-4).
- [96] Y. Zhang *et al.*, "The function and mechanism of preactivated thiomers in triggering epithelial tight junctions opening," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 133, pp. 188–199, Dec. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2018.10.014>.
- [97] A. Bernkop-Schnürch, A. H. Krauland, V. M. Leitner, and T. Palmberger, "Thiomers: potential excipients for non-invasive peptide delivery systems," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 58, no. 2, pp. 253–263, Sep. 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2004.03.032>.
- [98] K. Kafedjiiski, A. H. Krauland, M. H. Hoffer, and A. Bernkop-Schnürch, "Synthesis and in vitro evaluation of a novel thiolated chitosan," *Biomaterials*, vol. 26, no. 7, pp. 819–826, Mar. 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.03.011>.
- [99] C. Federer, M. Kurpiers, and A. Bernkop-Schnürch, "Thiolated Chitosans: A Multi-talented Class of Polymers for Various Applications," *Biomacromolecules*, vol. 22, no. 1, pp. 24–56, Jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00663>.
- [100] S. Manna *et al.*, "Chitosan Derivatives as Carriers for Drug Delivery and Biomedical Applications," *ACS Biomaterials Science & Engineering*, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c01297>.
- [101] W. Samprasit, P. Opanasopit, and B. Chamsai, "Mucoadhesive chitosan and thiolated chitosan nanoparticles containing alpha mangostin for possible Colon-targeted delivery," *Pharmaceutical Development and Technology*, vol. 26, no. 3, pp. 362–372, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1080/10837450.2021.1873370>.
- [102] S. Maria *et al.*, "Synthesis and characterization of pre-activated thiolated chitosan nanoparticles for oral delivery of octreotide," *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 58, pp. 101807–101807, Aug. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101807>.
- [103] M. Croce, S. Conti, C. Maake, and G. R. Patzke, "Synthesis and screening of N-acyl thiolated chitosans for antibacterial applications," *Carbohydrate Polymers*, vol. 151, pp. 1184–1192, Oct. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.014>.

- [104] D. Liu *et al.*, “Potential advantages of a novel chitosan-N-acetylcysteine surface modified nanostructured lipid carrier on the performance of ophthalmic delivery of curcumin,” *Scientific Reports*, vol. 6, no. 1, Jun. 2016, doi: <https://doi.org/10.1038/srep28796>.
- [105] B. Fan, Y. Xing, Y. Zheng, C. Sun, and G. Liang, “pH-responsive thiolated chitosan nanoparticles for oral low-molecular weight heparin delivery: in vitro and in vivo evaluation,” *Drug Delivery*, vol. 23, no. 1, pp. 238–247, May 2014, doi: <https://doi.org/10.3109/10717544.2014.909908>.
- [106] R. Esquivel, J. Juárez, M. Almada, J. Ibarra, and M. A. Valdez, “Synthesis and Characterization of New Thiolated Chitosan Nanoparticles Obtained by Ionic Gelation Method,” *International Journal of Polymer Science*, vol. 2015, pp. 1–18, 2015, doi: <https://doi.org/10.1155/2015/502058>.
- [107] T. Schmitz, Vjera Grabovac, T. F. Palmberger, M. H. Hoffer, and A. Bernkop-Schnürch, “Synthesis and characterization of a chitosan-N-acetyl cysteine conjugate,” *International Journal of Pharmaceutics* vol. 347, no. 1–2, pp. 79–85, Jan. 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2007.06.040>.
- [108] C. E. Kast, C. Valenta, M. Leopold, and A. Bernkop-Schnürch, “Design and in vitro evaluation of a novel bioadhesive vaginal drug delivery system for clotrimazole,” *Journal of Controlled Release*, vol. 81, no. 3, pp. 347–354, Jun. 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/s0168-3659\(02\)00077-9](https://doi.org/10.1016/s0168-3659(02)00077-9).
- [109] C. E. Kast and A. Bernkop-Schnürch, “Thiolated polymers — thiomers: development and in vitro evaluation of chitosan–thioglycolic acid conjugates,” *Biomaterials*, vol. 22, no. 17, pp. 2345–2352, Sep. 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/s0142-9612\(00\)00421-x](https://doi.org/10.1016/s0142-9612(00)00421-x).
- [110] S. Sudhakar, S. V. Chandran, N. Selvamurugan, and R. A. Nazeer, “Biodistribution and pharmacokinetics of thiolated chitosan nanoparticles for oral delivery of insulin in vivo,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 150, pp. 281–288, May 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.079>.
- [111] F. Naseer, T. Ahmad, K. Kousar, S. Kakar, R. Gul, and S. Anjum, “Formulation of surface-functionalized hyaluronic acid-coated thiolated chitosan nano-formulation for the delivery of vincristine in prostate cancer: A multifunctional targeted drug delivery approach,” *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 74, p. 103545, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103545>.
- [112] O. Iqbal *et al.*, “Moxifloxacin loaded nanoparticles of disulfide bridged thiolated chitosan-eudragit RS100 for controlled drug delivery,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 182, pp. 2087–2096, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.199>.
- [113] S. Javed *et al.*, “Tobramycin-loaded nanoparticles of thiolated chitosan for ocular drug delivery: Preparation, mucoadhesion and pharmacokinetic evaluation,” *Heliyon*, vol. 9, no. 9, pp. e19877–e19877, Sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19877>.

## Extraction and Encapsulation Methods for Pomegranate Seed (*P. granatum*) Oils, Review

Nilüfer Gülcan Akalan<sup>1\*</sup> , Aslı Gök<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Chemical Engineering Department, Istanbul University-Cerrahpaşa, Istanbul, Turkey

\*nilufergulcan.akalan@ogr.iuc.edu.tr

### Abstract

The interest in the functional use of bioactive components of fruit products in a variety of fields is constantly on the increase. Lately, research is ongoing to develop new technologies such as simple mixing, pressure-assisted extraction, enzymatic extraction, ultrasound-assisted extraction, pulsed electric fields, high hydrostatic pressure, ohmic heating, and microwave-assisted extraction. This research is aimed at designing equipment, improving the efficiency of extracting bioactive compounds with organic solvents, and developing extraction methods. Research has shown that pomegranate fruits, arils, and seeds contain a variety of bioactive constituents, such as ellagitannins, hydroxycinnamic acids, hydroxybenzoic acids, flavones, flavonol-3-ols, anthocyanidins, anthocyanins, and conjugates. Consequently, encapsulation techniques preserve the quality of the oil and other components of pomegranate seeds. The technique of encapsulation enables the safe delivery, preservation, and regulation of the targeted release of bioactive constituents in food systems. Natural botanical conservation, which not only extends the shelf life of products but also has unique biochemical qualities, is increasingly being used in many sectors, including food, cosmetics, and pharmaceuticals. This study provides information on the encapsulation techniques used to protect sensitive compounds and their benefits. Currently, there are increasing problems related to food quality, safety, and reliability that cause undesirable effects on product quality. These techniques are expected to be effective in achieving food safety and reliability goals in the future.

**Keywords:** Punica granatum, Pomegranate seed oils, Bioactive components, Encapsulation, Extraction methods

## Nar Çekirdeği (*P. granatum*) Yağlarının Ekstraksiyonu ve Enkapsülasyon Yöntemleri, Derleme

### Özet

Bitkisel ürünlerin biyoaktif bileşenlerinin çeşitli alanlarda fonksiyonel kullanımına olan ilgi sürekli olarak artmaktadır. Son zamanlarda, Basit Karıştırma, Basınç Uygulamalı Ekstraksiyon, Enzimatik Ekstraksiyon, Ultrases Destekli Ekstraksiyon, Darbeli Elektrik Alanlar, Yüksek Hidrostatik Basınç, Ohmik Isıtma, Mikrodalga Yardımcı Ekstraksiyon gibi yeni teknolojilerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmalar sayesinde, ekipman tasarımı, biyoaktif bileşiklerin organik çözücüler ile ekstraksiyon etkinliği ve ekstraksiyon yönteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Nar meyvesinin, kabuğunun ve çekirdeğinin, ellagitanninler, hidroksisünamik asitler, hidroksibenzoik asitler, flavonlar, flavonol-3-oller, antosiyanidinler, antosiyaninler ve konjugeler gibi çeşitli biyoaktif bileşiklere sahip olduğu araştırma literatürlerinde belirtilmiştir. Bu derleme nar çekirdeğinin yağ kompozisyonları ve bileşenlerinin kalitesini koruyan enkapsülasyon tekniklerine yönelik yapılan çalışmaları özetlemektedir. Kapsülleme, gıda sistemlerinde biyoaktif bileşenlerin güvenli bir şekilde verilmesini, korunmasını ve hedeflenen salım düzenlenmesini sağlayan bir tekniktir. Bu çalışma, hassas bileşikleri ve faydalarını koruyan enkapsülasyon teknikleri hakkında bilgi vermektedir. Günümüzde, gıda kalitesi, güvenliği ve güvenilirliğiyle ilgili sorunların artması ürün kalitesinde istenmeyen etkilere neden olmaktadır. Bu tekniklerin ileride gıda güvenliği ve güvenilirlik konusunda etkili olması beklenmektedir.



**Anahtar Kelimeler:** *Punica granatum*, Nar çekirdek yağı, Biyoaktif bileşenler, Enkapsülasyon, Ekstraksiyon yöntemleri

## 1. INTRODUCTION

Approximately 500 species of *Punica granatum* of various sizes, shapes, flavors, and colors are cultivated worldwide. The pomegranate is a spherical fruit with an 8–12 cm diameter. The fruit's rinds can be thick or thin, varying in color from pale yellow to crimson. The fruits of the superior varieties have strong planting and fleshy textures, juicy but thinner than those of the lesser varieties [1].

Pomegranate (*P. granatum* L.) is grown in tropical and subtropical regions [2]. The Silk Road introduced the pomegranate, widely cultivated in Central Asia, to China. The spread of medical knowledge throughout China is key to enriching conventional medical theory [3]. Ancient Mediterranean cultures have played a significant role in pomegranate fruit cultivation, which has occurred for over 4,000 years due to its medicinal and nutritional qualities. Pomegranate, which has an annual global production of 2.5-3 million tons, is used in various culinary items such as juice, concentrate, jam, sugar, sauce, preserves, and fresh food. The food and pharmaceutical industries have developed food additives, medicines, supplements, and extracts from pomegranate processing waste. Previous research reports that pomegranate's chemical constituents are mainly tannins, alkaloids, organic acids, and flavonoids [3]. The bioactive components of pomegranates include anthocyanin, ellagic acid, ellagitannin, punicic acid, flavanol, flavan-3-ol, and flavone [4].

Flavonoid compounds such as flavonols, anthocyanins, and flavan-3-ol are mainly present in pomegranate seeds [2]. Juice and seeds are the main components of pomegranate waste, yielding up to 20% oil [5]. Owing to its inhibitory effect on lipid peroxidation, punicic acid, the main component of pomegranate seed oil, may inhibit cancer cell growth [3]. An alternative oil is pomegranate seed oil, which contains nutraceutical functional components such as sterols and punicic acid [2]. Accordingly, these oils have been evaluated for their high content of tocopherols, phytosterols, and phenolic constituents, especially for pharmaceutical purposes [5]. Furthermore, pomegranate seed oil has a high concentration of bioactive conjugated  $\alpha$ -linolenic acid isomers, accounting for approximately 85% of the oil's fatty acids [6]. Moroccan pomegranate seed oil is prone to oxidation due to its high conjugated  $\alpha$ -linolenic acid concentration [7]. As storage time increases, the oxidative stability of pomegranate seed oil also decreases [2]. It is a valuable oil with characteristics and an abundance of bioactive molecules [8], such as terpenoids, polyphenols, alkaloids, and other nitrogen-containing substances [9]. It is also used for its biocompatibility [10], neuroprotective effects [11], and as a byproduct in animal feed [12, 13]. Polyphenols are an important class of phytochemicals used to treat diabetes [14, 15, 16]. Integrating essential oils into natural polymer packaging is considered an innovative method for food preservation [17]. Many studies have shown that dried pomegranate seeds and oil have therapeutic effects [18].

Research on the function of fatty acids, which have a wide variety of pharmacological effects, particularly anti-bacterial and anti-viral effects, glucose and lipid metabolism regulation, anti-tumor effects, cardiovascular improvement, and immunomodulation, has provided a basis for further research on pomegranate fruit [3]. Pomegranate seed oil's punicic acid concentration has been associated with biological benefits such as anti-diabetes, anti-obesity, anti-carcinogenic, and anti-inflammatory properties [6].

## 2. EXTRACTION OF POMEGRANATE SEED (*Punica granatum*) OIL

The pomegranate fruit's seeds yield pomegranate seed oil, a valuable natural resource. The importance of this oil is based on its unique composition and function of fatty acids, antioxidants, vitamins, and bioactive compounds [19]. The extraction method and solvent significantly affect the oxidation parameters in the extraction of pomegranate seed oil [20], and sustainable extraction methods are preferred [21].

The quality and yield of pomegranate seed oil varies depending on the cultivar, extraction methods, etc. Boiling pomegranate seeds before extraction, which also increases oil yield, is thought to reduce the overall oxidation of fatty acids [22]. The pomegranate seed oil has a high punicic acid concentration and a low

omega-6/omega-3 ratio [23]. Microwave pretreatment of seeds before cold pressing significantly increases palmitic, oleic, and linoleic acids while decreasing the level of punicic acid [24]. In addition, cooking and digestive processes affect the compounds in pomegranate oil [25].

Conjugated fatty acids are present at different concentrations in numerous vegetable oils, which comprise 12-20% of the pomegranate seeds. Furthermore, polyunsaturated fatty acids with alternate double bonds are geometric isomers. This fatty acid is particularly interesting because of its positive physiological effects in various diseases [1]. These oils are carboxylic acids with long, saturated, or unsaturated aliphatic hydrocarbon chains. In addition, they are derived from triglycerides, or phospholipids, which contain aliphatic hydrocarbon chains. Based on the number of carbon atoms in the chain, there are three types of hydrocarbon chains: small, medium, and long. Ultimately, the small chains include 4-6 carbon atoms, the medium chains include 8-18 carbon atoms, and the long chains include more than 18 carbon atoms. The oil content in seeds varies in both quantity and quality, depending on the ripeness and geographical location of the pomegranate fruit grown [1].

Seeds possess significant quantities of insoluble bound phenolics, which play a role in stiffening the thick walls of sclerotia cells. In situ synthesis from linoleic acid, present at lower levels in seed oil, yielded punicic acid and, to a lesser extent, oleic, palmitic, and stearic acids in the study. Thus, it synergistically contributes to the antioxidant activity of pomegranate fruit. Boron, iron, and copper are the major trace elements found in juice, seeds, and peels, respectively, whereas silver and molybdenum are present in the seeds of all varieties. This demonstrates that the insoluble phenolics were mostly connected with structural polysaccharides that contribute to the cell wall membrane and protoplasts that accumulate/extract potentially hazardous metal ions [26].

The lipid content of the Zivzic cultivar was investigated, and five fatty acids were identified: stearic, palmitic, linoleic, oleic, and punicic acids. However, the proportion of polyunsaturated fatty acids in pomegranate seed oil has numerous health benefits [27]. Given its remarkable ability to combat inflammation and provide antioxidant benefits, it has preventive effects against estrogen-sensitive breast cancer. Furthermore, it is effective against pancreatic, prostate, and colon cancer. Researchers have also discovered that they can withstand high levels of flavonoids, potentially beneficial for individuals suffering from rheumatoid arthritis. Among the omega-5 fatty acids found in pomegranate seeds, conjugated linolenic acid is the most abundant [28].

The total fatty acids content of pomegranate seed, 22.63 g/100 g dry weight was cultivated in Morocco. The most basic fatty acid consisted of punicic acid (75.1 g/100 g), followed by catalpic acid, and linoleic acid. Beta-cytosterol was the sterol marker, while palmitic acid and stearic acid were saturated fatty acids. In addition, the total tocopherol content was 332.44 mg/100 g, with  $\beta$ -tocopherol being the main component, followed by alpha-tocopherol and gamma-tocopherol [7].

The fruit seeds and seed oils of 10 pomegranate cultivars growing in central Morocco were analyzed, finding oil outputs ranging from 17.59% to 24.69%. These studies identified high levels of polyunsaturated fatty acids. The presence of chlorophyll and pheophytin in oils, and the amount of antioxidants is also high [29]. Costa et al. (2021) determined the chemical composition, bioactivity, and quality of three marketed pomegranate seed oils from Turkey and Israel. The amount of punicic acid in all the oils was the same, but the amount of total conjugated linolenic acid was higher in Israeli species based on quality indicators and lipid types. Bioactive compounds included total phenolics, tocopherols,  $\beta$ -carotene, and conjugated linolenic acid. There are different kinds of phenolic acids, such as vanillic acid, ferulic acid, *p*-coumaric acid, tocopherols ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ),  $\beta$ -carotene, and total conjugated linolenic acid. This oil exhibits a unique phenolic profile, comprising three primary classes: phenolic acids, flavonols, and flavanones, with vanillic acid being the sole component present in all lipids. Comparisons with gas chromatography analysis using both flame ionization detectors and mass spectrometry detectors revealed eight different conjugated linolenic acid isomers in the retention times of the standards and mass spectrometric fragmentation profiles. Principal component analysis of pomegranate seed oil's phenolic content identified  $\gamma$ -tocopherol as the primary component, particularly in Turkish pomegranates [6].

The spectrophotometric method was employed to measure the overall phenolic, flavonoid, and antioxidant activity of the pomegranate seed oil extracts. Titration was employed to analyze tannins, while pH differences were utilized to determine anthocyanins. The conventional extraction approach produced the most total phenolics, expressed in gallic acid equivalents, whereas the sonication system produced the most total flavonoids, represented in catechin equivalents. Total phenolics were extracted more effectively using conventional methods (figure 1), and the novel large whole cultivar had the greatest bioactivity of the cultivars tested [30]. Table 1 shows the methods used to obtain pomegranate seed oil in the food sector and its uses [31].

Table 1. Pomegranate seed oil

Extraction Methods	<i>P. granatum</i> Oil Components	Used in the Food Industry
Soxhlet	Stearic acid	Packaging
Hot and cold pressing	Oleic acid	Animal feed
Supercritical fluid	Phytosterol	Functional component
Aqueous extraction	Arachidonic acid	Antimicrobial agent
Enzymatic extraction	Punicic acid	Drug applications
Microwave-assisted	Aliphatic alcohols	Fat substitutes
Ultrasound-assisted	Linolenic acid	
	Tocopherol	
	Palmitic acid	

Scientific research has indicated that pomegranate oil contains conjugated linolenic acids and punicic acid, a key fatty acid known for its notable biological activity [32]. The major sterol base was  $\beta$ -cytosterol, followed by campesterol, and delta-5 avenasterol. They are abundant in polyunsaturated fatty acids, including primary linoleic acid (omega-6), linolenic acid (omega-3), bioactive conjugated linolenic acid (omega-5), and eicosapentaenoic acid. Punicic acid constitutes 81.29% of the total fatty acids, while oleoresins, phenolic constituents, and sterols are other bioactive molecules that exhibit antioxidant activity. In addition, the oil contained high concentrations of rutin, quercetin, and caffeic acid. Oils with strong phenolic components have higher levels of gallic acid, catechin, chlorogenic acid, and caffeic acid than other vegetable oils [33]. New methods are being developed to replace conventional extraction methods so that they can be safely applied to foods in the future (Figure 1). Synergies between bioactive components combined with encapsulation techniques offer a bright future for safe and high-quality food [34]. Some of the extraction methods are explained in the next sections.

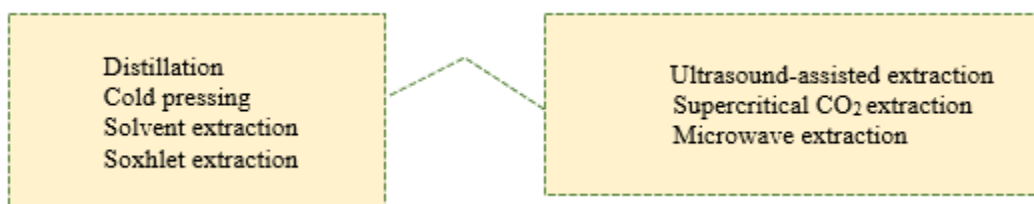


Figure 1. Conventional methods and new methods

### 2.1 Soxhlet Extraction

Although both Soxhlet and subcritical extraction methods provided high yields, the ultrasonic extraction and Soxhlet (shaking extraction) methods extracted greater amounts of squalene compounds. Squalene is a beneficial compound with numerous health benefits. The squalene content of pomegranate seed oil varies between 1.20 and 1.72 mg/g, depending on the oil extraction method. Pomegranate seed oil contained three tocopherol species ( $\alpha$ ,  $\gamma$ , and  $\delta$ ), ranging from 348.2 to 359.8 mg/100g. This study also determined ten different fatty acids in varying amounts. Punicic acid was found in high quantities among the fatty acids



measured using these techniques, ensuring the desired quality [30].

The fatty acid content of oils extracted by ultrasonic, soxhlet, and Bligh and Dyer methods was converted to fatty acid methyl esters. The results indicated that the timed extraction approach was quick and efficient. When compared to two conventional procedures for extracting pomegranate seed oil, soxhlet extraction, and the Bligh and Dyer method, the approach proved effective [28]. Solvent extraction is an environmentally harmful method [35].

## 2.2 Ultrasound-assisted Extraction

Ultrasound is a hybrid technology owing to its high throughput and low cost. The least expensive configuration for bioactive extraction and enzyme applications is ultrasonic baths [36]. In addition, ultrasound pretreatment increased the extraction of ellagic, chlorogenic, and gallic acids from both seeds and peels compared with the untreated sample [37]. Ultrasonication is a system used in various studies aimed at maximizing the cavitation activity in a sample matrix with different experimental parameters, such as duration, temperature, frequency, and power [38].

Seed oils of three pomegranate species (Jebali, Testouri, and Gabsi) cultivated in Tunisia were extracted via ultrasound to determine their physicochemical characteristics, fatty acid content, and sterol composition. It identified 81.53% punicic acid from Testouri and 86.41% from Gabsi as the major fatty acid component of pomegranate seed oil, while  $\beta$ -cytosterol emerged as the dominant phytosterol. Although the antioxidant activity of seed oils of two pomegranate species (Jebali, Testouri) decreased, the proanthocyanidin content increased. The extract of Gabsi pomegranate seeds has the greatest concentration of polyphenols and flavonoids. The extracts from Testouri and Gabsi species contained total polyphenols, 318.04 $\pm$ 1.75mg and 82.19 $\pm$ 1.77mg of catechin equivalents, respectively. Jebali species yielded the maximum oil, followed by Testouri and Gabsi. Consequently, oil from Tunisian varieties, especially Jebali, has become more important for human consumption in terms of fatty acids than other varieties [39].

Pomegranate seed oil research has enhanced the use of ultrasound to evaluate the concentration of carotenoids, tocopherols, sterols, phenols, and flavonoids. Furthermore, the extracts' antioxidant and anti-bacterial activities were assessed. Pomegranate seed fatty acid composition is also known for its potent bioactivity. The ultrasonic approach also characterized the carotenoids, tocopherols, sterols, phenols, and flavonoids found in pomegranate seed oil. Therefore, the antioxidant and antimicrobial activities of these compounds were determined. In addition, a high concentration of oleoresin in the oil containing bioactive molecules were also detected. Phenols and antioxidants were more abundant in these oils than in the standard vegetable oils [33].

Pomegranate seeds and arils that were extracted with ultrasound had better bioactivity, antimicrobial activity, and fewer phytotoxic compounds than seeds and arils that were extracted with ethanol solvents alone. The standardized extracts were rich in phenolics, ranging from (0.16-0.73 mg GAE/mg extract) gallic acid equivalent [40]. The ultrasound-assisted extraction method produced a high content of antioxidants, flavonoids, and anthocyanins [41]. On a dry basis, cyanidin-3-glucoside concentrations ranged from 0.06-0.60  $\mu$ g/mg, whereas catechin concentrations ranged from 0.019-0.068 mg CATE/ mg extract, equivalents. Furthermore, the antioxidant activity was measured at 0.01-0.20 mg/ml. The process is successful against gram-positive bacteria and yeast but less against gram-negative bacteria [40].

This assessed the bioactivity, anti-bacterial activity, and phytotoxicity of peel and seed extracts from the Acco, Big Full, and Superb pomegranate cultivars using standard pure ethanol solvent-assisted and ultrasound-assisted extraction procedures. In the cold-pressing investigation, the temperature of the extracted oil was less than 40°C, and the yield was 4.29%. Therefore, the industry proposes the co-extraction of oil from a mixture of plant materials and seed oils as a reliable, cost-effective, and time-efficient method. Pomegranate seed oils are considered to be of good quality and have high oxidative stability [42].

The hydrophilic components from pomegranate seed oil were extracted using pulsed ultrasonic extraction with water as the solvent. The resulting extracts contained (750mg/100g and 600mg/100g, respectively)

hydrolyzable tannins and vitamin C compounds [43].

### 2.3 Supercritical CO<sub>2</sub> Extraction

Pomegranate seed oil was extracted utilizing a more sustainable, ecologically green technology known as supercritical fluid extraction rather than conventional solvent extraction with n-hexane and carbon dioxide. Supercritical carbon dioxide extraction showed the highest lipid peroxidation inhibition capability (16.43%) when compared to n-hexane solvent extraction [44].

Byproduct seed pastes from *Vitis vinifera*, *Foeniculum vulgare*, *Cannabis sativa*, and *Punica granatum* were extracted using two different techniques: supercritical CO<sub>2</sub> and n-hexane. The remaining samples were extracted using 10% or 20% ethanol and water. Matrix identification was accomplished using high-performance liquid chromatography, a diode array detector, liquid chromatography, and high-resolution mass spectrometry. As a result of the study, the organic acids and the kaempferol flavonol from the pomegranate seed paste were determined and antioxidant activity was correlated with extract solubility. [45].

Supercritical CO<sub>2</sub> extraction [46] and modified freeze crystallization techniques based on different melting points of oils were used [47]. Furthermore, the ultrasound-assisted method with enzymatic pretreatment yielded a higher oil yield than other techniques [48]. Studies have shown that pomegranate seed oils treated at high temperatures exhibit strong oxidative stability. Modifying the tocopherol compounds in pomegranate oil is effective for this purpose [49]. There are many bioactive compounds in pomegranate fruits, arils, and seeds. These include flavones, flavonol-3-ols, ellagitannins, anthocyanidins, anthocyanins, hydroxycinnamic acids, hydroxybenzoic acids, and conjugates (Table 2).

Table 2. Some of the extraction analysis methods to identify to pomegranate seed of component

Extraction Methods	Analysis Equipment	Identified Components	Solvents	References
Cold solvent extraction	FTIR <sup>e</sup> , Schaal oven operation, spectrometer, GC <sup>c</sup>	Linoleic acid, oleic acid, palmitic acid, stearic acid, tetracosanoic acid, eicosanoic acid, arachidic acid and dihydro-gamma-linolenic acid	n-Hexane, n-Heptane (after cold methylation with 2 N KOH in methanol)	[2]
Conventional and ultrasound extraction,	UV/Vis <sup>d</sup> , pH differential	Total flavonoids expressed as catechin equivalents; anthocyanins expressed as cyanidin-3-glucosides and antioxidant activity	Ethanol-water, Tween80, methanol	[40]
Cold pressing	UV/Vis <sup>d</sup>	Pheophytin, punicic acid, phenolic acids, quercetin, and naringenin	Ethanol, gallic acid, acetone, ethanol	[42]

Table 2. Continue on

Cold pressing	GC-FID <sup>a</sup> , HPLC <sup>b</sup>	Palmitic acid, stearic acid, arachidic acid, <i>n</i> -Hexane, <i>n</i> -Heptane, catalpic acid, linoleic acid, $\beta$ -sitosterol, $\delta$ -hydroxide (2 N) tocopherol	[7]
Soxhlet extraction, Cold pressing	GC <sup>c</sup>	Palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, punicic acid	[1]
Ultrasound extraction	HPLC, UV-Vis <sup>d</sup> , fluorescence spectrophotometry	Ellagic, chlorogenic, gallic acids	Methanol, formic acid, water [37]
Hot water extraction	HPLC <sup>b</sup> , GC <sup>c</sup>	Eicosapentaenoic acid, Docosahexaenoic acid, Linoleic acid	Tween80, 2,2-Diphenyl 1-1-picryl hydroxyl and Trolox, [50]
Ultrasound-assisted extraction	HPLC <sup>b</sup>	Pectin, phenolic compounds, Carotenoids	Ethanol, gallic acid [51]

<sup>a</sup> Gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID). <sup>b</sup> High-performance liquid chromatography (HPLC). <sup>c</sup> Gas chromatography (GC). <sup>d</sup> Ultraviolet-Visible Spectroscopy (UV/Vis). <sup>e</sup> Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

### 3.ENCAPSULATION

Encapsulation (Figure 2), which provides a protective peel barrier to functional ingredients with numerous advantages, is an effective preservation method. Encapsulation of functional ingredients can be achieved using various techniques. This new technology ensures the resilience of these functional constituents and enables their incorporation into diverse food matrices. [52, 53, 18].

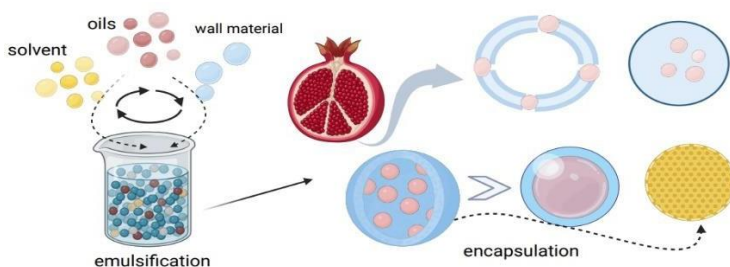


Figure 2. Emulsion preparation and encapsulation technology

Micro- and nanoemulsions are the most scientifically investigated encapsulation technologies due to their simplicity of usage and cheap production costs. They are characterized as a nano-sized dispersion of a liquid phase in another undissolved phase, with  $10^{-6}$  micrometers and  $10^{-9}$  nanometers. Despite the differences in terminology, both micro- and nanoemulsion oil droplets are nanometric in size. This is because microemulsions are thermodynamically stable, whereas nanoemulsions are kinetically stable. Another reason is the low surface tension during microencapsulation. Nanoencapsulation has a lower free energy; however, micro- and nanoemulsions do not differ qualitatively in composition from the aqueous phase. Encapsulation studies consist of an oily phase that includes an active oil component, a surfactant, and

sometimes a cosurfactant, alone or in combination with other oils. The most widely used surfactants nowadays are sucrose esters, sorbitan fatty acid esters, glycerol fatty acid esters, polyoxyethylene sorbitan fatty acid esters, and polyoxyethylene ether surfactants. Surfactants like Tween 80 and Tween 20 are widely employed in developing oil-based colloidal systems. Natural proteins and polysaccharides are preferred in this regard. Saponins and rhamnolipids are natural surfactants that are used in research. Cosurfactants are commonly used in microemulsion formulations, with short- to medium-chain alcohols being the most widely used. Other short- or medium-chain alcohols utilized in comparable studies include glycerol, propylene glycol, polyethylene glycol derivatives, and sorbitol [54].

Research on pomegranate seed oil found 16 fatty acids, and after 30 days, whey protein isolate produced the best linoleic, oleic, punicic,  $\alpha$ -eleostearic, catalpic, and  $\beta$ -eleostearic acid formulations. However, the encapsulation process did not affect the oil composition. The oil encapsulated with modified starch affected the formation of more volatile constituents than other oils [55]. Alginate concentration significantly affected the microspheres' oil loading, size, shape, and strength. The optimal process parameters for microencapsulating pomegranate seed oil were 10% oil loading, 350  $\mu$  nozzle diameter, and 3.23% alginate concentration. Encapsulation of pomegranate seed oil in calcium alginate may have advantageous effects on cosmetic, medicinal, and culinary applications. Furthermore, alginate content, oil loading, and feed size all substantially affected the microspheres' size, shape, and strength [56]. In research on pomegranate seed oil with a smaller emulsion droplet size, there was a greater degree of encapsulation, and different wall materials and their compositions affected particle size. In addition, the density of particles and the level of porosity have a direct effect on the stability of the encapsulation against oxidation. The relationship between the volume of interstitial air and liquid content and particle density is directly proportional [57].

A functional microcapsule containing  $\omega$ -5 fatty acids and necessary amino acids was created by covering it with pomegranate seed protein isolate. The microcapsules were formed by loading different coating materials, such as pomegranate seed oil [58], gum arabic, gelatin, and pomegranate seed protein isolate, followed by spray drying. In addition, the microencapsulation efficiency was determined to be low, while the pomegranate seed protein isolate exhibited the highest hydrophilicity. The combination of gum arabic and pomegranate seed protein isolate led to the formation of microcapsules with highly desirable morphologies. All microcapsules exhibited heterogeneous particle size distributions. All microcapsules were analyzed using x-ray diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy, and nuclear magnetic resonance. The thermal investigation found a deformation temperature of greater than 250 °C. Gum arabic and pomegranate seed protein isolates outperformed gelatin in reducing the negative effects of temperature on oxidation [59].

The pomegranate seed oil contains conjugated linolenic acids and can be oxidatively damaged due to its unsaturated fatty acids. In addition, these oils have nutritional value and numerous functional properties. In this investigation, microencapsulation effectiveness varied from 93.3 to 96.6%, making it appropriate for spray drying and suggesting that most oils were adequately encapsulated. Particle density and porosity are essential physical parameters influencing food powder stability during storage. Furthermore, the lack of fractures in the microcapsules is important since it minimizes permeability and protects the core components. Spray drying had no detrimental impact on peroxide concentrations. During storage at 25°C, all samples showed an increase in peroxide content, and the trend continued at 60°C. However, oxidation intensity was higher than in treatments maintained at 25 °C [60].

Nanocapsules, nanoemulsions, micelles, and nanogels allow insecticides to outperform traditional pesticides while causing minimum harm to the environment. The active ingredients of the nanocapsules were protected. Stimulus-responsive nanocapsules control pesticide release by responding to pH, temperature, light, enzymes, or oxidative reactions [61]. Moreover, many oils have been incorporated into nanoemulsions, increasing the utility of natural substances [62]. Pullulan-nano-based pomegranate seed oil was also developed [63]. In research using pomegranate seed oil, loaded nanomaterials with an average diameter of 327 nm and 97.6% encapsulation effectiveness were created. The fish fillets and cheese samples covered with nanomats had reduced lipid oxidation than the control [64]. Nanotechnology is one of the most

promising methods for evaluating the bioactive components of byproducts [65].

Microwave extraction yielded an extract that contained O-H bonds, the most abundant phenolic compounds. The type and amount of extractive compounds in the extract also had a big effect on how well the nanocapsules worked and how the particles' sizes were spread out on average. Furthermore, essential oil-loaded nanoparticles exhibit decreased volatility, chemical inertness, sustained release, and storage stability [66].

Microwave pretreatment increased the water absorption capacity, texture, and rheological characteristics of ovalbumin-inulin-carrageenan-pomegranate seed oil emulsion gel. Pomegranate oil's oxidation was shown to be inhibited [67]. Gellan gum [68], propolis [69], geleol [70], chitosan-capric acid [71], maltodextrin, gum arabic [72], whey protein isolate [73], and alpha-tocopherol [74] were used in this study. Whey protein isolates microgels, and whey protein isolates in their original form, gum arabic, maltodextrin, modified starch, and whey protein isolate mixtures were all employed as encapsulation barriers [57].

The wall material and temperature strongly influence the encapsulation effect. Thus, air, temperature, and light all contribute to oil oxidation, which reduces its consistency and nutritional value. However, as the density of many small particles increases, round or irregular particles become less dense than flat particles. The peroxide concentration of bulk and encapsulated oils increased with increasing storage time. Thus, its value rises at high temperatures or over time. Understanding the impact of hygroscopicity on encapsulated powders and food shelf life is crucial. Water intake promotes the oxidation of fats and lipids, increasing the fluidity of the powder, which is damaging to food. During drying, higher temperatures result in a higher moisture content because the powder particles remain inside for a shorter time. The particle size was determined by the drying method, wall material, and core/wall material ratio [56].

It has been reported that the encapsulation process reduces the formation of trienes and dienes and protects oils from oxidation [50]. Organic solvents should be extracted using microwave-assisted and ultrasonic-assisted extraction methods. Additionally, the equipment used for this extraction poses challenges for large-scale industrial production applications. Subcritical extraction has greater application potential in oil extraction than other methods [30]. Complexation or encapsulation of pomegranate extracts with metal nanoparticles or biopolymers has led to the development of food supplements. In the studies conducted thus far, hydrodynamic cavitation has not yet been used for pomegranate fruit. However, these methods are important because of their relatively high extraction rates of bioactive compounds [75]. Plant and fruit extracts are also used in the cosmetic industry via electrohydrodynamic processes [76]. Integrating essential oils into natural polymer packaging is considered an innovative method for food preservation [17]. Some studies on this topic are presented in Table 3.

Table 3. Extraction studies summarised than encapsulation methods

Extraction Methods	Analysis Equipment	Identified Components	Solvents	Methods and Wall Materials	References
Ultrasound extraction with ethanol	GC <sup>c</sup> , Attenuated reflectance-FTIR <sup>e</sup> , DCS <sup>g</sup> , UV-Vis <sup>d</sup>	SEM <sup>f</sup> , Punicic acid, oleic acid, linoleic acid, palmitic acid, stearic acid	Hexane, ethyl acetate, ethanol, isopropanol	Microencapsulation; Spray drying, succinylated taro starch	[77]
Soxhlet extraction		Oils	<i>n</i> -Hexane, acetic acid, chloroform	Microencapsulation; freeze drying, spray drying, maltodextrin, whey protein	[78]

Table 3. Continue on

Ultrasound extraction	UV/Vis <sup>d</sup> , Aluminum chloride colorimetric method, HPLC <sup>b</sup> , FID <sup>h</sup> , electron microscopy	tocochromanol, sterols, phenolics, flavonoids, $\beta$ -sitosterol, campesterol, lutein, gallic acid, polyunsaturated fatty acids	Petroleum ether, <i>n</i> -Hexane, methanol, acetonitrile, tributyl-methyl ether, toluene	Encapsulation Maltodextrin, gum arabic	[33]
Solvent extraction	UV-Vis <sup>d</sup>	Total phenolic compounds 349,52 $\pm$ 0,01 mg GAE/g	Ethanol, deionized water	Nanocapsulation; gelation technique, calcium chloride, sodium alginate	[79]
Solid-liquid extraction	FID <sup>h</sup> , HPLC <sup>b</sup> , SEM <sup>f</sup>	Fatty acids composition, phenolic compounds catechin, protocatechuic, rutin, <i>p</i> -coumaric	Tween80, acetonitrile, methanol, chloroform, Ethanol	Encapsulation in double emulsions (direct, membrane)	[80]
Pulsed ultrasound-assisted extraction, aqueous extract analysis	UV-Vis <sup>d</sup> , HPLC <sup>b</sup>	Malic acid, cinnamic acids, cinnamic acids ( $\gamma$ -terpinene), succinic acid, vitamin C	Water	Microencapsulation; spray-dried, pectin	[43]
Soxhlet Extraction	SEM <sup>f</sup> , FT-IR <sup>e</sup> , DSC <sup>g</sup> , FID <sup>h</sup>	polyphenols	Deep eutectic solvent	Microencapsulation; complex coacervation, chitosan and zein	[81]

<sup>f</sup>Scanning electron microscopy (SEM), <sup>g</sup>Differential scanning calorimetry (DSC), <sup>h</sup>Flame ionization detector (FID)

## 4. ENCAPSULATION METHODS

### 4.1 Coacervation

Coacervation microparticles were made from highly soluble wall materials, but the coacervation procedure and a hydrophobic core lowered their solubility. The high temperature most likely caused dehydration of the microparticles, which raised stress on their structure and hastened fracture and pore development. This is visible in the increased concentration of punicic acid,  $\alpha$ - and  $\beta$ -eleostearic and catalpic acids, which are also isomerized. The chemical classes include esters, aldehydes, alcohols, ketones, carboxylic acids, ethers, and hydrocarbons. As shown by the buildup of aldehydes, lipid oxidation has increased. These structural changes, which included a loss of gamma-tocopherol and total conjugated linolenic acid, in addition to increased hygroscopicity of wall components, didn't enhance lipid oxidation [6,82].

Pomegranate rind extract and pomegranate seed oil microencapsulation research have focused on preserving and delivering active components. Pomegranate arils and seeds have been shown in studies to have technologically favorable benefits on several dishes, including meat, baked items, and dairy products [5]. An ionic gelation technique was developed in this study. This results in adsorption-generated pectin-starch



beads with higher microstructural stability and slower release rates [83]. Natural botanical conservation, which extends the shelf life of products and has unique biochemical qualities, is increasingly used in many sectors, including food, cosmetics, and pharmaceuticals.

## 4.2 Spray-Drying

Microencapsulating pomegranate seed oil from Mexican crops involved spray drying succinylated taro starch and  $\beta$ -cyclodextrin. The technique with the highest encapsulation efficiency for pomegranate seed oil was favored using a central composite design. These oil-bearing microparticles, prepared with 15% feed solids at an inlet air temperature of 190°C, exhibited little water solubility, water activity, or hygroscopicity, enabling their processing, storage, and incorporation into essentially oil-phase food matrices. Nevertheless, the experiment yielded poor encapsulation and a high concentration of surface oil. Furthermore, the materials can be spray-dried for a reduced duration without compromising the quality of the oil, resulting in yields ranging from 23.1% to 48.5%. The effect of the  $\beta$ -cyclodextrin-taro starch microparticles loaded with pomegranate seed oil ranged from 22.81% to 61.09%. Microparticle solubility regulates the type of food matrix into which they can be put, whereas hydrophobicity affects storage conditions by influencing lipid oxidation. The hydrophobicity of taro starch stops it from becoming more soluble and water-attracting, which is good for using and storing microparticles. Furthermore, pomegranate seed oil-loaded microbeads are better suited to low-water or high-oil food matrixes, and pomegranate seed oil supplementation enhances microbead structural disorder [77].

Pomegranate seed oil is encapsulated using the most common spray-drying technology to retain its bioactive constituents and lengthen its shelf life, as it contains conjugated fatty acids prone to degradation. This study used whey protein only at a 1:4 weight ratio with maltodextrin. Input emulsion amount, drop size, encapsulation efficiency, moisture content, bulk density, particle morphologies, size, hygroscopicity, and solubilizing power were all measured. The spray drying procedures were as follows: intake temperature 125-150 °C, output temperature 60-67 °C, airflow 40-42 m<sup>3</sup>/min, feed rate 5.2g/m, and pump speed of 40%. As a result, the particles were spherical, with notches on their surfaces. Following 15 days of oxidation stability at 60 °C (8 h/day), 35% of the total solids showed a decreased size of droplets. Using only whey protein resulted in better encapsulation and oxidative stability than using a mixture of whey protein and maltodextrin as a wall material [78].

Spray drying was used to microencapsulate natural and enhanced extracts of pomegranate (*P. Granatum*) in the epidermis, which are rich in polyphenols such as punicalagin and ellagic acid. The microparticles made with biopolymer-based gum arabic, pectin, and modified chitosan bore were usually between 2.55 and 6.86  $\mu$ m in size. The gum arabic-based carriers had the quickest release. The Korsmeyer-Peppas technique was used for the experimental release profiles, and pectin-based microparticles demonstrated the slowest release profile. Cancer cells' vitality was somewhat reduced when coated [84].

Albumin had the least bioactivity retention among the wall materials used in the encapsulation process, while the combination of maltodextrin and pure gum arabic provided better bioactivity retention. However, the freeze-drying technique produces capsules with higher hygroscopicity than the spray-drying technique [85]. The encapsulation technique, used as a micro- and nanostructure for pomegranate seed oil, conserved the bioactive constituent oleoresin and reduced mycotoxins. Accordingly, applying this oil to fungal media reduced aflatoxin and zearalenone levels by up to 63% and 78.5%, respectively. The method described in this study enabled the incorporation of oleoresin into this oil, which protected against aflatoxin-induced hepatotoxicity and had no cytotoxic effect on an isolated murine hepatocyte cell line [33].

An instant caffè latte drink containing pomegranate seed oil microparticles (30%) was formulated, the microparticles were applied, and their physical properties were evaluated. Depletion of  $\gamma$ -tocopherol led to a reduction in conjugated linolenic acid concentration compared to complicated coacervation spray drying. Direct spray drying of pomegranate seed oil emulsions was a more efficient, dynamic, and cost-effective encapsulating approach for producing more oxidation-resistant particles. Coacervation somewhat raised the moisture content. However, homogenization is critical in this procedure [6,82].

A spray-drying microdispersion approach with pectins as a polymeric matrix was utilized to stabilize the overall polyphenolic content to create water-soluble bioactive molecules. Consequently, powders were encapsulated (approximately 50%) while retaining their functional qualities. In addition, the extraction of water-soluble bioactive compounds from these byproducts was studied utilizing pulsed ultrasound-assisted extraction with just water and spray-drying microdispersion with low-methoxyl pectin [43].

### 4.3 Emulsification

A high-energy emulsification approach was used to create an oil/water emulsion and a combination of ultrasonication and homogenization processes. This study combined chitosan, sodium alginate, whey protein concentrate, and maltodextrin wall components with seed oil and distilled water. The mixture was ultrasonically processed for 3 minutes before the pH of the emulsion was corrected using sodium hydroxide and hydrochloric acid. The emulsion was placed in an ultrasonic bath for six minutes to obtain a homogeneous mixture. All microencapsulated emulsions were lyophilized and kept at -18 °C. Equation 1 was used for calculating microencapsulation efficiency:

$$\text{Encapsulation efficiency (\%)} = \frac{\text{Total oil} - \text{Surface oil}}{\text{Total oil}} \times 100 \quad (1)$$

The microencapsulation procedure produced excellent yield, low release, good moisture, and stability of balanced (*Lallemantia royleana*) seed oil extracted by ultrasonic incubation in polysaccharide and protein matrices. Emulsions were found to have good stability and purity. Under harsh conditions, this technique effectively preserves the produced oil. They can also be utilized extensively in water-based food items. The structure of the optimal sample indicates that the emulsification and microencapsulation operations were successful [86].

In a study where pomegranate seed oil was encapsulated using conventional and Pickering emulsion methods, low-viscosity emulsions were obtained, and capsules with a droplet size of 1.39-2.55 µm were formed by spray drying. The emulsions obtained in this study formed particles with encapsulation efficiencies between 56.28 and 73.83% and between 28.07 and 93.99%. The encapsulated oil provided better oxidative protection than the non-encapsulated oil due to its smaller particle sizes (ranging from 9.86 to 22.60 µm). However, experts believe that a combination of whey protein isolate, modified starch, and the non-degradability of pomegranate seed oil would make the ideal wall materials for future food industry applications. They can be spheroidal or oblong, depending on the heating conditions and pH [57].

Several researchers have successfully encapsulated and stabilized Pickering and conventional emulsions via emulsification with pomegranate seed oil. Furthermore, recent research has revealed that Pickering emulsions are more stable than traditional emulsions and that both emulsions have appropriate qualities for stabilizing oil-water systems. Their high stabilities facilitate the ability of emulsions to dry and be used in food products. Spray-dried emulsions generated powders with useable and storable physicochemical features, such as excellent encapsulation efficiency, yield, and resistance to oil oxidation [55].

### 4.4 Extrusion

Extrusion techniques include hot melt, melt injection, co-extrusion, and electrostatic extrusion. Encapsulating more bioactive compounds aids in reducing particle size. Thus, reducing the particle size of the extrudate promotes an increase in the shelf life of the encapsulated bioactive substance, as well as a controlled release at the desired spot in the body. Furthermore, this technique preferentially uses wall materials rather than spray-drying [87]. Conventional extraction techniques are often unfavorable owing to their energy-intensive and time-consuming nature. They use organic solvents that harm the environment and human health. In contrast, new technologies have been identified as more advantageous than traditional methods. The majority of conjugated linoleic acid is obtained from pomegranate seeds [88]. It is utilized as a functional component in foods and drinks, a fat replacement, and a preservative in food packaging [31]. Phenolic constituents play an insignificant role in sustaining oil quality. Additionally, the kind of antioxidant utilized had no significant effect on the quantity of punicic acid, the oil's primary fatty acid, or the radical



scavenging capacity of pomegranate seed oil. According to research, pomegranate rind extract can help stabilize pomegranate seed oil [4]. Cold-pressed pomegranate seed oil extract contains bioactive compounds that can be antioxidants [89]. Encapsulated oil liposomes preserve the oil's antioxidant and anti-inflammatory effects. Punicic acid also offers a regulated release mechanism [44]

Microencapsulated bioactive pomegranate extracts appear to be useful in enhancing plant biological activity. Encapsulation is an effective approach for improving the biological activities of bioactive substances, enhancing their bioavailability and stability, and overcoming application limitations [60].

## 5. CONCLUSIONS

Pomegranate seed oil is an oil with a wealth of bioactive compounds that have nutritive, antioxidant, and anti-mycotoxigenic activities. It also has many health benefits due to the presence of bioactive compounds. However, due to the high concentration of unsaturated fatty acids, it is subjected to very rapid oxidative degradation. Microencapsulation can be an excellent alternative technique to modify the reactivity, stability, sensitivity, and photosensitivity of these natural compounds. The benefits of pomegranate oil, a non-traditional type of oil, have been confirmed by scientific studies to date. This research aims to summarize recent research, analytical and extraction techniques used to recover bioactive constituents, especially punicic acid, from pomegranate seed oil, the waste product of pomegranate fruit, as well as a literature review related to the analytical and extraction techniques used.

## REFERENCES

- [1] S. A. Mahesar, A. H. Kori, S. T. H. Sherazi, A. A. Kandhro, and Z. H. Laghari, "Pomegranate (*Punica granatum*) Seed Oil," in *Fruit Oils: Chemistry and Functionality*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 691–709. doi: 10.1007/978-3-030-12473-1\_37.
- [2] E. Adal and T. Aktar, "Determining the Quality and Storage Stability of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Seed Oil with Accelerated Shelf-Life Approach," *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, vol. 10, no. 6, pp. 1102–1107, Jul. 2022, doi: 10.24925/turjaf.v10i6.1102-1107.5121.
- [3] S. Ge *et al.*, "A unique understanding of traditional medicine of pomegranate, *Punica granatum* L. and its current research status," *J Ethnopharmacol*, vol. 271, p. 113877, May 2021, doi: 10.1016/j.jep.2021.113877.
- [4] Z. Drinić, J. Mudrić, G. Zdunić, D. Bigović, N. Menković, and K. Šavikin, "Effect of pomegranate peel extract on the oxidative stability of pomegranate seed oil," *Food Chem*, vol. 333, p. 127501, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127501.
- [5] A. Görgüç, E. Gençdağ, and F. M. Yılmaz, "Industrial Pomegranate Wastes and their Functional Benefits in Novel Food Formulations," in *Mediterranean Fruits Bio-wastes*, Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 721–738. doi: 10.1007/978-3-030-84436-3\_31.
- [6] A. M. M. Costa, L. O. Silva, and A. G. Torres, "Chemical composition of commercial cold-pressed pomegranate (*Punica granatum*) seed oil from Turkey and Israel, and the use of bioactive compounds for samples' origin preliminary discrimination," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 75, pp. 8–16, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jfca.2018.09.004.
- [7] A. Hajib *et al.*, "Oil content, lipid profiling and oxidative stability of 'Sefri' Moroccan pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil," *OCL*, vol. 28, p. 5, Jan. 2021, doi: 10.1051/ocl/2020069.
- [8] R. N. Raşu *et al.*, "Application of Agri-Food By-Products in the Food Industry," *Agriculture*, vol. 13, no. 8, p. 1559, Aug. 2023, doi: 10.3390/agriculture13081559.

- [9] V. Sorrenti, I. Burò, V. Consoli, and L. Vanella, “Recent Advances in Health Benefits of Bioactive Compounds from Food Wastes and By-Products: Biochemical Aspects,” *Int J Mol Sci*, vol. 24, no. 3, p. 2019, Jan. 2023, doi: 10.3390/ijms24032019.
- [10] C. Chen *et al.*, “Natural Extracts for Antibacterial Applications,” *Small*, vol. 20, no. 9, Mar. 2024, doi: 10.1002/smll.202306553.
- [11] N. George, M. AbuKhader, K. Al Balushi, B. Al Sabahi, and S. A. Khan, “An insight into the neuroprotective effects and molecular targets of pomegranate (*Punica granatum*) against Alzheimer’s disease,” *Nutr Neurosci*, vol. 26, no. 10, pp. 975–996, Oct. 2023, doi: 10.1080/1028415X.2022.2121092.
- [12] A. Georganas, E. Giamouri, A. C. Pappas, E. Zoidis, M. Goliomytis, and P. Simitzis, “Utilization of Agro-Industrial By-Products for Sustainable Poultry Production,” *Sustainability*, vol. 15, no. 4, p. 3679, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15043679.
- [13] F. Correddu, M. F. Caratzu, M. F. Lunesu, S. Carta, G. Pulina, and A. Nudda, “Grape, Pomegranate, Olive, and Tomato Byproducts Fed to Dairy Ruminants Improve Milk Fatty Acid Profile without Depressing Milk Production,” *Foods*, vol. 12, no. 4, p. 865, Feb. 2023, doi: 10.3390/foods12040865.
- [14] F. Malik *et al.*, “Role and mechanism of fruit waste polyphenols in diabetes management,” *Open Chem*, vol. 21, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.1515/chem-2022-0272.
- [15] K. Mokgalaboni, S. Dlamini, W. N. Phoswa, P. Modjadji, and S. L. Lebelo, “The Impact of *Punica granatum* Linn and Its Derivatives on Oxidative Stress, Inflammation, and Endothelial Function in Diabetes Mellitus: Evidence from Preclinical and Clinical Studies,” *Antioxidants*, vol. 12, no. 8, p. 1566, Aug. 2023, doi: 10.3390/antiox12081566.
- [16] W. A. Bacha *et al.*, “Scrutinizing the antidiabetic, antidiarrheal, and anti-inflammatory activities of methanolic extract of pomegranate peel via different approaches,” *Italian Journal of Food Science*, vol. 36, no. 1, pp. 1–14, Jan. 2024, doi: 10.15586/ijfs.v36i1.2459.
- [17] S. Khalid *et al.*, “Development of biodegradable coatings by the incorporation of essential oils derived from food waste: A new sustainable packaging approach,” *Packaging Technology and Science*, vol. 37, no. 3, pp. 167–185, Mar. 2024, doi: 10.1002/pts.2787.
- [18] S. Yamini, V. K. Paswan, A. M. Shehata, M. Choubey, D. S. Bunkar, and V. V. Varada, “Pomegranate (*Punica granatum* L.) seed: A review on nutritional profile, functional food properties, health benefits, and safety aspects,” *Annals of Phytomedicine An International Journal*, vol. 12, no. 1, Jun. 2023, doi: 10.54085/ap.2023.12.1.105.
- [19] H. M. Furkatovna and H. M. To’xtasinovna, “Pomegranate Seed Oil, Study Of Physical And Chemical Properties,” *American Journal of Pediatric Medicine and Health Sciences*, vol. 1, no. 10, pp. 316–321, Dec. 2023.
- [20] H. Alaşalvar, B. Başıyığı, D. Aslan Türker, N. Cihat İçyer, and M. Çam, “Pomegranate Seed Oil: Extraction, Shelf-Life Prediction, And Microencapsulation,” *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 89–102, Dec. 2022, doi: 10.34302/crpjfst/2022.14.4.7.
- [21] A. Fadda *et al.*, “Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils,” *Sustainability*, vol. 14, no. 2, p. 849, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14020849.

- [22] T. Kaseke, O. A. Fawole, L. Mokwena, and U. L. Opara, “Effect of cultivar and blanching of pomegranate seeds on physicochemical properties, nutritional qualities and antioxidant capacity of extracted oil,” *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 15, no. 1, pp. 93–106, Feb. 2021, doi: 10.1007/s11694-020-00615-w.
- [23] O. A. Fawole, T. Kaseke, and U. L. Opara, “Pomegranate Fruit Quality and Seed Drying Method: Effect on the Chemical Composition and Bioactivities of the Extracted Oil,” *Processes*, vol. 10, no. 1, p. 3, Dec. 2021, doi: 10.3390/pr10010003.
- [24] T. Kaseke, U. L. Opara, and O. A. Fawole, “Quality and Antioxidant Properties of Cold-Pressed Oil from Blanched and Microwave-Pretreated Pomegranate Seed,” *Foods*, vol. 10, no. 4, p. 712, Mar. 2021, doi: 10.3390/foods10040712.
- [25] C. Wen *et al.*, “Edible vegetable oils from oil crops: Preparation, refining, authenticity identification and application,” *Process Biochemistry*, vol. 124, pp. 168–179, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.procbio.2022.11.017.
- [26] A. Montefusco *et al.*, “Analysis of the Phytochemical Composition of Pomegranate Fruit Juices, Peels and Kernels: A Comparative Study on Four Cultivars Grown in Southern Italy,” *Plants*, vol. 10, no. 11, p. 2521, Nov. 2021, doi: 10.3390/plants10112521.
- [27] Ş. A. Yeniçeri And E. Küçüköner, “Zivzik Narı Çekirdek Yağının Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi,” *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, no. 19, pp. 821–826, Aug. 2020.
- [28] İ. Aktaş, “The importance of omega fatty acids for human health,” in *Iksad Publications*, [www.iksadyayinevi.com](http://www.iksadyayinevi.com), vol. 11, Ankara / Turkey : İKSAD Publishing House , 2021, pp. 40–43.
- [29] S. Loukhmas, E. Kerak, S. Elgadi, F. Ettalibi, A. El Antari, and H. Harrak, “Oil Content, Fatty Acid Composition, Physicochemical Properties, and Antioxidant Activity of Seed Oils of Ten Moroccan Pomegranate Cultivars,” *J Food Qual*, vol. 2021, pp. 1–13, May 2021, doi: 10.1155/2021/6617863.
- [30] N. Liu *et al.*, “Comparison of conventional and green extraction methods on oil yield, physicochemical properties, and lipid compositions of pomegranate seed oil,” *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 114, p. 104747, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jfca.2022.104747.
- [31] A. Paul and M. Radhakrishnan, “Pomegranate seed oil in food industry: Extraction, characterization, and applications,” *Trends Food Sci Technol*, vol. 105, pp. 273–283, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.tifs.2020.09.014.
- [32] A. G. Valero-Mendoza *et al.*, “The whole pomegranate (*Punica granatum*. L), biological properties and important findings: A review,” *Food Chemistry Advances*, vol. 2, p. 100153, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.focha.2022.100153.
- [33] A. N. Badr, H. S. Ali, A. G. Abdel-Razek, M. G. Shehata, and N. A. Albaridi, “Bioactive Components of Pomegranate Oil and Their Influence on Mycotoxin Secretion,” *Toxins (Basel)*, vol. 12, no. 12, p. 748, Nov. 2020, doi: 10.3390/toxins12120748.
- [34] J. M. F. De Almeida-Couto, J. B. Ressutte, L. Cardozo-Filho, And V. F. Cabral, “Current extraction methods and potential use of essential oils for quality and safety assurance of foods,” *An Acad Bras Cienc*, vol. 94, no. 2, 2022, doi: 10.1590/0001-376520220191270.
- [35] T. Marshall, N. S. Dosoky, P. Satyal, and W. N. Setzer, “Aroma Compounds of Carrier Oils,” *AppliedChem*, vol. 3, no. 4, pp. 546–580, Dec. 2023, doi: 10.3390/appliedchem3040034.

- [36] A. Córdova *et al.*, “Recent Advances in the Application of Enzyme Processing Assisted by Ultrasound in Agri-Foods: A Review,” *Catalysts*, vol. 12, no. 1, p. 107, Jan. 2022, doi: 10.3390/catal12010107.
- [37] H. N. Rajha *et al.*, “Selective ultrasound-assisted aqueous extraction of polyphenols from pomegranate peels and seeds,” *J Food Process Preserv*, vol. 44, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.1111/jfpp.14545.
- [38] J. A. Malik, M. R. Goyal, P. Birwal, and R. B. Watharkar, “Ultrasound processing of foods and food products: An overview.,” in *Advanced Research Methods in Food Processing Technologies*, 1st Edition., vol. 27, New York: Apple Academic Press, 2024, pp. 97–123. doi: 10.1201/9781003369394.
- [39] M. Khemakhem, Y. Zarroug, K. Jabou, S. Selmi, and N. Bouzouita, “Physicochemical characterization of oil, antioxidant potential, and phenolic profile of seeds isolated from Tunisian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars,” *J Food Sci*, vol. 86, no. 3, pp. 852–859, Mar. 2021, doi: 10.1111/1750-3841.15636.
- [40] L. Campos, L. Seixas, S. Dias, A. M. Peres, A. C. A. Veloso, and M. Henriques, “Effect of Extraction Method on the Bioactive Composition, Antimicrobial Activity and Phytotoxicity of Pomegranate Byproducts,” *Foods*, vol. 11, no. 7, p. 992, Mar. 2022, doi: 10.3390/foods11070992.
- [41] N. Zahed, R. Esmailzadeh Kenari, and R. Farahmandfar, “Effect of different extraction methods on antioxidant properties and encapsulation efficiency of anthocyanin of pomegranate peel,” *Food Sci Nutr*, vol. 11, no. 7, pp. 3780–3787, Jul. 2023, doi: 10.1002/fsn3.3362.
- [42] Z. Dezashibi, S. Azadmard-Damirchi, and Z. Piravi-Vanak, “Effect of co-extraction of pomegranate seed oil with green tea leaves on the extraction yield and quality of extracted oil,” *OCL*, vol. 29, p. 25, Jun. 2022, doi: 10.1051/ocl/2022020
- [43] F. Turrini *et al.*, “From pomegranate marcs to a potential bioactive ingredient: a recycling proposal for pomegranate-squeezed marcs,” *European Food Research and Technology*, vol. 246, no. 2, pp. 273–285, Feb. 2020, doi: 10.1007/s00217-019-03339-4.
- [44] M. Guerra Vázquez, “Development of pomegranate seed oil nanoliposomes for the treatment of neurodegenerative diseases,” *repositorio.tec.mx*, 2021.
- [45] D. Michailidis, A. Angelis, P. E. Nikolaou, S. Mitakou, and A. L. Skaltsounis, “Exploitation of *Vitis vinifera*, *Foeniculum vulgare*, *Cannabis sativa* and *Punica granatum* By-Product Seeds as Dermo-Cosmetic Agents,” *Molecules*, vol. 26, no. 3, p. 731, Jan. 2021, doi: 10.3390/molecules26030731.
- [46] C. Bañares *et al.*, “Anti-inflammatory effect of two pomegranate seed oils obtained by green technologies in Caco-2 cells using the bioaccessible fraction from in vitro gastrointestinal digestion,” *Food Research International*, vol. 165, p. 112475, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.foodres.2023.112475.
- [47] P. Yang, X. Yang, H. Liu, G. He, Q. Yao, and J. Yan, “Isolation of punicic acid from pomegranate seed oil by modified freeze crystallization and response surface methodology,” *J Food Process Preserv*, vol. 46, no. 12, Dec. 2022, doi: 10.1111/jfpp.17154.
- [48] N. Solomakou, E. Kalfa, A. Kyriakoudi, K. Kaderides, I. Mourtzinos, and A. M. Goula, “An approach for the valorization of pomegranate byproducts using ultrasound and enzymatic methods,” *Sustainable Chemistry for the Environment*, vol. 5, p. 100060, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.scenv.2024.100060.
- [49] J. Tavakoli *et al.*, “Thermal processing of pomegranate seed oils underscores their antioxidant stability and nutritional value: Comparison of pomegranate seed oil with sesame seed oil,” *Food Sci Nutr*, vol. 12, no. 3, pp.

- 2166–2181, Mar. 2024, doi: 10.1002/fsn3.3918.
- [50] M. Al-Moghazy, H. S. El-Sayed, and G. A. Abo-Elwafa, “Co-encapsulation of probiotic bacteria, fish oil and pomegranate peel extract for enhanced white soft cheese,” *Food Biosci*, vol. 50, p. 102083, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.fbio.2022.102083.
- [51] B. G. Nabi *et al.*, “Application of ultrasound technology for the effective management of waste from fruit and vegetable,” *Ultrason Sonochem*, vol. 102, p. 106744, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.ultsonch.2023.106744.
- [52] S.-C. Chew, C.-H. Tan, L.-P. Pui, P.-N. Chong, B. Gunasekaran, and N. K. Lin, “Encapsulation Technologies: A Tool for Functional Foods Development,” *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 8, no. 5S, pp. 154–162, Jan. 2019.
- [53] A. Kłosowska, A. Wawrzyńczak, and A. Feliczak-Guzik, “Microencapsulation as a Route for Obtaining Encapsulated Flavors and Fragrances,” *Cosmetics*, vol. 10, no. 1, p. 26, Jan. 2023, doi: 10.3390/cosmetics10010026.
- [54] L. Pavoni, D. R. Perinelli, G. Bonacucina, M. Cespi, and G. F. Palmieri, “An Overview of Micro- and Nanoemulsions as Vehicles for Essential Oils: Formulation, Preparation and Stability,” *Nanomaterials*, vol. 10, no. 1, p. 135, Jan. 2020, doi: 10.3390/nano10010135.
- [55] T. A. Comunian, G. Grassmann Roschel, A. G. da Silva Anthero, I. A. de Castro, and M. Dupas Hubinger, “Influence of heated, unheated whey protein isolate and its combination with modified starch on improvement of encapsulated pomegranate seed oil oxidative stability,” *Food Chem*, vol. 326, p. 126995, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126995.
- [56] N. N. Gaikwad, A. Y. Kalal, S. K. Suryavanshi, P. G. Patil, D. Sharma, and J. Sharma, “Process optimization by response surface methodology for microencapsulation of pomegranate seed oil,” *J Food Process Preserv*, vol. 45, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.1111/jfpp.15561.
- [57] T. A. Comunian, A. G. da Silva Anthero, E. O. Bezerra, I. C. F. Moraes, and M. D. Hubinger, “Encapsulation of Pomegranate Seed Oil by Emulsification Followed by Spray Drying: Evaluation of Different Biopolymers and Their Effect on Particle Properties,” *Food Bioproc Tech*, vol. 13, no. 1, pp. 53–66, Jan. 2020, doi: 10.1007/s11947-019-02380-1.
- [58] W. S. Hassanein, R. Meral, Z. Ceylan, M. M. Ahmed, and M. T. Yilmaz, “Use of encapsulated pomegranate seed oil in novel coarse and nanosized materials for improving the storage life of strawberry,” *Food Chem*, vol. 441, p. 138251, May 2024, doi: 10.1016/j.foodchem.2023.138251.
- [59] M. Yüce-tepe, B. Başığit, and M. Karaaslan, “Design of novel nutritious microcapsules comprising  $\omega$ -5 fatty acids and essential amino acids by assembling pomegranate seed derived macromolecules,” *LWT*, vol. 143, p. 111162, May 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111162.
- [60] N. Yekdane and S. A. H. Goli, “Effect of Pomegranate Juice on Characteristics and Oxidative Stability of Microencapsulated Pomegranate Seed Oil Using Spray Drying,” *Food Bioproc Tech*, vol. 12, no. 9, pp. 1614–1625, Sep. 2019, doi: 10.1007/s11947-019-02325-8.
- [61] S. Kumar *et al.*, “A Systematic Review on Pesticide-loaded Nanocapsules: A Sustainable Route for Pesticide Management to Enhance Crop Productivity,” *Curr Nanosci*, vol. 20, no. 3, pp. 280–297, May 2024, doi: 10.2174/1573413719666230417103517.

- [62] S. Misra, U. Banerjee, and S. K. Mitra, "Liquid-Liquid Encapsulation: Penetration vs. Trapping at a Liquid Interfacial Layer," *ACS Appl Mater Interfaces*, vol. 15, no. 19, pp. 23938–23950, May 2023, doi: 10.1021/acsami.3c02177.
- [63] V. Ferrari Cervi *et al.*, "Pullulan film incorporated with nanocapsules improves pomegranate seed oil anti-inflammatory and antioxidant effects in the treatment of atopic dermatitis in mice," *Int J Pharm*, vol. 609, p. 121144, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ijpharm.2021.121144.
- [64] N. Kutlu, R. Meral, M. M. Ekin, Y. Erim Kose, and Z. Ceylan, "A new application for the valorisation of pomegranate seed oil: nanoencapsulation of pomegranate seed oil into electrospun nanomats for food preservation," *Int J Food Sci Technol*, vol. 57, no. 2, pp. 1074–1082, Feb. 2022, doi: 10.1111/ijfs.15472.
- [65] R. Meral, Y. E. Kose, Z. Ceylan, and İ. Cavidoglu, "The potential use of agro-industrial by-products as sources of bioactive compounds: a nanotechnological approach," 2022, pp. 435–466. doi: 10.1016/B978-0-323-91097-2.00014-5.
- [66] B. O. Adetuyi *et al.*, "The synergetic effect of nanomaterials together with essential oils for extending the shelf life of food products," in *Applications of Essential Oils in the Food Industry*, Elsevier, 2024, pp. 163–181. doi: 10.1016/B978-0-323-98340-2.00009-2.
- [67] S. Li, K. Wang, Q. Huang, and F. Geng, "Microwave pretreatment enhanced the properties of ovalbumin-inulin-oil emulsion gels and improved the storage stability of pomegranate seed oil," *Food Hydrocoll*, vol. 113, p. 106548, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.106548.
- [68] M. C. L. Marchiori *et al.*, "Hydrogel Containing Silibinin-Loaded Pomegranate Oil-Based Nanocapsules for Cutaneous Application: In Vitro Safety Investigation and Human Skin Biometry and Permeation Studies," *AAPS PharmSciTech*, vol. 24, no. 6, p. 138, Jun. 2023, doi: 10.1208/s12249-023-02606-8.
- [69] M. El-Sakhawy, A. Salama, and S. A. A. Mohamed, "Propolis applications in food industries and packaging," *Biomass Convers Biorefin*, Mar. 2023, doi: 10.1007/s13399-023-04044-9.
- [70] M. Machado, S. C. Sousa, L. M. Rodríguez-Alcalá, M. Pintado, and A. M. Gomes, "Bigels as Delivery Systems of Bioactive Fatty Acids Present in Functional Edible Oils: Coconut, Avocado, and Pomegranate," *Gels*, vol. 9, no. 4, p. 349, Apr. 2023, doi: 10.3390/gels9040349.
- [71] H. Mirzaee Moghaddam and A. Rajaei, "Effect of Pomegranate Seed Oil Encapsulated in Chitosan-capric Acid Nanogels Incorporating Thyme Essential Oil on Physicomechanical and Structural Properties of Jelly Candy," *Journal of Agricultural Machinery*, vol. 11, no. 1, pp. 55–70, 2021.
- [72] M. Nejatian *et al.*, "Improving the storage and oxidative stability of essential fatty acids by different encapsulation methods; a review," *Int J Biol Macromol*, vol. 260, p. 129548, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129548.
- [73] R. Rashid, F. A. Masoodi, S. M. Wani, S. Manzoor, and A. Gull, "Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from pomegranate peel, their nanoencapsulation and application for improvement in shelf life extension of edible oils," *Food Chem*, vol. 385, p. 132608, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132608.
- [74] S. M. Sahafi, S. A. H. Goli, M. Kadivar, J. Varshosaz, and A. Shirvani, "Pomegranate seed oil nanoemulsion enriched by  $\alpha$ -tocopherol; the effect of environmental stresses and long-term storage on its physicochemical properties and oxidation stability," *Food Chem*, vol. 345, p. 128759, May 2021, doi:



- 10.1016/j.foodchem.2020.128759.
- [75] G. Benedetti, F. Zabini, L. Tagliavento, F. Meneguzzo, V. Calderone, and L. Testai, “An Overview of the Health Benefits, Extraction Methods and Improving the Properties of Pomegranate,” *Antioxidants*, vol. 12, no. 7, p. 1351, Jun. 2023, doi: 10.3390/antiox12071351.
- [76] K. Kalouta, P. Eleni, C. Boukouvalas, K. Vassilatou, and M. Krokida, “Dynamic mechanical analysis of novel cosmeceutical facial creams containing nano-encapsulated natural plant and fruit extracts,” *J Cosmet Dermatol*, vol. 19, no. 5, pp. 1146–1154, May 2020, doi: 10.1111/jocd.13133.
- [77] M. C. Cortez-Trejo, A. Wall-Medrano, M. Gaytán-Martínez, and S. Mendoza, “Microencapsulation of pomegranate seed oil using a succinylated taro starch: Characterization and bioaccessibility study,” *Food Biosci*, vol. 41, p. 100929, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.fbio.2021.100929.
- [78] A. H. Kori *et al.*, “Effect of Wall Material and Inlet Drying Temperature on Microencapsulation and Oxidative Stability of Pomegranate Seed Oil Using Spray Drying,” *J Oleo Sci*, vol. 71, no. 1, p. ess21105, 2022, doi: 10.5650/jos.ess21105
- [79] P. Rahnemoon, M. Sarabi-Jamab, A. Bostan, and E. Mansouri, “Nano-encapsulation of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel extract and evaluation of its antimicrobial properties on coated chicken meat,” *Food Biosci*, vol. 43, p. 101331, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.fbio.2021.101331.
- [80] L. Sanhuesa, P. García, B. Giménez, J. M. Benito, M. Matos, and G. Gutiérrez, “Encapsulation of Pomegranate Peel Extract (*Punica granatum* L.) by Double Emulsions: Effect of the Encapsulation Method and Oil Phase,” *Foods*, vol. 11, no. 3, p. 310, Jan. 2022, doi: 10.3390/foods11030310.
- [81] Z. Xiao *et al.*, “Preparation and characterization of polyphenol-loaded microcapsules based on zeaxylated protein,” *Applied Food Research*, vol. 4, no. 1, p. 100387, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.afres.2023.100387.
- [82] A. Mesquita Magalhães Costa, B. Rachel Antunes Gaspar, V. Calado, R. Valeriano Tonon, and A. Guedes Torres, “Microencapsulation of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil by complex coacervation: Stability and application in an instant caffè latte beverage,” *Food Chem*, vol. 381, p. 132199, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132199.
- [83] M. Pereira Silveira, F. Lucas Chaves Almeida, I. Dutra Alvim, and A. Silvia Prata, “Encapsulation of pomegranate polyphenols by ionic gelation: Strategies for improved retention and controlled release,” *Food Research International*, vol. 174, p. 113590, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.foodres.2023.113590.
- [84] F. Fathi, S. N. Ebrahimi, D. M. Pereira, B. N. Estevinho, and F. Rocha, “Preliminary studies of microencapsulation and anticancer activity of polyphenols extract from *Punica granatum* peels,” *Can J Chem Eng*, vol. 100, no. 11, pp. 3240–3252, Nov. 2022, doi: 10.1002/cjce.24348.
- [85] C. da S. Araújo *et al.*, “Encapsulation of phenolic and antioxidant compounds from spent coffee grounds using spray-drying and freeze-drying and characterization of dried powders,” *J Food Sci*, vol. 87, no. 9, pp. 4056–4067, Sep. 2022, doi: 10.1111/1750-3841.16281.
- [86] P. Izadi-NajafAbadi and A. Ahmadi-Dastgerdi, “Optimization of Emulsification and Microencapsulation of Balangu (*Lallemantia royleana*) Seed Oil by Surface Response Methodology,” *J Food Qual*, vol. 2022, pp. 1–11, Jun. 2022, doi: 10.1155/2022/5898937.
- [87] O. P. Bamidele and M. N. Emmambux, “Encapsulation of bioactive compounds by ‘extrusion’ technologies: a

- review,” *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 61, no. 18, pp. 3100–3118, Oct. 2021, doi: 10.1080/10408398.2020.1793724.
- [88] K. Kandemir, E. Piskin, J. Xiao, M. Tomas, and E. Capanoglu, “Fruit Juice Industry Wastes as a Source of Bioactives,” *J Agric Food Chem*, vol. 70, no. 23, pp. 6805–6832, Jun. 2022, doi: 10.1021/acs.jafc.2c00756.
- [89] F. S. Aksoy, Z. H. Tekin-Cakmak, S. Karasu, And A. S. Aksoy, “Oxidative stability of the salad dressing enriched by microencapsulated phenolic extracts from cold-pressed grape and pomegranate seed oil byproducts evaluated using OXITEST,” *Food Science and Technology*, vol. 42, 2022, doi: 10.1590/fst.57220.

## Adımların Ötesinde Ayakkabı Üretiminde Kullanılan Malzemeler ve Sürdürülebilir Ayakkabı Tasarımı

Özgenur Battal<sup>1</sup> , Mervenur Acar<sup>1</sup> , İlayda Derindere<sup>1</sup> , Ali Karcier<sup>2</sup>, Mahmut Tolga Yalgın<sup>3</sup>, Muhammet Uzun<sup>1,2\*</sup> 

<sup>1</sup>Tekstil Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Türkiye Ayakkabı Sektörü Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı (TASEV), İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>Erfe Group Company, İstanbul, Türkiye

\*m.uzun@marmara.edu.tr

### Özet

Ayakkabı; insanoğlunu zorlu koşullardan koruyarak konfor sağlayan ve günümüzde bunun ötesinde kullanım yeri ve moda göre şekillenen bir araç haline gelmiştir. Önemi ve kapsamının artmasıyla birlikte modern dünyanın temel sanayilerinden biri haline gelmiştir. Tekstil malzemelerindeki gelişmelerden de etkilenecek deri yapısından bağımsız olarak çok farklı ürün gamlarına doğru eğilmiştir. Modanın tamamlayıcısıyken kendi başına bir moda olmuştur. Buzul Çağı'na dayanan keçe ve deri geçmişiyle insanlık tarihinin vazgeçilmez bir parçasını olan ayakkabı günümüzde moda, siyaset, sanat gibi her türlü akımdan etkilenecek sınırsız bir tasarıma dönüşmüştür. Bu derleme çalışmanın ana amacı genel olarak; ayakkabı tanımı, kullanılan malzemeler, sektör hacmi ve günümüzün gerekliliklerinden sürdürülebilirlik perspektifinde ayakkabının tanımlanmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Ayakkabı, Ayakkabı malzemeleri, Ayakkabı sektörü, Ayakkabının tarihçesi, Ayakkabı endüstrisinde sürdürülebilirlik

## Beyond The Steps Materials Used in Footwear Production and Sustainable Footwear Design

### Abstract

Footwear; it has become a tool that provides comfort by protecting human beings from harsh conditions and today, beyond that, it has become a tool that is shaped according to the place of use and fashion. With its increasing importance and scope, it has become one of the basic industries of the modern world. Influenced by the developments in textile materials, it has evolved into very different product ranges, regardless of leather structure. While it was a complement to fashion, it has become a fashion in itself. Footwear, which is an indispensable part of human history with its felt and leather history dating back to the Ice Age, has today become an unlimited design, influenced by all kinds of movements such as fashion, politics, and art. The main purpose of this study is to define footwear through the lens of the materials used, the scale of the industry, and the crucial aspect of sustainability in today's world.

**Keywords:** Footwear, Footwear components, Footwear industry, History of footwear, Sustainability in footwear

## 1. GİRİŞ

İnsan iki ayak üzerinde yürümeyi başararak yer değiştirme davranışını benimsemiş nadir türlerden biridir ve ayakları bu hareketi benimseyecek şekilde evrimleşmiştir [1]. Ayağın vücut ağırlığını taşımak ve yürüme esnasında kaldıraç kolu benzeri çalışarak vücudu öne itmek üzere iki önemli görevi vardır. [2]. Ayakkabının kullanım amacı ise kullanıcılarına konfor sağlamakla beraber ayakları soğuk veya ıslak ortamlar ile sert ve pürüzlü zemin yüzeyleri gibi zorlu koşullara karşı ayağı ve ayak şeklini korumaktır [3]. İçinde yaşadığımız dünyayı deneyimlememize olanak tanımalarının yanı sıra, sosyal ve duygusal yaşam üzerinde de güçlü bir etkisi vardır. Bu bakımdan ayakkabı kişinin zevkine, ulusal ve mesleki kimliğine, sosyal statüsüne, cinsiyetine ve cinsel tercihlerine bağlı olarak farklı roller üstlenmekte ve farklı anlamlar taşımaktadır. Bu anlamlar eski Mısırlılar ve Yunanlılardan modern öncesi Çin'e ve günümüz Batı toplumlarına kadar farklı şekillerde tezahür etmiştir [4]. Tek bir ayakkabının üretimi için birçok farklı malzeme kullanılabilir. Bir çift ayakkabıyı üretebilmek için ise ortalama 40 civarında farklı malzeme kullanılmaktadır. Deri, PVC, poliüretan, kauçuk, tekstil bazlı malzemeler bunların en önemli örneklerindedir. Ayakkabı sektörü ise farklı tip ve tarzdaki ayakkabılardan daha özel ayakkabılara kadar çok çeşitli bir imalat sektörüdür [5]. Endüstride sürdürülebilir kalkınma; sosyal, ekonomik ve çevresel yönleriyle kalkınma süreçlerine yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Doğal kaynak tüketimi ve çevreye verilen zararı azaltarak endüstriyel gelişimin programlanması ve gelecek nesillere yaşanılabilir bir dünya bırakacak yöntemlerin geliştirilmesini içermektedir. Bir ürünün yaşam döngüsü analizleri (LCA), hammadde elde etme aşamasından başlayarak üretim, kullanım ve bertaraf süreçlerine kadar olan süreçlerin çevresel etkilerini ve doğal kaynak kullanımını modelleyen sistemli bir yaklaşımı temsil etmektedir [6]. Ayakkabı endüstrisi, ülke ekonomisine olan katkısıyla birlikte imalat sanayisinde önemli bir sektörü temsil etmektedir. Bu sektör aynı zamanda büyük bir ticaret potansiyeline sahiptir ve özellikle küresel rekabetin etkisi altında, ülkelerin sektörel ihracat performansının vurgulanması giderek daha kritik bir hal almaktadır. Bu çalışmada dünya genelinde ve Türkiye'deki ayakkabı endüstrisinin güncel durumu detaylı bir şekilde ele alınmaktadır [7].






## 2. AYAKKABI SEKTÖRÜ

Ayakkabı sektörü tekstil, plastik, kauçuk ve deri gibi çok çeşitli malzemelerle beraber; erkek, kadın, çocuk ayakkabılarından snowboard botları, koruyucu ayakkabılar gibi özelleştirilmiş ürün gruplarını da içeren geniş bir sektördür [8]. Aynı zamanda ayakkabı kişinin temel ihtiyacı olmasıyla beraber, çağımız dünyasının da vazgeçilmezidir. Bu nedenle ayakkabıcılık sektörü küresel olarak yaşanan ekonomik krizlerden en az etkilenen ve devamlı büyümeye devam eden sektörlerden biridir [9].

Dünya piyasalarında gerçekleşen değişim ile ayakkabı sektörü de yüksek bir ivme ile büyümüştür. 1990 yılında dünya ihracat değeri yalnızca 20 milyar dolar iken bu değer 2018 yılında 146 milyar dolara yükselmiştir. Bu yüksek ivmenin sebebi küreselleşmeyle birlikte uluslararası ticaretin kolaylaşmasının yanında iletişim ve teknolojiye kaydedilen gelişmelerin büyük bir etkisi vardır. Günümüzde, ayakkabı ihracatının büyük bir bölümü gelişmekte olan ülkeler tarafından gerçekleştirilmektedir. Ayakkabı endüstrisi, genellikle emek yoğun bir yapıya sahip olduğundan, özellikle gelişmekte olan ülkelere önemli bir istihdam olanağı sunmaktadır. Türkiye'de ayakkabı sektörü, 300 binden fazla kişiye iş imkânı sağlamakta olup 2018 yılı itibarıyla ihracat katkısı 887 milyon dolar düzeyindedir [7].

Aşağıdaki tabloda 23 Aralık 2023 itibarıyla ayakkabı sektöründe faaliyet gösteren en yüksek piyasa değerine sahip 25 markanın borsa performansı listelenmiştir.

Tablo 1. Ayakkabı marka değerleri [10]

Sıralama	Firma Adı	Piyasa Değeri (Milyar \$)	Fiyat (Usd)	Ülke
1	 Nike	186.47	122.53	us Amerika
2	 Adidas	36.22	202.91	de Almanya
3	 Deckers Brands	18.11	704.13	us Amerika
4	 Skechers	9.82	63.81	us Amerika
5	 On Holding	9.26	29.11	ch İsviçre

6		Birkenstock	8.79	46.8	DE Almanya
7		PUMA	8.33	55.66	DE Almanya
8		VF Corporation	7.47	19.21	US Amerika
9		Li Ning Company	6.55	2.53	CN Çin
10		Crocs	6.19	102.33	US Amerika
11		ASICS Corporation	5.78	31.56	JP Japonya
12		ABC-Mart	4.31	17.43	JP Japonya
13		Under Armour	3.96	8.8	US Amerika
14		Foot Locker	3.04	32.3	US Amerika
15		Relaxo Footwear	2.69	10.81	IN Hindistan
16		Bata India	2.50	19.51	IN Hindistan
17		Boot Barn Holdings	2.34	77.33	US Amerika
18		Salvatore Ferragamo	2.29	13.47	IT İtalya
19		Fila	1.79	29.79	KR Güney Kore
20		Arezzo Indústria e Comércio	1.50	13.61	BR Brezilya
21		Grendene	1.29	1.44	BR Brezilya
22		Caleres	1.10	31.05	US Amerika
23		Campus Activewear	1.03	3.38	IN Hindistan
24		Hibbett Sports	0.84	72.09	US Amerika
25		Shoe Carnival	0.79	29.17	US Amerika

2022 yılı Dünya geneli sektör verilerini incelediğimizde Asya kıtasının üretimde %87,4 oranında dünya ayakkabı sektörünü yönettiği görülmektedir. Ardından %4,8 ile Kuzey Amerika, %3,7 ile Afrika, %2,7 ile Avrupa ve %1,4 ile Güney Amerika takip etmektedir.

Dünya çapında en çok ihracat yapan ülkeleri incelediğimizde %60'ın üzerinde bir oranla başı çekmekle beraber, ülke bazında ihracattaki ilk 5 ülkenin dünya ihtiyacının %80'e yakın bir kısmını karşıladığı görülmektedir [11].

Avrupa Birliği Ayakkabı Endüstrisi, küresel pazarda daha yüksek kalitede ürünler sunarak öncü bir rol oynamakta ve üretim miktarını arttırmak yerine, daha üst düzey tasarımlara, kaliteli malzemelere ve konforlu ayakkabı üretimine odaklanarak daha yüksek katma değer elde etmeye yönelmiştir. Bu nedenle, dünya ayakkabı üretiminde sadece %3'lük bir pazar payına sahiptir [7].

Tablo 2. Ayakkabı ihracatı ülke sıralaması [11]

Sıralama	Ülke	Ayakkabı Çifti (Milyon)	Paylaşım Oranı
1	Çin	9308	%61,3
2	Vietnam	1505	%9,9
3	Endonezya	535	%3,5
4	Türkiye	378	%2,5
5	Almanya	378	%2,5

## 2.1 Türkiye Ayakkabı Sektörü

Türkiye ayakkabı sektörü, modern üretim süreçleri, yüksek kaliteli hammaddelerin bulunması, vasıflı işçiler ve yüksek tasarım kapasitesi nedeniyle hızlı bir şekilde gelişmiştir. Bugün Türk ayakkabı sektörü, yüksek kaliteli moda ürünleri ihracatçıları arasında güçlü bir konuma sahip hale gelmiştir [8]. Ancak sahip olduğu potansiyeli kullanamadığı da her yıl düzenlenen istatistiklerle ortaya konulmaktadır [12].

Tablo 3. Türkiye ayakkabı ithalat-ihracat Değeri [13]

Yıl	Türkiye'nin Ayakkabı İthalatı	Türkiye'nin Ayakkabı İhracatı
	(USD)	(USD)
2010	659.673.910	395.624.111
2011	871.463.821	441.246.902
2012	863.682.220	545.923.172
2013	992.947.486	723.219.481
2014	953.894.053	719.258.058
2015	794.566.743	670.432.007
2016	734.370.656	704.163.324
2017	676.126.540	765.970.181
2018	622.793.124	887.674.572
2019	539.194.953	958.237.938
2020	498.033.231	829.418.182
2021	587.849.383	1.081.908.288

Pandemi dolayısıyla alınan önlemlerle beraber, bazı ülkeler ve bazı sektörlerde faaliyetler düşmüş ve neredeyse durma noktasına gelmiştir [14]. Dünya ayakkabı üretim sıralamasında ilk sıraya yerleşmiş olan Çin son yıllarda ayakkabı üretiminde 2 milyon kadar gerileme yaşamış, %4'lük bir pazar payı ise Avrupa'ya kaymıştır. [15]. Türkiye, Avrupa pazarına yakınlığını avantaja dönüştürebilecek bir konuma erişmiştir [16]. İDMİB (İstanbul Deri ve Deri Mamulleri İhracatçıları Birliği) 2021 verilerine göre ilan ettiği üzere, 932 milyon dolar, 277 milyon çift ayakkabı ihracat miktarına ulaşarak ihracat rekoru kırılmıştır [14].

## 3. AYAKKABININ KISA TARİHÇESİ

İlk insanlar giyinmeye başladıklarında ayaklarını koruma ihtiyacı duymuşlardır. Başlarda hazır olarak doğadan elde edebildikleri ağaç kabuğu, deri gibi malzemeleri sarmaşık, bağırsak gibi maddelerle bir araya getirerek ayaklarına uygun giysiler hazırlamışlardır. Zaman ilerledikçe liflerden çeşitli yöntemlerle yüzeyler elde etmiş, deri tabaklamış, lif ile deriyi birlikte kullanarak veya sentetik maddeleri biçimlendirerek ayak şekli ile örtüşen çok daha dayanıklı ayakkabılar üretmişlerdir [17]. Ayakkabının uzun kullanım tarihinin Buzul Çağı'nda kötü hava koşullarının etkisiyle başladığı tahmin edilmektedir [4]. Bununla beraber ulaşılan kaynakların çoğunluğu ayakkabının tarihini Mısır'dan başlatmaktadır. Eski Mısır'da sandalet olarak adlandırılan iki bant ile ayak üzerinden tutturulmuş ayakkabılar giyerlerdi. Tarih süresince yapılan tüm sandaletler de buraya dayanmaktadır [18].



Şekil 1. Antik Mısır sandaletleri [19]

Roma İmparatorluğu'nun ikiye bölünmesi yeni krallıkların oluşmasıyla beraber, ayakkabı ustaları soylular için daha zarif ve değerli ayakkabılar yapmaya başlamıştır. Ayakkabıların uç kısımları



sivrileşerek uzamış, ayakkabının saya olarak adlandırılan üst parçası ipek, deri, kadife ve saten kumaşlar ile yapılmıştır. Bu ayakkabılar da “poulaine” olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 2. Poulaine ayakkabılar [20]

Rönesans döneminde sanat ve bilimin ışığıyla ayakkabıda da yeni bir döneme girilmiştir. VIII. Charles'ın altışar ayak parmağının olması nedeniyle önü geniş ayakkabılar moda olmuştur. Bu ayakkabılar “Duck’s Bill, Bear’s Pawn ve Cow’s Mouth” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3. VIII. Kral Charles'ın ‘Cow Mouth’ ayakkabıları [21]

16. yüzyıla gelindiğinde “Chopin” isimli nalınlar Venedik’te ün kazanmıştır. Osmanlı hamamlarında kadınlar tarafından kullanılan tahta nalınlar ise Chopinlerin çıkış kaynağını oluşturmuştur. Elli santimden uzun taban yükseklikleriyle kadınlar arasında statünün bir ölçüsü olmuş, evlenecek kızların çeyizlerinde yerlerini almışlardır [18].



Şekil 4. Kadın ‘Chopin’ ayakkabıları [22]

17. yüzyılda Avrupa’da diz altı çizmeler popülerleşmiştir. 1640 sonrası konçları genişlemiş bileğe kadar inmiştir. Yeni Çağ’da hem Avrupa hem Osmanlı’da mokasen ayakkabılar yaygınlaşmıştır. Aynı zamanda nalın, çarık ve yemeni de kullanılmaktaydı. Fransız ihtilali sonrası 18. Yüzyıla geldiğimizde; moda algısının ilerlemesi, Sanayi Devrimi ile seri üretime geçilmesi, transfer boyanın ortaya çıkması yakın çağın önemli gelişmelerini oluşturmuştur. Bu gelişmelerin sonucunda 20. yüzyılda üst yüzeyi doğal deri efektli polivinilklorür ya da poliüretan plastik, alt yüzeyi tekstil malzemeler üretilmiştir. 18. yüzyılda aynı zamanda çizmenin kullanımı da kullanıcıların ihtiyaç ve isteklerindeki değişiklikler, ekonomi, teknoloji ve moda konularındaki ilerlemeler doğrultusunda oluşturulan özgün tasarımlar ile sürmektedir. 19. yüzyılın başı Avrupa’da Napolyon döneminde savaşların etkisiyle askeri kostümler modaya yön vermiştir. “Hessian” çizmeler popülerleşmiş, “Wellington” ve “Blucher” çizmeler ortaya çıkmıştır. Bunların yanı sıra günümüzde loafer olarak adlandırılan mokasen ayakkabılar da tedavüle sürülmüştür [17].



Şekil 5. Wellington çizmeleri [23]

Aynı dönemde kauçuğun ilk defa ayakkabı tabanlarında kullanılması, endüstri devrimi ile kuralları belirlenen spor dallarının artması hızlıca moda-spor ilişkisini geliştirmiş böylece spor ayakkabıların süreci başlamıştır [24]. 1900'lere geldiğimizde kadın modasında dizüstü çizmeler ile başlangıç yapılmış 1960'lara ulaşıldığında etek altında kısa çizmeler moda olmuştur. Erkeklerde ise süren savaş ortamı ile postal ve bot modası süregelmiştir. 1950'lerde gençler tenis ayakkabıları giyiyorlardı, kadınlar ise gova ve mokasen kullanmaktaydı. 1970'li yıllarda platform tabanlı ayakkabılar yaygınlaşmış, 80'lere ulaştığımızda Dr. Klaus Martens tasarımı "Doc Martens" botlar en popüler ayakkabılardandı. Aynı zamanda korsan çizmeleri de ilgi görmekteydi [17].



Şekil 6. Doc Martens botlar [25]

Spor ayakkabılar ise 20. Yüzyılın başında Converse, Reebok (ilk kuruluş adıyla Foster), Adi ve Rudolph Dassler kardeşlerin kurduğu Adidas ve Puma markalarıyla altın dönemine giriş yapmış, 50'lerde gençler tarafından tercih edilen ayakkabı modeli haline gelmiş, 70'lerde yaşanan fitness patlaması ve punk kültürü ile en üst noktaya ulaşmıştır [24].



Şekil 7. Adidas tasarımı spor ayakkabı [24]

2000'lerin başında en ünlüsü ABD'li şirket Deckers Outdoor Corporation tasarımı olan UGG, 'fuzzy' model çizmeler popülerleşmişti [17]. 21. Yüzyılda günümüze kadar olan süreçte ise spor ayakkabı modelleri çoğalmış, konfor sağlayacak şekilde birçok yeni model üretilmiş, çok daha akıllı tasarımlar oluşturulmuş, gündelik yaşamdaki yerini almıştır [24].



Şekil 8. Ugg botlar [26]

#### 4. AYAKKABI ÇEŞİTLERİ

Ayakkabılar değişik alanlarda bambaşka amaçlar için kullanılırlar. Bu amaçları karşılamak için de birçok çeşit ayakkabı üretilir. Ayakkabılar yapılarına, kullanım amaçlarına, saya şekillerine, cinsiyete

ve yaşa bağlı olarak birçok grupta incelenebilir [27]. Giyen kişiye göre ayrılacak olursa 3 başlık altında toplanır.

- Erkek (Merdane) Ayakkabılar
- Kadın (Zenne) Ayakkabılar
- Çocuk Ayakkabıları

Bunun dışında kullanım yerine göre yazlık, kışlık, spor, hizmet türü gibi başlıklar altında incelenebilir. Saya tipine göre ise altı açık, altı yarı açık (rok), altı kapalı, dıştan dikişli, sandalet türü olarak 5 gruba ayrılır [28].

#### 4.1 Erkek Ayakkabıları

Erkek ayakkabıları çok çeşitli bölümlere ayrılabilir. En çok bilinen çeşitlerinden bahsedecek olursak:

- Derby (Molyer) Türü Erkek Ayakkabısı: Bu modelin sayısı parçalıdır, gambalar yüz üzerine dikilmiştir. Yuvarlak burunlu bir kalıpta üretilir. Gambanın alt ucu ökçenin önüne kadar uzanır.
- Oxford Türü Erkek Ayakkabısı: Yüz, gambalar üzerine dikilmiştir. Kapalı bir ayakkabıdır [27]. Saya parçalarının şekilleri değiştirilerek birçok farklı model üretilebilir [28].
- Makosen Türü Erkek Ayakkabısı: Bağcıklı, lastikli, düz türlere sahiptir. Sayası rok olanlar “gerçek makosen” olarak adlandırılır. Açık sayaya sahip olanları “sahte makosen” olarak adlandırılır ve günlük giyimde kullanılır.
- Erkek Bot ve Çizmeleri: Ayağı yağmur ve dışa karşı koruyan bir ayakkabı türüdür. Botu klasik ayakkabıdan ayıran özellik gambasının yüksek ve daha uzun olmasıdır. Çizmeye ise gamba botten çok daha yüksektir.
- Sandalet Türü Erkek Ayakkabısı: Sıcak günlerde kullanılan kullanışlı ve rahat ayakkabı çeşididir. Genellikle sayısı yumuşak, tabanı hafiftir. Ayağı sarar ve havalandırır [27].



Şekil 9. Erkek ayakkabı türleri [29-34]

#### 4.2 Kadın Ayakkabıları

Birçok çeşidi vardır. Erkek ayakkabılarına göre çok daha fazla yaratıcılık isteyen ayakkabılardır.

- Yürüyüş Ayakkabıları: Sayısı çok açık ağızlı sıfır topuklu olan “balerin” veya “dekolte”, 25 mm topuklu olanına ise “yürüyüş” modeli denir. Okul ayakkabıları da bir çeşidini oluşturur. 30-50 mm arası topuğa sahip modelleri de bulunmaktadır. Oxford, Makosen, Derby model ayakkabılar da bu kategoriye dahil edilebilir.
- Fantezi Dekolte Ayakkabı: 50-100 mm arası topuk boyuna sahiptir. Kadın ayakkabılarının temel modelidir. Arkası açık veya kapalı, asimetrik model gibi birçok çeşide sahiptir.

- Kadın Bot ve Çizmeleri: Kadın çizmeleri topuklu ve topuksuz olabilmekle beraber konç uzunluğu dizüstüne kadar uzanabilmektedir.
- Kadın Sandaletleri: En çok üretilen kadın ayakkabılarından. Yaratıcılık kısmı sınırsızdır, her çeşit malzeme kullanılabilir. Birçok çeşitte üretilir [27].



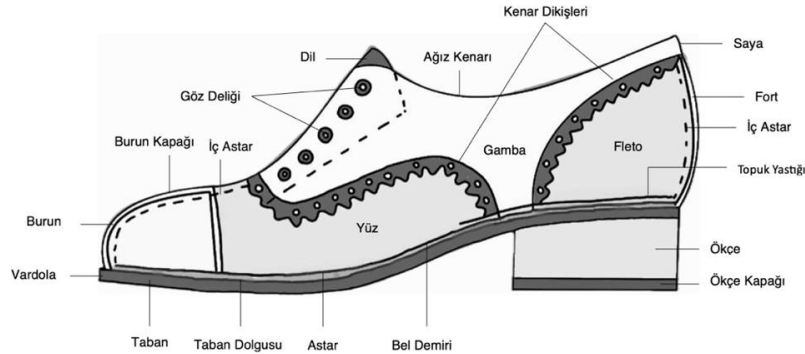
Şekil 10. Kadın ayakkabı türleri [35-40]

#### 4.3 Çocuk Ayakkabıları

Çocuk ayakkabıları, çocuk ayaklarının sağlıklı bir biçimde doğal gelişimini sağlayabilecek şekilde olmalıdır. Ayakkabının hafif ve yumuşak olması önemlidir [41]. Çocuklarda kemikler henüz tam olarak sertleşmediğinden, kalıplar ortopediktir. Kalıbın ise; ökçesi alçak, tarak ve taban kısmı geniştir [27].

#### 5. AYAKKABININ BÖLÜMLERİ VE AYAKKABIDA YENİLİKLER

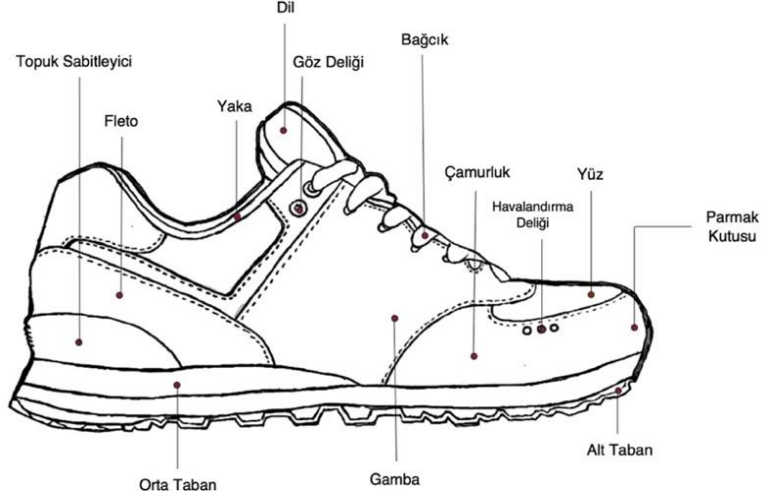
Ayakkabılar bir dizi ayrı parçadan yapılmıştır. Ayrı ayrı kesilen malzeme parçaları birbirine dikilerek veya yapıştırılarak tutturulur. Bu parçalar ayakkabının model ve stiline göre değişiklik gösterebilir [42]. Ayakkabının birçok önemli parçasından biri de iç tabandır. Doğal ve yapay malzemelerden oluşan iç taban kalıbın taban bölümüne gerilerek çakılmaktadır. Kösele tozları ile krom-kauçuk karışımından elde edilebileceği gibi doğal köselelerin düzgün olmayan kısımlarından da elde edilebilmektedir. Bu şekilde hazırlanan suni plakalardan taban astarı kesilebilmektedir. Günümüzde yalnızca taban astarı üretimi yapan firmalarda salpa taban astarları veya takviyeli taban astarları üretilerek kullanıcılara kolaylık sağlanmaktadır. İyi bir taban astarında aranan özellikler arasında kuvvetli nem tutuşu, basınca karşı dayanım, yumuşaklık, esneklik, hafiflik; yapıştırıcı, çivi ve dikiş kabul etme gibi özellikler yer almaktadır [43]. Geleneksel Oxford model ayakkabının bölümleri Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Oxford ayakkabı ve parçaları

Spor ayakkabılar 20. yüzyılın en güçlü ve en kalıcı tasarımıdır. Amatör ve profesyonel kullanımın haricinde günlük yaşamda konforu ön planda tutan kişiler tarafından tercih edilen bir tasarım ürünüdür.

Her yaş ve tüm millet tarafından giyilen evrensel demokratik bir ayakkabı haline gelmiştir. Yalnızca bir endüstri ürünü olmaktan çıkarak modanın merkezine oturmuş birer moda ürünü olmuşlardır. 19. Yüzyılda tenis ayakkabısı olarak başlayan spor ayakkabılarının serüveni, 200 yılda günümüzdeki marka ve modellerin oluşmasına öncü olmuştur. Spor ayakkabı sektörünün 2026 yılına kadar %27,3 oranında büyümesi beklenmektedir [44]. Bir spor ayakkabının bölümleri Şekil 12’de belirtilmiştir.



Şekil 12. Spor ayakkabının bölümleri

## 6. AYAKKABIDA ÖLÇÜ VE KALIP

Ayakkabının şekil ve ölçüsünü vermek veya ayakkabının oluşan şeklini muhafaza etmek amacıyla kullanılan birçok farklı malzemeden üretilebilen ayak biçimindeki gereçlere kalıp denir. Saya ve taban üzerine montelenmiştir. Ayakkabı üretimindeki en önemli malzemedir. Kalıpları numaralandırabilmek amacıyla kullanılan yöntemlere ise ölçü sistemi denir [45]. Ayakkabı üretiminin standartlaştırılabilmesi için ölçü sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucunda ölçü sistemleri geliştirilmiştir. Ayakkabıcılıkta yaygın olarak kullanılan ölçü sistemleri: Amerikan Sistemi, İngiliz Sistemi, Fransız Sistemi, Mondopoint Sistem ve Japon sistemidir [46]. Ayak üzerinden ayak boyu ölçüsü, tarak ölçüsü, konturpiye ölçüsü, ayak üstü ölçüsü, uzun topuk ölçüsü, kısa topuk ölçüsü, bilek ölçüsü ve baldır ölçüsü alınmakta ve kalıplar bu ölçülerden belirli bir miktarda büyük olacak şekilde üretilmektedir [47].



Şekil 13. Ayakkabı kalıbı [48]

## 7. AYAKKABIDA KULLANILAN MALZEMELER

Ayakkabıda kullanılan malzemeleri bölümler halinde incelemek gerekirse;

### 7.1 Ayakkabıda Saya Malzemeleri

Saya; taban elemanları haricinde gövdeyi oluşturan, yüz, fleto ve gamba gibi kısımların astarsız veya astarlı olarak dikilmiş ve kalıba çekilebilecek duruma getirilmiş halidir. Kısaca; ayakkabının üst kısmına verilen isimdir [49]. Ayakkabının sayısı deri gibi doğal veya bazı sentetik malzemeler gibi birçok farklı malzemeden üretilebilir. Herhangi bir hayvanın, kuşun balığın ve sürüngenin derisi de dahil olmak üzere çoğu deri ayakkabı yapımı için uygundur. Deri elastiklik ve plastisite özelliklerinden

dolayı ayakkabı imalatında en etkili malzemedir. Kolayca şekillendirilebilmekte, ısıya ve neme maruz kalmadıkça bu şekli muhafaza etmektedir. Aynı zamanda yarı geçirgendir ve su buharının ayaktan buharlaşmasına izin verir. Üzerine cilalar, renkler ve dokular uygulanabilir. Dolayısıyla ayakkabı yapımında çoğunlukla tercih edilir.

Bununla beraber sentetik alternatifler de keşfedilmiştir. Bu alternatifler deriye göre su buharına karşı daha az geçirgendir, kullanımdan sonra orijinal şekillerine dönme eğilimi gösterirler dolayısıyla ayağa uyum sağlayamaz veya deri gibi yeniden şekillendirilemezler. Ancak maliyeti daha ucuzdur, kullanılacak malzemelere kolayca ulaşılabilir, baştan sona standart kaliteye sahip olduklarından ayakkabı modelinin kesimini de kolaylaştırırlar. Dolayısıyla ayakkabı üretiminde yaygın şekilde kullanılırlar. En çok kullanılanları arasında poliüretan veya polivinilklorür (PVC) kaplı kumaşlar ve poromerikler yer alır.

- **Poliüretan Kaplı Kumaşlar:** Kumaş tabanına uygulanan sentetik katmandan oluşur. Deriye benzer bir görünüme sahip olabilir, yumuşaktır, hafiftir ve giyilmesi rahattır fakat aşınmadan kaynaklı hasarlara eğilimlidirler.
- **Polivinil Klorür (PVC) Kaplı Kumaşlar:** Kumaş tabanı üzerine katı veya hücreli bir PVC katmanı uygulanarak elde edilir. Ucuzdur, iyi bir aşınma direncine sahiptir ancak su buharını geçirmez.
- **Poromerikler:** Ayakkabı endüstrisi için özel olarak geliştirilmiştir. Deri benzeri görünüme sahiptirler ve sert derilere benzerlik gösterirler. Yapıları farklılık göstermekle beraber, çoğu derinin üst tabakasına eşdeğer oldukça kalın ve gözenekli poliüretan bir yüzeye sahiptir. Çoğu ise polimerle emprenye edilmiş dokunmuş veya dokumasız tekstil tabanına sahiptir. Poromerikler; genelde geçirgen değildir, deri gibi giydikçe ayağın şeklini almazlar dolayısıyla ilk giyildiğindeki kalıplarını korumaya devam ederler. Bazı kullanıcılar için rahatsız olabilirler.

Son olarak dokuma ve örme kumaşlarla beraber kauçuk da hem ayakkabının saya kısmında hem de astar ve süslemelerinde kullanılır [50].

## 7.2 Ayakkabıda Astar Malzemeleri

Ayakkabının sayasının kısmen veya tamamen astarlanması olağan bir durumdur. Astarın amacı; ayakkabının görünüşünü iyileştirmek, yumuşaklık vermek, korumaya ihtiyaç duyulan alanlarda konforu ve ayakkabının dayanıklılığını arttırmaktır. Astarlar için kullanılan başlıca malzemeler:

- **Deri:** Özel üretim, yüksek sınıf ayakkabılarda sıklıkla kullanılmasıyla beraber perakende üretimde yerini çoğunlukla sentetik malzemeler almıştır.
- **Kürk:** Kışlık botlar ve bazı kaliteli terliklerde sıklıkla kullanılır. Sentetik taklitleri de kullanılmaktadır.
- **Pamuklu veya Suni İpek Kumaşlar:** Daha çok ayakkabı yüzünde kullanılmıştır. Yerini köpük destekli astarlar veya diğer sentetik çağdaş malzemeler almıştır.
- **Modern Malzemeler:** Günümüzde çoğunlukla spor ayakkabı endüstrisi için geliştirilmiş birçok yeni malzeme mevcuttur. Modern teknoloji derinin yapamayacağı şekilde sürtünmeyi, nemi ve ısıyı azaltan birçok üst düzey ürünler üretmiştir.

Her ayakkabı üreticisi farklı astar malzemeleriyle kendi ürün yelpazesinin ayrıntılarını belirlemektedir [51].

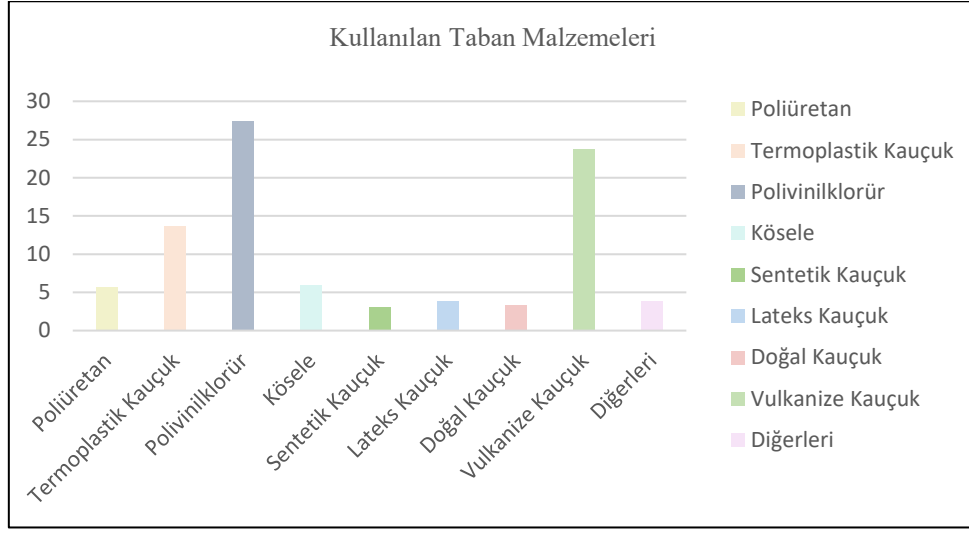
## 7.3 Ayakkabıda Taban Malzemeleri

Ayakkabı tabanları kullanım amaçlarına göre birçok farklı kategoriye ayrılabilir. Ayakkabı tabanı imalat kolaylığı, tasarım estetiği, kullanıcının istekleri, ucuzluk, temin kolaylığı gibi birçok faktöre maruz kalır. Aynı zamanda suya karşı direnç, dayanıklılık, kayma direnci, hafiflik gibi özellikler taşıması da beklenebilir. Topuk, ayağı ve bacağı sağlıklı bir duruş sağlayarak yürümeyi kolaylaştıran, ayakkabıya eklenen bir taban elemanıdır. İlk başlarda bacak hareketini desteklemek için kullanılan topuk, günümüzde daha çok moda taleplerini karşılamak için tercih edilmektedir. Ancak sağlıklı



ayakkabılar için topuk yüksekliği uygun olmalıdır. Kadın ayakkabılarında 4,5 cm, en ideal topuk yüksekliğidir. Erkek ayakkabılarında ise 2.5 cm'yi aşmayan topuklar yaygındır [52].

Ayakkabıda kullanılan malzemelerin yüzdelik oransal dağılımı aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Grafik 1. Sık kullanılan taban malzemeleri [53]

Belli başlı taban malzemelerini incelersek doğal ve sentetik olmak üzere iki gruba ayırabiliriz.

### 7.3.1 Doğal taban malzemeleri

- Kösele: Büyükbaş hayvanların ham derilerinden tabaklanarak Ayakkabı imalatında geçmişten günümüze gelen en eski ve en önemli taban malzemesidir. 50'li yıllar itibariyle yerini sentetik taban malzemelerine bırakmıştır.
- Doğal Kauçuk: İlk olarak Heveabrasiliensis türü ağacın gövdesinden elde edilmiştir. Günümüzde ise birçok doğal kauçuk türü vardır.
- Tekstil Bazlı Taban Malzemeleri: Tekstil taban malzemelerinin esas kaynağı jüttür. Kauçuk ya da plastik maddeler ile genellikle yaz aylarında kullanılan ve espadril olarak adlandırılan ayakkabıların yapımında kullanılır.

### 7.3.2 Sentetik taban malzemeleri

PVC, EVA, poliüretan, neolit, suni kauçuk ve termoplastikler taban yapımında kullanılan sentetik maddelerdir. Birçok farklı yöntemle taban kullanımına uygun hale getirilirler. Taban üretiminde sentetik esaslı maddelerin kullanımı çok daha ucuz ve ekonomiktir dolayısıyla günümüzde ayakkabı tabanlarının çoğunun yapımında tercih edilmektedir [53].

## 8. AYAKKABI ENDÜSTRİSİNDE İNOVASYONLAR

Ayakkabı sektöründe sürdürülebilirlik adına birçok yenilik ve önlem uygulanmaktadır. Birçok marka, sürdürülebilir malzemelerin kullanımına odaklanarak organik pamuk, geri dönüştürülmüş plastik ve doğal kauçuk gibi çevre dostu materyalleri tercih etmektedir. Ayrıca, vegan ayakkabılar hayvan ürünleri içermeyen tasarımlarla popülerlik kazanmaktadır. Üretim süreçlerinde sıfır atık hedefleri belirlenmekte, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı teşvik edilmekte ve uzun ömürlü tasarımlar benimsenerek ürünlerin ömrü uzatılmaktadır. Etik üretim süreçleri ve sosyal sorumluluk prensipleri de sektörde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Tüm bu çabalar, ayakkabı sektöründe sürdürülebilirlik bilincini artırmak ve çevresel etkileri minimize etmek adına yapılan önemli adımları temsil etmektedir.

Hopfrög Kids, tüm patik ve ayakkabı gruplarında üstün kaliteli, doğal ve geri dönüştürülmüş malzemeler kullanan çevre dostu bir markadır [54]. Çoğu ayakkabı serisinde BioVegan™ suni deri tercih edilerek hayvanların, doğanın ve insanların hayatlarını iyileştirmeye katkıda bulunmaktadır. %100 geri dönüştürülmüş özel OrthoFlex® teknolojisi ile üretilen iç tabanlar, ayakkabı içinde hava

akışını sağlayarak üstün konfor sunmaktadır. Miniklerin ayaklarının sağlıklı nefes alabilmesi için %100 geri dönüştürülmüş pamuktan yapılan yüzük malzeme ve iç astar kullanılmaktadır. Akıllı Patik serisini özel kılan bir diğer özellik ise %100 silikondan özel tasarımla elde edilen bilek bantlarıdır. Hopfrög Kids, sürdürülebilir ve çevre dostu malzemeler kullanarak çocukların hem bugününü hem de geleceğini düşünerek güvenli bir dünya bırakmayı hedeflemektedir [55].

NIKE, Jordan ve Converse ürünlerinin %78'i, günümüzde bir miktar geri dönüştürülmüş malzeme içermektedir ve bu oranı artırma yönünde çalışmalar devam etmektedir. Toplam karbon ayak izinin yaklaşık %70'ini kullandığı malzemeler oluşturduğundan, çevreye olan etkiyi azaltmada malzeme seçimi büyük bir öneme sahiptir. Örneğin, geri dönüştürülmüş polyester bu konuda önemli bir rol oynamaktadır. Geri dönüştürülmüş plastik şişelerden elde edilen bu kumaş, temizlenip parçalanarak peletlere dönüştürülmekte ve ardından yüksek kaliteli yeni iplikler olarak kullanılmaktadır. Bu iplikler, üstün performans sunmakla kalmayıp, normal polyestere kıyasla karbon emisyonunu %30'a kadar azaltmaktadır. En popüler ürün serilerinden biri olan Tempo Şort, en az %75 oranında geri dönüştürülmüş polyesterden üretilmektedir. Tasarım seçeneklerinin çoğu ise %100 geri dönüştürülmüş polyesterden üretilmiştir. Bu ürün, bugüne kadar 112 milyon plastik şişenin çöplerden ve kanallardan toplanmasını sağlamıştır. Nike Air, sürdürülebilirlik yolculuğuna en çok katkıda bulunan yeniliklerden biridir. Air üretim sürecindeki atıkların %90'ı tekrar kullanılmakta ve bu atıklar genellikle yeni Air bölmelerine dönüştürülmektedir. Bu sayede, tüm Nike Air tabanları en az %50 oranında geri dönüştürülmüş malzeme içermektedir. Nike, bugün yapılanın 10 kat daha fazlasını, kullanılmış veya defolu ürünleri bağışlamak, yeniden kullanmak veya geri döndürmek için 2025 hedefi belirlemiştir. Bunu başarmak adına, insanların kullandığı ürünlerini daha kolay bir şekilde geri getirmelerini sağlamaktadır. ABD ve Avrupa'daki mağazalarda uygulanan Reuse-A-Shoe programı, Büyük Çin'deki mağazalara ölçeklendirilerek operasyonlara yeniden enerji kazandırmaktadır. Ayrıca, ileri dönüşüm üzerine atölyeler düzenlenmekte ve tüketicilere Nike Döngüsel Tasarım Rehberi [56] gibi ilgili içerikler sunulmaktadır. Bu hizmetlerin bazıları yeni başlatılmış olmakla birlikte, Nike hedeflerinden sapmadan gezegendeki tüm sporculara ilham vermeye ve yenilik sunmaya devam etmektedir [57].

## 8.1 İnovatif Ayakkabı Malzemeleri

### 8.1.1 Spacer kumaş uygulamalar

Spacer kumaşlar, yarı sert bir dolgu ipliği ile birbirine bağlanan iki ayrı kumaş katmanından oluşan üç boyutlu yapılardır. Yapıları havalandırma ve enerji emilimi sağlar bununla beraber yumuşak, elastik bir kaliteye sahiptir [58] Spacer kumaşların ayakkabı sayısının üretiminde [59] ve tıbbi iç taban üretiminde [60] örnekleri mevcuttur.

### 8.1.2 Mikrofiber deri

Mikrofiber deri, Mikrofiber takviyeli PU (poliüretan reçine) derisinin kısaltmasıdır. Üç boyutlu bir dokuya sahip dokunmamış kumaş oluşturmak için öncelikle tarama ve iğneleme işlemiyle süper ince elyaflardan yapılan mikrofiber deri, daha sonra ıslak işlemde geçirilir. Ardından, PU reçine empenye edilir, taşlanır, boyanır ve mikrofiber tabana işlenir. Son aşamada ise, yüksek performanslı PU ve Mikrofiber tabanı laminasyonla birleştirilerek mikrofiber deri oluşturulur. Mikrofiber üretim sürecinde yeni su bazlı mikrofiber tam su bazlı çevre koruma mikrofiber deri üretim teknolojisi, tüm süreçte organik çözücüler kullanmaz. Su bazlı mikrofiber deri üretimi gerçekten yeşil çevre koruması yapabilir. Hakiki deri ile karşılaştırıldığında, mikrofiber deri daha çevre dostudur, mikrofiber deri genellikle üretim hammaddesi olarak %30-50 geri dönüştürülebilir malzeme poliamid'e sahiptir, Mikrofiber deri sürdürülebilir deri olarak da bilinir [61].

### 8.1.3 Alternatif deriler

Deri, ayakkabı sektöründe en çok kullanılan yenilikçi sürdürülebilir alternatifleriyle dayanıklı ve esnek bir malzemedir. Doğal derinin elde edilme maliyetleri nedeniyle çok daha ucuz ve hızlı bir alternatif olan petrol bazlı sentetik deriler sektöre giriş yapmıştır [62]. Sentetik derilerin petrol bazlı olması, yarattığı çevre kirliliği ve sürdürülebilir olmaması gibi durumlar artan tüketici bilinciyle endişe oluşturmuştur [63]. Bu nedenlerden dolayı doğal ve sentetik deriye sürdürülebilir bir alternatif deri arayışı başlamıştır [64]. Alternatif deri sınıfının en güzel örneklerini bitkisel bazlı elma derisi, mantar

derisi, muz derisi, kaktüs derisi, mango derisi gibi örnekler oluşturur. Bununla birlikte bakteriyel selülozdan üretilen kamnbocha derisi gibi örnekler de vardır [65].



Şekil 14. Mantar derisi, ananas derisi ve kaktüs derisi ürünleri [66-68]

## 9. AYAKKABI ENDÜSTRİSİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Ayakkabı üretimi, pek çok materyalin bir araya gelmesiyle sağlanmaktadır. Bu yönüyle ayakkabı endüstrisi, en fazla atık oluşturan sektörlerin başında gelmektedir. Ayakkabıların tekrar kullanımı, geri dönüşümle beraber biyolojik ayrıştırabilen materyallerin geliştirilmesi önemli hale gelmiştir. Özellikle hızla tüketilen moda kavramıyla birlikte, tekstil materyallerinin kullanım ömrünü tamamlamadan ‘atık’ olarak nitelendirilmesinden dolayı ekonomik ve çevresel bir tahrip oluşmuş durumdadır. Günümüzde artan tüketime bağlı olarak ayakkabı satışları da artmış durumdadır. Beraberinde daha fazla üretim gerekmektedir. Ayakkabı kullanımı tamamlandıktan sonra ortaya çıkan atıkların geri dönüşümü oldukça zor olmaktadır. Atıkların geri dönüştürülmesi ve sürdürülebilirliği arttırmak için birçok marka ve fabrika yeni yollar aramaktadır [69]. Bununla beraber 3D baskı teknolojisi, dikişsiz üretim teknolojisi gibi malzeme kullanımını azaltıp verimliliği arttıracak yenilikçi üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Aynı zamanda yapılan hataları en aza indirmek amacıyla veri analizleri ile üretim süreçleri optimize edilmekte ve tam otomasyon ile insan kaynaklı hatalar sıfıra indirgenmektedir [70].



Şekil 15. Ayakkabıda sürdürülebilirlik [71]

Ayakkabı endüstrisi, çevresel etkileri azaltmaya yönelik yenilikçi çözümler geliştirmiştir. Bu bağlamda, biyobozunur ve bez ayakkabılar, sürdürülebilirlik açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Biyobozunur ayakkabılar, kullanım ömrü sona erdiğinde doğada çözünebilir malzemelerden üretilmektedir. Bu tür ayakkabılar, genellikle mantar, keten, kenevir gibi doğal kaynaklardan elde edilen materyaller kullanılarak üretilir [72]. Örneğin, Orba adlı bir marka, ayakkabı tabanlarını doğal kauçuk, pirinç kabuğu ve hindistancevizi yağı gibi malzemelerden üretmektedir. Orba ayakkabılarının üst kısmı ise keten, kenevir ve ısırgan otu gibi yenilenebilir ve yeniden yetiştirilebilir bitkilerden yapılmaktadır. Bu malzemeler, böcek ilacı kullanılmadan büyüyebilir ve hasat edilebilmektedir [73].



Şekil 16. Orba markasının ayakkabı malzemeleri [74]

Biyobozunur ayakkabıların en büyük avantajı, atık yönetimi sorununu önemli ölçüde azaltmalarıdır. Geleneksel sentetik malzemeler, doğada uzun yıllar boyunca kalabilirken, biyobozunur materyaller kısa sürede doğaya geri döner. Örneğin, PUMA'nın RE projesi, ayakkabıların kullanım ömrü sona erdikten sonra endüstriyel biyobozunma süreçleri ile kompost haline getirilebilmesini sağlamaktadır. Bu, ayakkabıların atık yönetimine olan olumsuz etkilerini minimize etmekte ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır [75]. Biyobozunur ayakkabıların üretim süreci, çevresel etkileri minimuma indirmek için optimize edilmiştir. Örneğin, biyobozunur polimerler kullanılarak üretilen ayakkabı tabanları, fosil yakıt kullanımını azaltmaktadır. Ayrıca, üretim süreçlerinde düşük enerji tüketimi ve az kimyasal kullanımı gibi sürdürülebilir yöntemler tercih edilmektedir. Diğer bir yenilikçi çözüm olarak bez ayakkabılar karşımıza çıkmaktadır. Bu ayakkabılar, genellikle keten, kenevir gibi doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen malzemelerle üretilmektedir. Bu materyaller, biyobozunur olmalarının yanı sıra, üretim süreçlerinde daha az enerji ve su tüketimi gerektirir, bu da çevresel ayak izini azaltır [76].



Şekil 17. PUMA RE projesi [77]

Bez ayakkabılar genellikle pamuk, kenevir, bambu gibi doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen kumaşlar kullanılarak üretilir. Bu tür ayakkabılar hem üretim aşamasında hem de kullanım ömrü sonunda çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahiptir. Bez ayakkabıların üretimi sırasında, sentetik malzemelere kıyasla daha az enerji ve su tüketilir. Ayrıca, bez ayakkabılar geri dönüştürülebilir ve biyobozunur özelliklere sahip olabilir, bu da atık yönetimde önemli bir avantaj sağlar. Bez ayakkabılar, dayanıklılık ve konfor açısından da avantajlar sunar. Doğal kumaşlar, hava geçirgenliği ve nem emme özellikleri ile kullanıcıya konfor sağlar. Ayrıca, bu tür ayakkabılar genellikle daha hafif ve esnek olup, uzun süreli kullanıma uygundur. Biyobozunur ve bez ayakkabıların sürdürülebilirlikle harmanlanması, çevresel etkilerin azaltılması açısından önemli bir rol oynar [78]. Bu tür ayakkabıların üretiminde kullanılan doğal malzemeler, fosil yakıtlara dayalı sentetik malzemelere kıyasla daha az çevresel zarar verir. Ayrıca, biyobozunur ayakkabıların doğada çözünebilirlik özelliği, atık miktarını azaltarak çevre kirliliğini önler. Bez ayakkabılar ise yenilenebilir kaynaklardan elde edilen malzemelerle üretilmeleri sayesinde sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlar. Pamuk, kenevir ve

bambu gibi doğal kumaşlar, biyolojik olarak parçalanabilir ve geri dönüştürülebilir. Bu da kullanım ömrü sonunda bu ayakkabıların çevreye zarar vermeden doğaya geri dönmelerini sağlar [79].

Aynı zamanda endüstride malzeme verimliliğini arttırmanın yanında ayakkabı imalatında sürdürülebilir olmayan ve atıkların çevreye vereceği zararlardan dolayı bazı malzemelerin kullanımının önüne geçmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda edinilen çevresel kazanımlar, sürekli değişen moda akımları ve ayakkabıya olan talebin artmasıyla istenilen verimi verememektedir. Özellikle spor ayakkabının ömrü diğer ayakkabilara göre daha kısa olmasına karşın kullanım süreleri giderek azalmaktadır. Bununla beraber ayakkabının kullanım ömrü bittiğinde, çevresel bir atık çıkar ve genelde bu atıklar çöpe atılmaktadır. Ayakkabı endüstrisinde kullanım ömrünü tamamlayan atıkların geri dönüştürülmesi ve yeniden kazanılması için çalışmalar yapılmaktadır [69].

### 9.1 Üretimde Hammaddeler

Sektörde kullanılmakta olan hammaddeler açısından incelendiğinde, sentetik lifler arasında öne çıkan polyester ve doğal bir lif olan pamuğun hâkim olduğu gözlemlenmektedir. 2014 yılından bu yana küresel lif üretiminin %63'ü sentetik liflerden oluşmakta olup, bu oranın %82'sini polyester lifleri oluşturmaktadır. Pamuk ise ikinci sıradadır ve tüm lifler içerisinde %29'luk bir paya sahiptir. Son yıllarda polyester liflerine olan ilgi iki katına çıkarak, uzun süredir en çok tercih edilen lif olan pamuğu geride bırakmıştır. 2025 yılına gelindiğinde, pamuk üretiminin sabit kalması beklenirken, polyester üretiminin artacağı ve pamuk üretimini üç katından daha fazla geçeceği öngörülmektedir. Sentetik polimerler için temel hammadde kaynağı olan petrol, bu lif türü için kritik bir rol oynamaktadır. Diğer taraftan, pamuk gibi doğal lifler de yenilenebilir olmayan enerji ve kimyasal maddelere dayanan kaynaklara ihtiyaç duymaktadır. Hangi lif türünün çevresel açıdan daha sürdürülebilir olduğu belirtilmek ise oldukça karmaşıktır [80].

### 9.2 Sürdürülebilirliğin Sağlanması ile İlgili Çalışmalar

SMART (Secondary Materials and Recycled Materials Association)'ın 2018 yılı verileri incelendiğinde her yıl bir yetişkin 81 kilo tekstil atığı meydana getirmektedir. Bu tekstil ürünlerinin %95'i geri kazanım özelliğine sahip olmasına karşın sadece %15'i geri kazanımda değerlendirilebilmiş, %85'inin ise çöplüklere gittiği aktarılmıştır. Tüketici atıklarının azaltılması ve yaşam döngüsü değerlendirmesi kapsamında döngüye dâhil olmasına yönelik pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalardan önde gelenler "Recycle (Geri Dönüşüm), Reuse (Tekrar Kullanım), Redesign (Yeniden Tasarım) ve Upcycle (İleri Dönüşüm) kavramları tekstil atıklarının çevrime dâhil olmasında uzun yıllarca üzerinde durulan konulardandır. 1976'da Kaynakların Korunması ve İyileştirilmesi Hareketi ile 3R 'Reduce (Tüketimi Azaltma), Reuse (Yeniden Kullanım), Recycle (Geri Dönüşüm)' başlamıştır. Ancak sürdürülebilirlik bilincinin artması ve daha fazla ne yapılabilir konusunun düşünülmesi; günümüzde 3R kavramının 6R olarak güncellenmesini sağlamıştır. Refuse (Kullanımı Reddetme), Reduce (Tüketimi Azaltma) ve Rot (Çürütme/Yok Etme/Bozunum) kavramları ile sürdürülebilirlik, daha geniş bir alanda kendisine yer sağlamıştır. Bu altı ilke, tüketici öncesi ve sonrasında meydana gelen atıkların değerlendirilmesi üzerine yapılan çalışmalar ve yapılması gereken çalışmalar açıklanmıştır. Ayakkabı sektörünün tekstil sektörünün parçası olması dolayısıyla bu ilkeler aynı zamanda ayakkabı sektöründeki çalışmaları da anlatmaktadır [81]. Deri sektöründe sürdürülebilirlikle ilgili önemli çalışmalar yapan kuruluşlardan biri de LWG'dir. LWG (Leather Working Group), deri üretiminin çevreye verdiği etkileri değerlendirmek ve deri endüstrisinde sürdürülebilirlik standartlarını saptamak ve uygulamak amacıyla kurulan bir organizasyondur. LWG, markalar, perakendeciler, deri üreticileri ve diğer endüstri paydaşları arasında iş birliğini sağlayarak sektörde daha çevreci uygulamalara teşvik etmektedir. [82]



Şekil 18. LWG (Leather Working Group) logosu [83]



### 9.2.1 Recycle / Geri dönüşüm

Tekstil Endüstrisinde geri dönüşüm üretimden tüketime ve tüketim sonrasına varıncaya kadar geniş bir çalışma alanını kapsamaktadır. Üretim sonucunda oluşan birçok lif, iplik ve kumaş atıkları geri dönüşüm fabrikalarında dolgu malzemesi, endüstriyel keçe gibi geri dönüştürülmüş ürünlere, daha sonrasında farklı endüstriyel ürünlere dönüşebilmektedir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte karışım liflerden oluşan bir tekstil de kolayca ayrıştırılarak dönüşüm sürecine dahil edilebilmektedir. [69]

### 9.2.2 Reuse / Yeniden kullanım

Tüketim sonrası ortaya çıkan atıklar, sadece kullanım süresini tamamlamış, artık kullanılamayacak durumdaki tekstillerden değil, aynı zamanda tüketicinin gözünde modası geçmiş nitelendirilen, kullanım ömrü devam eden ancak raflarda süresinin sona erdiği düşünülen ve aslında kullanılabilir, geri kazanılabilir tekstillerden oluşmaktadır. Tekstil ürünlerinin geri kazanımında akla ilk gelen uygulama 'ikinci el giysi' kullanımına olanak sağlayan platformlardır. Bu aşamada giysiler, üzerinde yenilikçi bir uygulama yapılmamış, gerektiği durumlarda tadilat görmüş giysilerden oluşmaktadır. İkinci el giysi dükkanları, ikinci el giysilerin satıldığı veya takas edildiği sosyal platformlar, bireysel takas/değişim girişimleri gibi pek çok uygulamadan söz etmek mümkündür. Tekstil ürünlerinde 'ikinci el' uygulamalarında yalnız ekolojik olarak bir sürdürülebilirlik değil, 'geleneğin sürdürülebilirliği', büyükten küçüğe aktarım, bireysel anlamda ekonomik sürdürülebilirlikten de bahsedilebilir. Moda kavramının on yılda bir köklü değişime gitmesi, geçmiş yıllara damgasını vurmuş moda akımlarının yeniden gündeme gelmesini sağlamakta ve dönem giysilerini yeniden moda haline getirmektedir. Bu gibi nedenlerden dolayı 'hızlı moda' kavramına karşı 'yavaş moda' anlayışının benimsenmesi, raf ömrü bittiği düşünülen giysilerin farklı bireylere ulaşmasının sağlanması veya gelecek nesillere aktarılması sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. İkinci el giysiler dünyanın pek çok yerinde sokaklara yerleştirilen giysi konteynırları sayesinde ihtiyaç sahiplerine ulaştırılabilmektedir. Ayrıca bu konteynırlar ayakkabı, çanta, oyuncak gibi diğer tekstil ürünleri için de kullanılabilir. İkinci el giysi mağazaları özellikle Amerika ve Avrupa'da oldukça yaygındır [69].



Şekil 19. Giysi kumbarası örneği [84]

### 9.2.3 Redesign / Yeniden tasarım

Tekstil ürünlerinin atık yönetimi kapsamında yeniden değerlendirilebilmesinde bir diğer uygulama Redesign/ Yeniden Tasarımdır. Giysilerin ikinci el olarak kullanılmasından farklı olarak bu giysilerde birtakım değişiklikler yapılmaktadır. Bu değişiklikler kullanıcının fiziksel özellikleri veya arzuları doğrultusunda uyarlanabilmekte, başka bir ürüne dönüşüp yeni bir işlev kazanabilmektedir. Bu sayede, bir giyim ürününün ikinci el olarak tekrar satılmasının, yeni bir ürün üretmek için gerekli olan enerjiye kıyasla 10 ila 20 kat arasında enerji tasarrufu sağlamaktadır, bu da enerji verimliliğinde önemli bir artışı temsil etmektedir[69].



### 9.2.4 Upcycle / İleri dönüşüm

Ürünler, yeniden tasarlandıktan sonra yeni bir ürüne, yeni bir işleve ya da orijinalinden daha iyi bir değer kazandığında ise İleri Dönüşüm kapsamına girebilmektedir. Atık giysilerin veya kumaşların şeritler halinde kesilerek kalın ipliklere dönüştürülmesi, ardından örülmesi ya da dokunması ile oluşan 'cacala'lar bir yeniden tasarım örneği olarak gösterilebilmektedir. Bu kapsamda, yavaş moda kavramının el emeğini destekleyen üretim süreci ve giyilebilir sanat kavramının estetik bakış açısıyla bir ürün önerisi getirilerek, atıklar sadece atık olarak kullanıma geri dönmekle kalmamış, yeniden tasarlanarak başka bir forma dönüşmüştür. Günümüzde bu yöntem sadece yer yaygısı olarak değil yastık, döşemelik hatta dış giyimde bile değerlendirilmesi ürünün estetik değerinin artmasını sağlamakta ve Upcycle/ İleri dönüşüm olarak değerlendirilmektedir [69].

### 9.2.5 Refuse / Kullanımı reddetme

Tekstilde sürdürülebilirlik konusunda yapılan çalışmalardan bir diğeri ise kimyasal esaslı, doğada ayrıştırılamayan, etik şekilde üretilmemiş ürünlerin kullanımının reddedilmesidir. Bunların yerine etik şekillerde üretilen, insan, doğa ve diğer canlılara zarar vermeyen, işçi haklarını önemseyen ekolojik, organik, geri dönüşümlü ve uzun ömürlü ürünlerin tercih edilmesidir. Bu prensipten yola çıkarak, tek kullanımlık kahve filtresi, kâğıt peçeteler, pamuklu hijyenik malzemeler yerine, keten, kenevir veya pamuk kumaştan yapılmış uzun ömürlü kâğıt filtreler, mutfak bezleri, uzun ömürlü hijyenik malzemeler tercih edilmektedir. Etik üretim açısından ipek kumaş, hayvan kürkleri kullanımı da reddedilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle beraber sosyal medyanın da etkisi ile çevreye zararlı ürünlerin yerine birden fazla kullanılabilen uzun ömürlü ürünlerin kullanımı tüketiciler arasında yaygınlaşmaktadır. Öyle ki sürdürülebilir ürün kullanımı konusunda telefon uygulamaları da geliştirilmiştir. Örneğin, JouleBug isimli uygulama ile tüketiciler, sürdürülebilirlik konusunda dünyadaki tüm gelişmelerden haber almakta, kullandığı yeniden kullanılabilir ürünlerin görsellerini platform üzerinden paylaşarak puan toplayabilmekte, kaynakların kullanımı ile ilgili belirli kısıtlama/reddetme yarışmalarına katılmaktadır. Program ayrıca, bir sosyal medya platformu gibi çevrenizdeki kişiler ile de etkileşimde bulunmanıza izin vermektedir. [69]

### 9.2.6 Reduce / Tüketimi azaltma

Tekstil endüstrisinde sürdürülebilirlik kapsamında yapılan çalışmaların bir diğeri ise tüketimin azaltılmasıdır. Daha fazla eşya almak yerine daha az yeni eşya satın almak, takas, ikinci el, ekolojik üretim yöntemlerinin tercih etmek, fazla olanı atık değerlendirme döngüsüne dahil etmek gibi tüketim bilinci oluşması hedeflenmektedir. Aslında minimalizm ile de bütünleşen bu ekolojik yaşam biçimi, kapsül gardırop örneğinde olduğu gibi sadece 25 parça giysi, aksesuar, ayakkabı, çanta gibi tekstil ürünleri ile ekonomik, şık ve çevreye duyarlı olunabileceğine dair pek çok örnek bulunmaktadır. Bu doğrultuda hızlı moda anlayışının yerine yavaş moda kavramından söz etmek daha doğru olacaktır. [69]

### 9.2.7 Rot / Çürütme – Bozunma

Ürünlerin geri dönüştürülebilmesinin yanında doğada kendi kendine yok olabilme özelliği de bir hayli önemli sürdürülebilirlik çalışmalarındandır. Bu kapsamda organik, ekolojik hammaddeye sahip tekstiller kullanılmakta, raf ömrü biten ve diğer atık değerlendirme prosesleri ile artık işlevselliğini kaybetmesi muhtemel ürünlerin çürütmesi, bozunması ve yok olması sağlanmaktadır. Bazı markalar artık ürünlerini kompostlama ile bozunacak ve yok olacak şekilde tasarlayıp üretmektedirler. Örneğin Margreth Freitag %100 biyobozunur kenevir, keten, pamuk, yün gibi lifler ile ürettiği giysilerde düğme gibi aksesuarlarda da bozunur malzemeler tercih etmektedir. Kompostlama olarak adlandırılan bu sistemde öncelikli olarak kullanılmayacak durumda olan organik hammaddeli tekstil ürünü, küçük parçalara ayrılır, ardından kumaşlar toprak ile 2/1 oranında karıştırılır, kompostlanması istenen kumaş bir saksı ile bitki yetiştirmekte kullanılabilir. Ayrıca içinde bozunmaya yardımcı olacak canlıların da olduğu bir kompostlama kutusuna, yiyecek artıkları da eklenerek kapatılır. Kompostlama kutusu bulunmadığı durumlardaysa doğal hammaddesinin olduğu bilinen bahçe gibi doğrudan toprağa da gömülmesi uygun olmaktadır. Bu sayede kullanılmayacak durumda olan giysiler, zamanla bozularak doğada çözülebilmektedir. Hammaddesi doğal olan lifler karbondioksitle birlikte 180 günde %60-90 oranında çözünerek yok olabilmektedirler [69].



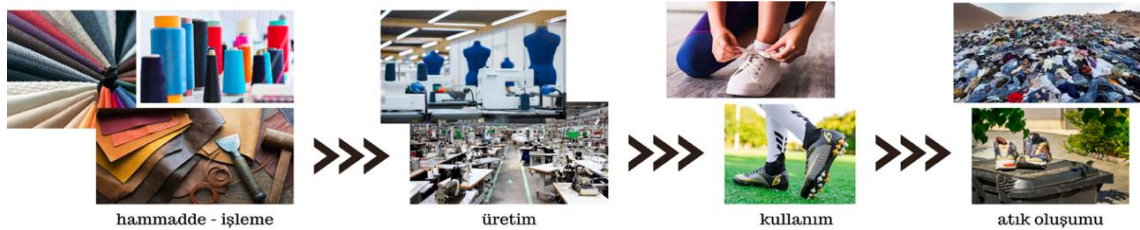
Şekil 20. Lostra uygulaması [85]

### 9.3 Sektörde Lostra Uygulamaları

Sürdürülebilir tüketim aşamalarından olan ‘yeniden kullanım (reuse)’ uygulamasına katkı sunan lostra işletmeleri; eskiyen, yıpranan ve hasarlı ayakkabıları basit onarım işlemleri ile yeniden kullanılabilir hale getirerek kullanım ömürlerini uzatmayı amaçlamaktadır. Lostra, İtalyanca (lustra) kelimesinden türetilmiş olup, Türk Dil Kurumu sözlüğünde ‘ayakkabı boyama’ şeklinde tanımlanmaktadır. Deforme olmuş veya yıpranmış ayakkabılar için temizlik, tadilat, boya, parlatma vb. Onarım hizmetleri sunan lostra uygulamaları, geçmişte mahallelerde ve yol kenarlarında sıklıkla karşılaşılan, ayakkabı boyacısı veya tamircisi olarak adlandırılan işletmelerin geleneksel yöntemlerle sundukları hizmetleri; bugün kurumsal bir kimlik altında daha gelişmiş ekipmanlarla daha profesyonel ve daha kapsamlı bir şekilde sunulmaktadır. Lostra işletmeleri, sundukları hizmetler ile ayakkabıların kullanım ömürlerini mümkün oldukça uzatarak ayakkabı tüketimini ve dolaylı olarak su tüketimini azaltmayı amaçlamaktadırlar. Bununla birlikte lostralar, artan üretim maliyetleri doğrultusunda artan fiyatlar karşısında tüketiciler için ayakkabıların onarılarak yeniden kullanılmasına yönelik alternatif bir seçenek olabilmekte ve bu nedenle maddi açıdan da tasarruf edilmesine katkı sunmaktadırlar [86].

### 9.4 LCA (Life Cycle Assessment) / YDA (Yaşam Döngüsü Analizi) nedir?

Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment), bir uygulamanın bütün çevresel aşamalarını; hammaddenin temin edilmesinden, atıkların doğaya geri dönüşüne dek olan süreçleri değerlendiren bir analiz yöntemidir. Bu metodoloji, ürünün işlenmesinde kullanılan enerjiden, hammaddenin üretimine, kullanımına ve atık oluşumuna kadar olan aşamalarında ortaya çıkan havaya, suya ve toprağa olan tüm etkileri içermektedir. Yaşam Döngüsü Analizi, doğrudan ve dolaylı etkileri belirlemek ve ölçmek amacıyla kullanılmaktadır [6]. LCA, bir ürünün yaşam döngüsündeki tüm aşamalarını, bu aşamaların birbirine bağımlı olduğu perspektiften değerlendirir, yani bir işlem diğerine yol açmaktadır. Ürün yaşam döngüsü boyunca etkileri içerir. LCA, bir ürünün veya sürecin çevresel yönlerine detaylı bir bakış sağlar; ürün ve süreç seçiminde gerçek çevresel verilerin daha doğru bir resmini sunar [87].



Şekil 21. Ayakkabının yaşam döngüsü [88-96]

LCA'nın uygulanma süreci sırasıyla şu adımları içerir:

- Amaç ve Kapsam Belirleme: Analizi yapılacak ürün veya sürecin kapsamı belirlenir. Hangi aşamaların inceleneceği, hangi çevresel etkilerin değerlendirileceği belirlenir.
- Yaşam Döngüsü Aşamalarının Tanımlanması: Ürünün veya sürecin yaşam döngüsü adımları belirlenir. Bu adımlar genellikle “ham madde edinme”, “üretim”, “dağıtım”, “kullanım” ve “atılma” gibi aşamaları içerir.
- Veri Toplama: Her aşamada kullanılan malzemelerin, enerjinin ve atıkların miktarları toplanır. Bu veriler literatür taraması, şirket raporları veya ölçümler yoluyla elde edilir.

- Çevresel Etkilerin Belirlenmesi: Toplanan veriler, çevresel etkileri değerlendirmek için kullanılır. Sera gazı emisyonları, su tüketimi, toksinlerin salınımı gibi etkiler ölçülür.
- Analiz ve Değerlendirme: Elde edilen veriler analiz edilir ve değerlendirilir. Hangi aşamaların daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu belirlenir.
- Yorum ve Sonuçlar: Elde edilen sonuçlar yorumlanır ve çıkarımlar yapılır. Hangi adımlarda iyileştirmeler yapılması gerektiği veya hangi malzeme/teknoloji değişikliklerinin çevresel etkiyi azaltabileceği belirlenir.
- Raporlama: LCA sonuçları, grafikler ve tablolarla desteklenerek raporlanır. Bu rapor, çevresel performansı görselleştirir ve anlaşılabilir kılar [97, 98].

LCA aynı zamanda birçok çeşide sahiptir. Ürün, süreç, kuruluş, sektörel ve proje LCA olmak üzere 5 başlık altında toplanabilir. Ürün LCA, bir ürünün yaşam döngüsü süresince çevresel etkilerinin incelenmesidir. Ürünün hammaddelerinin elde edilmesinden, üretimine, dağıtımına, kullanımına ve atılmasına kadar olan süreçlerdeki çevresel etkiler değerlendirilmektedir [99]. Süreç LCA, belirli bir üretim veya işleme sürecinin çevresel etkilerini değerlendirir. Bu analiz, belirli bir tesisin veya prosesin çevresel performansını ölçmek için kullanılmaktadır [100]. Kuruluş LCA türü, bir şirketin veya organizasyonun genel faaliyetlerinin çevresel etkilerini değerlendirmektedir. Burada, şirketin tüm eylemlerine ve süreçlerine odaklanılır [101]. Sektörel LCA, belirli bir endüstri veya sektördeki çeşitli ürünlerin veya süreçlerin çevresel etkilerini karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Örneğin, enerji üretimi veya tarım gibi sektörel LCA'lar yapılabilmektedir [102]. Proje LCA, belirli bir projenin veya yatırımın çevresel etkilerini değerlendirir. Burada, altyapı projeleri, bina inşaatı veya taşıma projeleri gibi çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir [103].

## 10. SONUÇ

Ayakkabı, insanın konfor ve korunma açısından temel ihtiyacı olmakla beraber moda algısıyla da modern dünyanın vazgeçilmezlerindenidir. Yapımında saya için deri ile sentetik alternatifler olan poliüretan kaplı kumaşlar, PVC kaplı kumaşlar ve poromerikler de kullanılırken, astarda deri, kürk, pamuklu ve ipek kumaşlar ile çağdaş malzemeler kullanılmış olup, tabanda kösele, doğal kauçuk, tekstil bazlı malzemeler gibi doğal malzemelerin yanı sıra PVC, EVA, poliüretan, neolit, suni kauçuk gibi sentetik malzemeler kullanılmıştır. Bir çift ayakkabının yapımında ise 40 çeşit kadar farklı malzeme kullanılmaktadır. Yıllar içerisinde ortaya çıkan kirlilik ve atıkların büyüklüğünün fark edilmesiyle sürdürülebilirlik çalışmalarının içerisinde dahil edilmiştir. Geri dönüşüm, yeniden kullanım, yeniden tasarım, ileri dönüşüm, kullanımı reddetme, tüketimi azaltma, çürütme-bozunma gibi yöntemler ile bu çalışmalar sürekli olarak sürdürülmektedir. Bu sayede oluşan kirliliği önlemekle beraber işlevsel hammadde kullanımı amaçlanmaktadır. Ayakkabı sektörünün yapısını incelendiğinde cinsiyetlere göre ayrılmış grupların yanı sıra birçok özelleştirilmiş ürün grubunu da içeren oldukça geniş bir sektör olduğu gözlemlenebilmektedir. İhtiyacın gün geçtikçe artıyor olması da ayakkabı sektörünü sürekli olarak büyüyen ve potansiyel vaat eden bir sektör haline getirmektedir. Türkiye ise potansiyelinin tamamını kullanamamasına rağmen en çok ihracat yapan ülkeler listesinde 5. sıraya yerleşmiştir. Bu da Türkiye ayakkabı sektörünün, Çin pazarında olan dağılımın Avrupa'ya kayması fırsatıyla beraber yüksek olan gelecek potansiyelinin daha fazla arttığının göstergesidir. Bu bilgilere dayanarak gelişen ayakkabı sektörünün başta ülkemiz olmak üzere iyi bir araştırma konusu olmakla beraber aynı zamanda üretim olanaklarının dünya çapında yüksek olduğu kanısı ortaya konulabilir.

## 11. TEŞEKKÜLER BÖLÜMÜ

Dr. Atilla Başlar'a araştırma boyunca gösterdiği değerli rehberlik ve destek için teşekkür ederiz. Ayrıca araştırma kaynaklarını kullandığımız "Türkiye Ayakkabı Sektörü Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı (TASEV) Kütüphanesi" olmasaydı bu derleme çalışma mümkün olmazdı.

## REFERANSLAR

- [1] S. Franklin , M. Grey, N. Heneghan, L. Bowen ve F.-X. Li, “Barefoot vs common footwear: A systematic review of the kinematic, kinetic and muscle activity differences during walking,” 2015.
- [2] A. Kanbak, “Ayak Giydirme Sanatı (Ayakkabı),” 2010.
- [3] A.Luximon, Chapter 15-The use of the textiles in protective military footwear, 2021, p. 389.
- [4] C. N. A. Williams, Chapter 4- Evolution of Footwear Design and Purpose, 2010, p. 57.
- [5] R. S. Staikos T., “An end-of-life decision support tool for product recovery considerations in the footwear industry,” pp. 602-615, 2007.
- [6] F. Gündüz Balpetek, E. Alay ve E. Özdoğan, “Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi ve Tekstil Sanayi,” Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, cilt 6, no. 2, pp. 37-49, 2012.
- [7] G. Bashimov, “Türkiye Ayakkabı Endüstrisinin İhracat Performansı ve Karşılaştırılmalı Üstünlüğü,” Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, cilt 10, no. 1, pp. 56-71, 2021.
- [8] F. D. Erdoğan, “European Union and Turkish Footwear İndustry: A Case of Top-Down Europeanization,” 2013.
- [9] Doğaka, “Ayakkabıcılık Sektör Raporu,” Doğaka, Hatay, 2014.
- [10] Companies Market Cap, “Largest footwear companies by market cap,” [Çevrimiçi]. Available: <https://companiesmarketcap.com/footwear/largest-companies-by-market-cap/>. [Erişildi: 23. 12. 2023].
- [11] World Footwear, 2022.
- [12] TASD (Türkiye Ayakkabı Sanayicileri Derneği, “İhracat ve İthalat Raporları,” [Çevrimiçi]. Available: <https://tasd.com.tr/>. [Erişildi: 19. 12. 2023].
- [13] Ticaret Bakanlığı İhracat Genel Müdürlüğü, “Ayakkabı Sektör Raporu,” 19 Aralık 2024. [Çevrimiçi]. Available:<https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Ayakkabi%20Sektör%20Raporu%202022.pdf>. [Erişildi: 20. 12. 2023].
- [14] P. Türkdemir ve Z. G. Eryaşar, “Ayakkabı Endüstrisinin Beklentilerine Uygun Ayakkabı Tasarımı Önlisans Eğitim Programı Önerisi,” *Turkish Journal of Fashion Design and Management*, cilt 5, no. 1, pp. 16-35, 2023.
- [15] World Footwear, “The World Footwear Yearbok 2020,” 2020.
- [16] TCTB (Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı), “Ayakkabı Sektör Raporu,” 2022.
- [17] C. Kastan ve D. Kastan, “Tarih Öncesi Dönemden Günümüze Evrilen Ayakkabı Tasarımları,” *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, cilt 12, no. 1, pp. 15-53, Haziran 2022.
- [18] M. İmre, “Tarihsel Gelişim İçerisinde İnsan, Moda, Ayakkabı İlişkisi,” *International Journal of Cultural and Social Studies (IntJCSS)*, cilt 2, no 1, 2016.
- [19] C. Lilyquist, “The Tomb of Three Foreign Wives of Tuthmosis III.,” p. 135, 2003.
- [20] Museum of Fine Arts Boston, “MFA Boston A Pair of Poulaine,” [Çevrimiçi]. Available: <https://collections.mfa.org/objects/122170>. [Erişildi: 23. 12. 2023].
- [21] The British Museum, “The British Museum Portrait of VIII. King Charles of France,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.britishmuseum.org/collection/image/1387457001>. [Erişildi: 23. 12. 2023].
- [22] Museum of Fine Arts Boston, “Museum of Fine Arts Boston Women's Chopines,” [Çevrimiçi]. Available: <https://collections.mfa.org/objects/610127>. [Erişildi: 23. 12. 2023].

- [23] National Army Museum, “National Army Museum,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.nam.ac.uk/explore/armys-been-responsible-many-fashion-statements>. [Erişildi: 19. 12. 2023].
- [24] Ö. Enes, “Spor Ayakkabıların Teknik ve İşlevsel Değişim Yoluyla Gündelik Kullanıma Yönelik Tasarımı,” 2011.
- [25] Dr. Martens, “Dr. Martens Leather Lace Up Boots,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.drmartens.com/us/en/1460-smooth-leather-lace-up-boots-black/p/11822006>. [Erişildi: 23. 12. 2023].
- [26] SuperStep, “UGG Australia II,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.houseofsuperstep.com/urun/ugg-classic-mini-ii-chesnut-kadin-kahverengi-bot/1016222-che-1/>. [Erişildi: 23. 12. 2023].
- [27] R. Sürenkök, Konu 4: Ayakkabıların Bölümlere Ayrılması, cilt I, İzmir, İzmir, 1993, pp. 70-105.
- [28] İ. Ötleş, Ayakkabı Çeşitleri, İzmir, 2005, pp. 13-17.
- [29] Hockerty, “Hockerty Derby Shoes,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hockerty.com/en/men/shoes/145403-derbys-brown-italian-calf-leather>. [Erişildi: 01. 01. 2024].
- [30] Hockerty, “Hockerty Oxford Shoes,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hockerty.com/en/men/shoes/139353-full-brogue-shoes-brown-italian-calf-leather>. [Erişildi: 01. 01. 2024].
- [31] İlvi, “Ilvi Mocassin Shoes,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ilvi.com/en/varius-grey-leather-mens-moccasin-13724>. [Erişildi: 01. 01. 2024].
- [32] Timberland, “Timberland Men Boots,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.timberland.ca/en-ca/p/men/footwear-10039/mens-timberland-premium-6-inch-waterproof-boot-TB010061713?width=M>. [Erişildi: 01. 01. 2024].
- [33] Thursday Boots, “Men Desperado Cowboy Boots,” [Çevrimiçi]. Available: <https://thursdayboots.com/products/mens-desperado-square-toe-cowboy-boots-arizona-adobe>. [Erişildi: 02. 01. 2024].
- [34] Dolce Gabbana, “Men Sandals,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.dolcegabbana.com/en-us/fashion/men/shoes/sandals-and-slides/dolce-and-gabbana-calfskin-pantheon-gladiator-sandals-in-blue-A80160AV38580653.html>. [Erişildi: 02. 01. 2024].
- [35] Prada, “Nappa Leather Ballerinas,” 2023. [Çevrimiçi]. Available: [https://www.prada.com/tr/en/p/nappa-leather-ballerinas/1F037N\\_038\\_F0002\\_F\\_005](https://www.prada.com/tr/en/p/nappa-leather-ballerinas/1F037N_038_F0002_F_005). [Erişildi: 03. 01. 2024].
- [36] Prada, “Brushed Leather Pumps,” 2023. [Çevrimiçi]. Available: [https://www.prada.com/tr/en/p/brushed-leather-pumps/1I001N\\_055\\_F0002\\_F\\_085](https://www.prada.com/tr/en/p/brushed-leather-pumps/1I001N_055_F0002_F_085). [Erişildi: 03. 01. 2024].
- [37] Jimmy Choo, “Azia 95 Black Patent Leather Shoes,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://row.jimmychoo.com/en/women/shoes/azia-95/black-patent-leather-sandals--AZIA95PAT010003.html>. [Erişildi: 03. 01. 2024].
- [38] Jimmy Choo, “Black Soft Calf Leather Boots,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://row.jimmychoo.com/en/women/shoes/cece-80/black-soft-calf-leather-boots-CECE80SLQ010003.html?cgid=women-shoes>. [Erişildi: 03. 01. 2024].



- [39] Prada, “Brushed Leather Campared Boots,” 2023. [Çevrimiçi]. Available: [https://www.prada.com/tr/en/p/brushed-leather-camperos-boots/1T263N\\_055\\_F0002\\_F\\_055](https://www.prada.com/tr/en/p/brushed-leather-camperos-boots/1T263N_055_F0002_F_055). [Erişildi: 03. 01. 2024].
- [40] Prada, “Padded Leather Sandals,” 2023. [Çevrimiçi]. Available: [https://www.prada.com/tr/en/p/padded-nappa-leather-sandals/1X721M\\_038\\_F0002\\_F\\_020](https://www.prada.com/tr/en/p/padded-nappa-leather-sandals/1X721M_038_F0002_F_020). [Erişildi: 03. 01. 2024].
- [41] İ. Ökteş, Önemli Notlar, İzmir, 2003, p. 28.
- [42] G. C. W. Tyrell, Therapeutic Footwear : Chapter 4- Footwear Components and Construction Methods, 2009, p. 40.
- [43] İ. ÖTLEŞ, Handbook Footwear, İzmir: Ayakkabıcılık Mesleki Eğitim Merkezi Yayınları, 2005
- [44] A. Uzun ve H. Z. Sofuğlu, “Spor Ayakkabılarının Gelişimi ve Spordaki Etkileri,” *Sportive*, cilt 6, no. 1, pp. 40-50, 2023.
- [45] C. Kastan, “Ayakkabı Kalıbı Ölçü Sistemleri,” *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, no. 13, pp. 3-16, 2009.
- [46] D. Ünal, Ölçü Sistemleri, İstanbul, 2017, pp. 38-41.
- [47] R. Sürenkök, Konu 6: Ayağın Ölçülmesi, İzmir: üç-el Yayıncılık, 1993, pp. 146-182.
- [48] Askı Dünyası, “Askı Dünyası,” [Çevrimiçi]. Available: <https://askidunyasi.com/ahsap-tam-ayakkabi-kalibi-41-numara>. [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [49] M. Megep, Ölçü Alma Modülü, Ankara, 2013.
- [50] G. C. W. Tyrell, Therapeutic Footwear, 2009, pp. 46-48.
- [51] G. C. W. Tyrell, Therapeutic Footwear, pp. 48-49.
- [52] R. Sürenkök, Konu 2. Ayakkabının Yapısı, İzmir, 1993, pp. 39-41.
- [53] N. Akçakale, “Ayakkabı Tabanlarında Kauçuk Kullanımı,” 2016.
- [54] Hopfrög Kids, “Hopfrög Kids,” 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hopfrogkids.com>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [55] N. Demirel, “Mediatrend,” MediaMarkt, [Çevrimiçi]. Available: <https://mediatrend.mediamarkt.com.tr/cocuk-ayakkabilarinda-kullanilan-yeni-nesil-teknolojiler/>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [56] Nike, “Nike Döngüsel Tasarım Rehberi,” [Çevrimiçi]. Available: <https://circulardesign.nike.com>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [57] Nike, “2025 ve Ötesi,” 22. 06. 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.nike.com/tr/a/surdurulebilirlik-2025-hedefleri>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [58] P. Kaziur, Z. Mikołajczyk , M. Kłonowska ve B. Woźniak , “Design Methodology and Technology of Textile Footwear,” *Materials (Basel)*, cilt 19, no. 15, 2022.
- [59] M. Heide , U. Möhring , R. Hänsel , M. Stoll , U. Wollina ve B. Heinig , “Antimicrobial-finished textile three-dimensional structures,” *Curr Probl Dermatol*, cilt 33, 2006.
- [60] W. Lo , D. Wong , K. Yick , S. Ng ve J. Yip , “Effects of custom-made textile insoles on plantar pressure distribution and lower limb EMG activity during turning,” *J Foot Ankle Res*, cilt 13, no. 9, 2016.
- [61] I. Chiao, “What's the difference between genuine leather & microfiber leather? Which one is better?,” 27. 06. 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/whats-difference-between-genuine-leather-microfiber-which-isaac-chiao/>. [Erişildi: 21. 02. 2024].



- [62] X. Zhu, Q. Li, L. Wang, S. Liu, C. Wang, Z. Xu, L. Liu ve X. Qian, “Current advances of Polyurethane/Graphene composites and its prospects in synthetic leather: A review Author links open overlay panel,” *European Polymer Journal*, 2021.
- [63] M. Hulkrantz, “An overview on the environmental impacts of synthetic leather made of hemp fiber with preliminary lifecycle assessment,” 2018.
- [64] C. Henninger, A. Panayioti ve C. Oates, “What is sustainable fashion?,” *ournal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 2016.
- [65] A. Amobonye, J. Lalung, M. K. Awashti ve S. Pillai, “Fungal mycelium as leather alternative: A sustainable biogenic material for the fashion industry,” *Sustainable Materials and Technologies*, 2023.
- [66] Mylo, “Mylo,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://mylo-unleather.com>. [Erişildi: 18. 05. 2024].
- [67] A. Anam, “Pineapple leather,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ananas-anam.com>. [Erişildi: 18. 05. 2024].
- [68] Desserto, “Desserto,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://desserto.com.mx/desserto®>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [69] E. K. Dönmez, “Sürdürülebilir Tekstil Tasarımında Atık Yönetimi ve 6r Prensibinin Uygulanması,” 2019.
- [70] R. Raffaeli ve M. Germani, “Advanced computer aided technologies for design automation in footwear industry,” *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, cilt 5, 2011.
- [71] Thred., “Sürdürülebilir ayakkabı devrimi başladı, işte öncülük eden beş marka,” [Çevrimiçi]. Available: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fthred.com%2Ftr%2Fstil%2Fi%25C5%259Fte-s%25C3%25BCrd%25C3%25BCr%25C3%25BClebilir-ayakkab%25C4%25B1-devrimine-%25C3%25B6nc%25C3%25BC1%25C3%25BCK-eden-ayakkab%25C4%25B1-markalar%25C4%25B1%2F&psig=AOvVaw0\\_xccG](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fthred.com%2Ftr%2Fstil%2Fi%25C5%259Fte-s%25C3%25BCrd%25C3%25BCr%25C3%25BClebilir-ayakkab%25C4%25B1-devrimine-%25C3%25B6nc%25C3%25BC1%25C3%25BCK-eden-ayakkab%25C4%25B1-markalar%25C4%25B1%2F&psig=AOvVaw0_xccG). [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [72] A. Buxton, “Meet the World’s First Truly Biodegradable Sneakers,” *green queen*, 2022. []
- [73] Orba, “Orba Materials,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://orbashoes.eco/pages/materials>. [Erişildi: 02. 07. 2024].
- [74] Orba, “Our Materials,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://orbashoes.eco/pages/materials>. [Erişildi: 02. 07. 2024].
- [75] K. Neuber, “Forever Better,” 04. 11. 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://foreverbetter.com/en/newsroom/corporate-news/2024/19-03-2024-unfortunately-not-lot-has-changed-girls-football>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [76] Blueview Footwear, “Blueview,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://blueviewfootwear.com>. [Erişildi: 2 Temmuz 2024].
- [77] Business Wire, “No Time for Waste,” 04. 11. 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20211104005105/en/No-Time-for-Waste-PUMA-pilots-testing-for-biodegradable-RESUEDE-version-of-its-most-iconic-sneaker>. [Erişildi: 02. 07. 2024].
- [78] E. Team, “Is Hemp or Bamboo Clothing More Sustainable?,” 27. 01. 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://ecotero.com/is-hemp-or-bamboo-clothing-more-sustainable/>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [79] Well Fabric, “Hemp Cotton Fabric: Blend of Sustainability – Comfort,” 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://wellfabric.com/what-is-hemp-cotton-fabric/#>. [Erişildi: 04. 08. 2024].

- [80] B. Eser, P. Çelik , A. Çay ve D. Akgümüş, “Tekstil Ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları,” *Tekstil ve Mühendis*, cilt 23, no. 101, pp. 43-60, 2016.
- [81] SMART , “SMART (Secondary Materials and Recycled Textiles),” 27. 03. 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.smartasn.org/advocacy/>. [Erişildi: 04. 01. 2024].
- [82] Leather Working Group, “Leather Working Group,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.leatherworkinggroup.com>. [Erişildi: 02. 07. 2024].
- [83] LWG, “LWG,” 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.leatherworkinggroup.com>. [Erişildi: 02. 07. 2023].
- [84] Çevre Sıfır Atık, “Tekstil-Ayakkabı Kumbarası,” [Çevrimiçi]. Available: <https://cevresifiratik.com/tekstil-ayakkabi-kumbarasi/>. [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [85] Mert Lostra, “Mert Lostra,” [Çevrimiçi]. Available: <https://mertlostra.com/wp-content/uploads/2021/02/lostra.jpg>. [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [86] A. Eryeşil, “Sürdürülebilir Tüketim Bağlamında Lostra İşletmeleri Üzerine Bir İnceleme,” *Toplum ve Ekonomi ve Yönetim Dergisi*, cilt 4, no. 2, pp. 181-196, 2023.
- [87] Scientific Applications International Corporation , “Life Cycle Assesment: Principles And Practice,” Mayıs 2006.
- [88] Hepsiburada, “Deri Çeşitleri ve Deriler için Bakım Tüyoları,” [Çevrimiçi]. Available: <https://images.app.goo.gl/2Xc1V1bPop8Zwadi6>. [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [89] Kalaylı Tekstil, “Kalaylı Tekstil 2021 Öne Çıkan Kumaş Modelleri,” 2021. [Çevrimiçi]. Available: <https://kalaylitekstil.com/blog-detay/2021-one-cikan-kumas-modelleri>. [Erişildi: 28. 01. 2024].
- [90] F.P. AŞ., “Tekstil Hammaddeleri AB ve Türkiye 2021,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffilofibra.com.tr%2Ftr%2Fblog%2Ftekstil-hammaddeleri-bitkisel-lifler-ab-turkiye-ihracat-2021&psig=AOvVaw31j4aEgIdR0by-qb3NVCWr&ust=1706538329045000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjhxqFwoTCLDKuuq>. [Erişildi: 28. 01. 2024].
- [91] Akar Textile, “Üretim,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.akartextile.com/uretim/>. [Erişildi: 28. 01. 2024].
- [92] D. Eylül, “Tekstil sektöründe kriz! Üretim ve istihdam gün geçtikçe düşüyor,” [Çevrimiçi]. Available: [https://www.dokuzeylul.com/tekstil-sektorunde-kriz-uretim-ve-istihdam-gun-gectikce-dusuyor#google\\_vignette](https://www.dokuzeylul.com/tekstil-sektorunde-kriz-uretim-ve-istihdam-gun-gectikce-dusuyor#google_vignette). [Erişildi: 28. 01. 2024].
- [93] Özel Rumeli Hastanesi, “Spor Ayakkabı Seçiminde Nelere Dikkat Edilmeli?,” [Çevrimiçi]. Available: <https://rumelihospital.com.tr/saglik-rehberi/ortopedi-ve-travmayoloji/spor-ayakkabi-seciminde-nelere-dikkat-edilmeli/>. [Erişildi: 28. 01. 2024].
- [94] Amazon, “Bolognifi Erkek Futbol Kramponları- Çim, İç Mekan ve Dış Mekan Kullanımı için Yüksek Top Futbol Ayakkabıları - Gençlik Oyunu Eğitim Spor Ayakkabıları,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.amazon.com.tr/Bolognifi-Erkek-Futbol-Kramponları-Ayakkabıları/dp/B0C58MFW2W>. [Erişildi: 28. 01. 2024].
- [95] iStock Photo, “Ev bina yakın çöp kapağı üzerinde iyi durumda eski Adidas spor ayakkabıları çifti. Eski ayakkabılar yeni bir sahibi bekliyor,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.istockphoto.com/tr/fotoğraf/ev->

- bina-yakın-çöp-kapağı-üzerinde-iyi-durumda-eski-adidas-spor-ayakkabıları-çifti-gm1147398583-309487890. [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [96] Ada Chemical, “Nanoteknolojik Ürünler Kimyasal Grubu,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.adachemical.com/nanoteknolojik-urunler/kimyasal-grubu/>. [Erişildi: 05. 06. 2024].
- [97] International Organization for Standardization, “ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework,” International Organization for Standardization, 2006.
- [98] G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. P. Schmidt, S. Suh, B. Weidema ve D. Pennington, “Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications,” *ScienceDirect*, 2003.
- [99] G. Finnveden, M. Hauschild, T. Ekvall, J. Guinee, M. Heijungs, S. Hellweg, A. Koehler, D. Pennington ve S. Suh, “Recent Developments in Life Cycle Assessments,” *Science Direct*, cilt 9, no. 1, pp. 1-21, 2009.
- [100] J. Guinee, “Operational Guide to the ISO Standards. Springer Science & Business Media,” %1 içinde *Handbook of Life Cycle Assesment*, 2002, pp. 311-313.
- [101] M. Hauschild, “Identifying Best Practice in Life Cycle Impact Assessment,” *International Journal of Life Cycle Assesment*, cilt 23, no. 2, pp. 164-176, 2018.
- [102] M. A. Curran, “Life cycle assessment in the agri-food sector: case studies, methodological issues, and best practice,” *International Journal of Life Cycle Assesments*, 2015.
- [103] H. David, “Life Cycle Assessment of a Resource Recovery System: Gasification Combined with Organic Rankine Cycle.,” *International Journal Of Life Cycle Assesments*, cilt 13, no. 3, pp. 210-220, 2008.
- [104] R. Sürenkök, Konu:4 Ayağın Yapısı, İzmir: Üç-el Yayıncılık, 1993, pp. 100-105.
- [105] İ. Chiao, “What's the difference between genuine leather & microfiber leather? Which one is better?,” 27. 06. 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/whats-difference-between-genuine-leather-microfiber-which-isaac-chiao/>. [Erişildi: 21. 02. 2024].
- [106] Aymakop, “Ayakkabı Üretimi,” [Çevrimiçi]. Available: <https://images.app.goo.gl/hNZRwsTQV6AFY38H8>. [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [107] Vlone, “Kahve Hakiki Deri Bağcıklı Erkek Klasik Ayakkabı,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.vlone.com/vlone-126-06-kahve-hakiki-deri-bagcikli-erkek-klasik-ayakkabi-ayakkabi-1315-25-B.jpg>. [Erişildi: 27. 01. 2024].
- [108] Hürriyet, “Atacama Çölü’nde dev çöplük,” [Çevrimiçi]. Available: <https://www.hurriyet.com.tr/video/atacama-colunde-dev-copluk-41935846>. [Erişildi: 28.01.2024].

## Yeşil Altyapı Sistemlerinin Hidrolojik/Hidrolik ve Su Kalitesi Modeli ile Performansının İncelenmesi: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü Örneği

Orkun Aydın<sup>1</sup> , Selin Emir<sup>1</sup> , Selen Emir<sup>1</sup> , Ecem Güney<sup>2</sup> , Elif Naz Coşkun<sup>2</sup> , Zeynep Aydın<sup>2</sup> , Ecem Yıldız<sup>1</sup> , Yasemin Kaya<sup>2</sup> , Sezar Gülbaz<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

\*sezarg@iuc.edu.tr

### Özet

Yoğun kentleşme, yüzeysel akış miktarının artmasına, yüzeyde toplanan suyun kirlenmesine ve bunun sonucunda su kalitesinin azalmasına neden olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin azaltılması için Yeşil Altyapı Sistem bileşenleri kullanılmaktadır. Yeşil Altyapı Sistemleri yüzeysel akışın pik debisini ve miktarını azaltan, aynı zamanda kirlenici konsantrasyonunu düşürerek su kalitesini iyileştiren doğal yöntemlerdir. Özellikle, kentsel alanlarda yağmur suyu özelinde uygulanan yeşil altyapı uygulamaları aynı zamanda Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamaları olarak isimlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, DEK uygulamalarının yüzeysel akış miktarına ve su kalitesine etkisi incelenmiştir. Bu çerçevede ilk olarak Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli (EPA-SWMM) bilgisayar programı kullanılarak İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü'ne ait hidrolojik-hidrolik ve su kalitesi modeli oluşturulmuştur. DEK uygulamalarının bulunduğu ve bulunmadığı modeller karşılaştırılarak, yeşil altyapı sistemlerinin yüzeysel akış debisini azaltmadaki, su kalitesini iyileştirmedeki performansı incelenmiştir. Karşılaştırma sonucunda çalışma alanına tanımlanan DEK uygulamalarının, toplam yüzeysel akış miktarını ve pik debiyi azalttığı görülmüştür. Ayrıca, modele tanımlanan DEK uygulamalarının yüzeysel akıştaki kirlenici yüklerini ve pik konsantrasyonlarını azaltmada etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Düşük etkili kentleşme, Yeşil altyapı sistemleri, Epa-Swmm, Hidrolojik/Hidrolik model, Su kalitesi modeli, Taşkın, Yüzeysel akış

## Investigation of the Green Infrastructure Performance via Hydrologic/Hydraulic and Water Quality Model: A Case Study of Istanbul University-Cerrahpaşa Büyükçekmece Campus

### Abstract

Heavy urbanization leads to an increase in surface runoff volume, the pollution of collected surface water, and consequently a decline in water quality. Green Infrastructure System components are used to mitigate these adverse effects. Green Infrastructure Systems are nature-friendly methods that decrease peak discharge and surface runoff quantity as well as improving water quality by decreasing pollutant concentrations. These implementations, which lessen the impacts of urbanization, are called Low Impact Development (LID). In this study, the effects of LID implementations on surface runoff quantity and water quality are examined. In this context, the Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA-SWMM) was utilized to develop the hydrologic-hydraulic and water quality model for the Istanbul University-Cerrahpaşa Büyükçekmece Campus. By comparing models with and without LID applications, the performance of green infrastructure systems in reducing surface runoff discharge and

improving water quality was investigated. The comparison revealed that the LID implementations defined for the study area reduced the total surface runoff volume and peak discharge. Additionally, it was concluded that the LID implementations defined in the model were effective in reducing pollutant loads and peak concentrations in surface runoff.

**Keywords:** Low impact development, Green infrastructure systems, Epa-Swmm, Hydrologic/Hydraulic model, Water quality model, Flood, Surface runoff

## 1. GİRİŞ

Nüfusun ve sanayi faaliyetlerinin artmasından dolayı dünyada ve ülkemizde kullanılabilir su miktarı giderek azalmaktadır ve su kaynaklarının kirlenme oranı artmaktadır. Suyun kullanımı ve tasarrufu önem kazanmakta olup yeni stratejilerle verimli ve bilinçli su kullanımı ile su kaynaklarının en iyi şekilde yönetilmesi gerekmektedir [1]. Bu kapsamda yağmur suyu hasadına yönelik sistemler sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir [2, 3]. Yağmur sularının geri kazanılıp yeniden kullanılması, temiz su kaynaklarının tükenmesini önlemeye ve yüzeysel akış hacminin kirlenmeden toplanmasını sağlayarak atıksu oluşumunu azaltmaya yönelik önemli faydalar sağlamaktadır. Modern su arıtma teknolojisinin gelişmesiyle birlikte temiz kaynak olarak kabul edilen yağmur suyu birçok kişi tarafından zamanla tanınmaya başlanmıştır ve yağmur suyu toplama ve yeniden kullanım sistemleri yaygınlaşmıştır [4]. Yağmur suyu hasadı, su tasarrufu sağlamak amacıyla; evsel, endüstriyel, tarımsal ve çevresel amaçlı talepleri karşılamak için yağmur suyunun toplanması ve kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Başta konut çatıları olmak üzere, yollar, kaldırımlar ve otoparklar gibi açık alanlardan borularla toplanan yağmur suları filtrelendikten sonra depoya alınmakta ve depolanan su; bahçe sulama, araç yıkama, temizlik işleri vb. ihtiyaçlar için kullanılabilir [5]. Artan endüstrileşme ve şehirleşme; doğal su kaynaklarının, yeşil alanların işgal edilmesini ve geçirimsiz alanların çoğalmasını beraberinde getirmiştir. Bununla birlikte, artan geçirimsiz alanlar yağmur sularının toprağa sızmasını zorlaştırmıştır [6]. Geçirimsiz yüzeyler üzerinde yağışın hızla yüzeysel akışa dönüşmesi özellikle kentsel alanlarda sel ve taşkınlara neden olmaktadır. Ayrıca, kentsel alanlarda, yüzeyde oluşan kirliliği yıkayarak su kaynaklarına taşımakta ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı, kentsel alanlarda yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın toplanması ve çeşitli mühendislik modelleriyle yönetilmesi önemlidir [7, 8]. Yeşil Altyapı Sistemlerinde, kentleşmiş bölgelerde su kalitesini iyileştirmek ve yüzeysel akışı azaltmak amacıyla uygulanan Düşük Etkili Kentleşme (DEK) uygulamaları sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Bu uygulamalar, yağmur suyunun toplanması ve ileriki süreçlerde arıtılması ile yeniden kullanıma olanak sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında Çevre Koruma Kuruluşu Yağmur Suyu Yönetim Modeli (EPA-SWMM) bilgisayar programı kullanılarak, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü'nün yağmur suyu modeli oluşturulmuştur. Daha sonra, oluşturulan modele DEK uygulamaları entegre edilmiştir. Düşük yoğunluklu yerleşim yeri, yüksek yoğunluklu yerleşim yeri, ticari alan, karayolu olmak üzere dört farklı arazi kullanımı modele tanımlanmıştır. Ayrıca, modele su kalitesini tanımlamak amacıyla Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), Askıda Katı Madde (AKM), Kurşun (Pb) ve Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) kirletici olarak tanımlanmıştır. Kirleticilere ait biriktirme ve yıkanma parametreleri modele girilmiştir. Kampüste bulunan binaların, yeşil alanların ve kaldırımların yerleşimlerine göre; yeşil çatı, biyotutma, geçirimli kaldırım, yağmur bahçesi, yağmur suyu toplama deposu, sızma hendeği olmak üzere altı farklı DEK uygulaması modele entegre edilmiştir. DEK uygulamalarının bulunduğu ve bulunmadığı modellerden alınan hidrograflar ve polutograflar karşılaştırılarak, DEK uygulamalarının yüzeysel akış miktarı ve su kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 EPA-SWMM Yağmur Suyu Yönetim Modeli

EPA-SWMM bilgisayar programı, kentsel drenaj sistemlerinde yüzey akışlarını ve kalitesini modellemek amacıyla Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) tarafından geliştirilen ücretsiz ve



açık kaynaklı bir yazılımdır [9]. Model, kentsel alanlarda drenaj sistemleri ile ilgili planlama, analiz ve tasarım için yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Ayrıca, EPA-SWMM programı, bir havza sistemi içindeki her bir alt havza alanında oluşan yüzeysel akış miktarını ve kalitesini, ayrıca her bir boru ve kanalda oluşan akış hızını, derinliğini ve kirletici konsantrasyonunu hesaplar [11]. EPA-SWMM programına sağlanan girdiler arasında yağış şiddeti, havzanın alanı, havzadaki geçirimsiz alan yüzdesi, boru ve kanalların uzunluğu, genişliği ve kesiti gibi bilgiler yer almaktadır. Programın çıktıları arasında; debinin zaman içindeki değişimi (hidrograf), havzanın hidrodinamik değişkenleri ve kirletici konsantrasyonunun zaman içindeki değişimi (pollutograf) gibi veriler yer alır [12].

EPA-SWMM içerisinde yapılan akış hesapları, kütle, momentum ve enerji korunumu prensiplerine dayanır. Yüzeysel akışı hesaplarken, yağış ve havza girişindeki su kaynakları giriş debisini, sızma, buharlaşma ve yüzeysel akış ise çıkış debisini oluşturur. Boru ve kanallarda akımı ötelemek için üniform akım, kinematik ve dinamik dalga öteleme seçenekleri vardır. Üniform akım en basit öteleme metodudur ve debi ile derinlik arasındaki ilişki Manning denklemi ile verilir. Kinematik dalga denklemi ise momentum denkleminde bulunan basınç değişimi ve ivme terimlerinin ihmal edilerek yazılmış halidir. Dinamik dalga ile ötelemede ise St. Venant denklemleri olarak bilinen denklem takımı çözülerek elde edilir. EPA-SWMM programında sızma hesabı için Entegre Horton Metodu, Green-Ampt Metodu veya SCS Eğri-Numarası Metodu olmak üzere üç farklı opsiyon vardır [13].

## 2.2 İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü Alanı

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda yer almaktadır (Şekil 1). Kampüs, 41°05'26.50" kuzey enlemi ve 28°37'14.25" doğu boylamı ile tanımlanan bir konumda bulunmaktadır. Kampüs alanı yaklaşık 18 hektardır. Kampüste; dört fakülte, iki yüksekokul, iki enstitü, uygulama ve araştırma merkezi, kız öğrenci yurdu, jeoloji müzesi, merkez kütüphanesi, otopark ve kafe/restoranların bulunduğu bir alan bulunmaktadır.

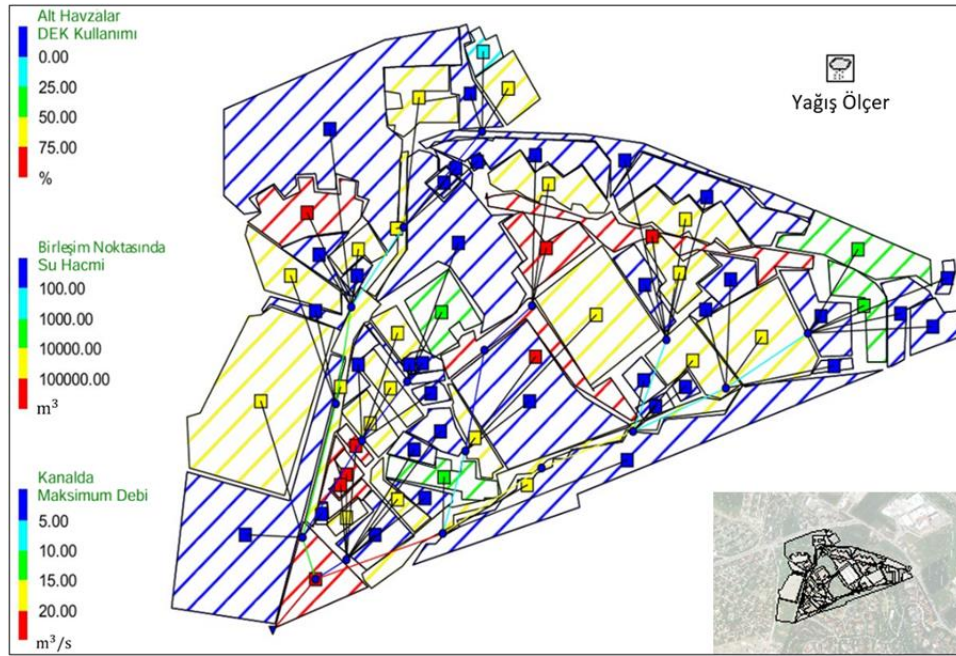


Şekil 1. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü konumu (Google Earth).



### 2.3 Hidrolojik-Hidrolik ve Su Kalitesi Modelin Oluşturulması

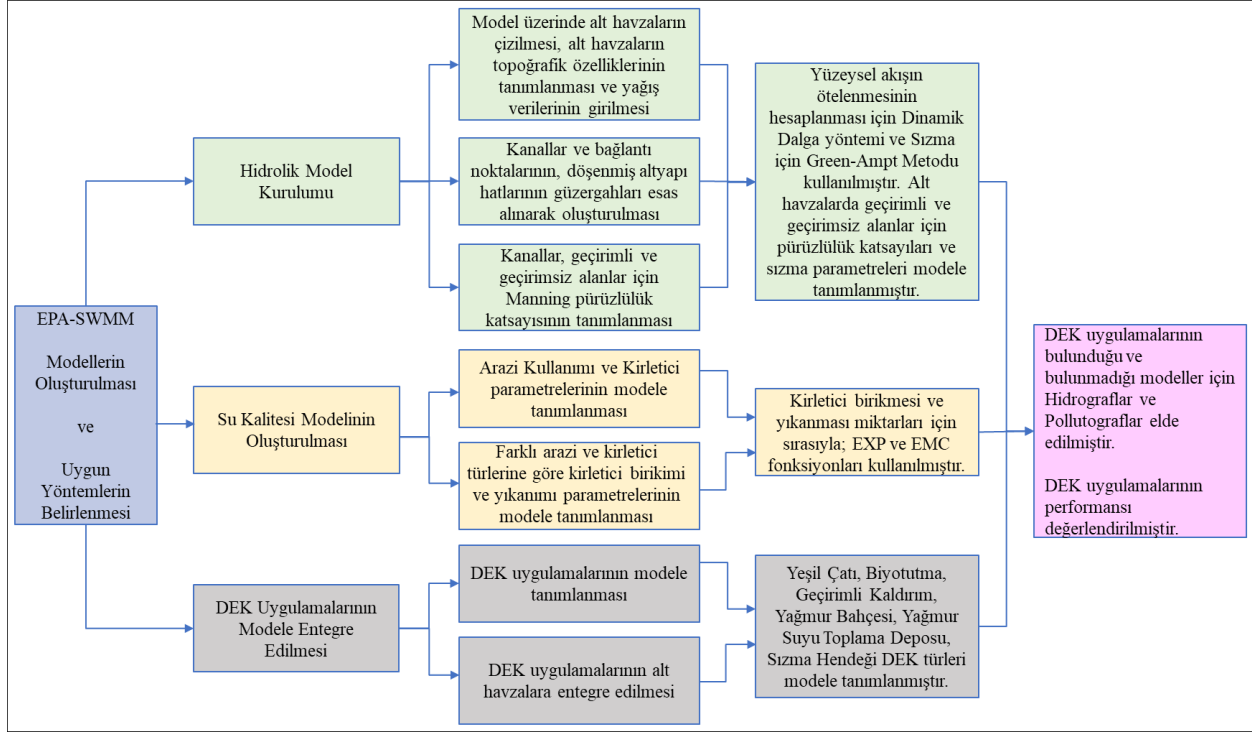
EPA-SWMM bilgisayar programında Büyükçekmece Kampüs alanının hidrolojik ve hidrolik modeli, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Yapı İşleri Daire Başkanlığı'ndan temin edilen topografik harita ve yerleşim planı kullanılarak yapılmıştır. Kampüsün hidrolojik-hidrolik modeli oluşturulurken benzer bölgeler bir alt havza oluşturacak şekilde 68 alt havzaya (subcatchments) bölünmüştür. Örneğin bir yapıya ait çatı alanı, otopark alanı veya benzer şekilde bina etrafında yer alan yeşil alan bir bütün olarak alt havza şeklinde oluşturulmuştur. Daha sonra modele bir adet yağış ölçer, 18 bağlantı noktası (junction) ve 18 kanal (conduit) tanımlanmıştır. Hidrolojik-Hidrolik modelin oluşturulması için, EPA-SWMM bilgisayar programına çalışma alanının arka plan görüntüsü yüklenmiştir. Bu görüntü kullanılarak alt havzalar oluşturulmuştur. Alt havzalar üzerinde yağış sonrası oluşan yüzeysel akış sularının toplandığı bağlantı noktaları ve mevcut altyapı hatlarının güzergahları esas alınarak bağlantı kanalları oluşturulmuştur. Bağlantı noktaları, Havza Modelleme Sistemi (WMS) programından elde edilen havzaya ait eğim, havza sınırı ve alan verileri dikkate alınarak, suyun akış yönüne göre eklenmiştir. Topografik harita kullanılarak yükselti değerleri girilmiş ve modele kanallar eklenmiştir. Ayrıca, alt havzalara ait eğim, alan, genişlik değerleri WMS'den alınarak EPA-SWMM programına aktarılmıştır. Ek olarak, kanal uzunlukları, kanal birleşim noktalarının yükselti değerleri topografik harita kullanılarak elde edilmiş ve EPA-SWMM programına tanımlanmıştır. Oluşturulan düğüm noktaları, kanallar ile birleştirilerek çıkış, mansap noktasına ulaştırılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma havzası EPA-SWMM bilgisayar programı görüntüsü

Simülasyonlar için geçmiş yıllarda İstanbul'da meydana gelen şiddetli bir yağış seçilmiştir. Bu kapsamda, Florya Meteoroloji İstasyonu'ndan 09-12 Temmuz 1995 tarihleri arasında meydana gelen şiddetli yağışa ait saatlik yağış verileri alınmış ve modele tanımlanmıştır. Hidrolik modelde yüzeysel akışın ötelenmesinin hesaplanması için Dinamik Dalga yöntemi ve hidrolojik modelde havzada meydana gelen sızma miktarı Green Ampt yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır [14, 15]. Sızma denkleminde yer alan hidrolik iletkenlik (hydraulic conductivity) ve toprağın emme basınç yükü (suction head) değerleri sırası ile 6.66 mm/sa ve 169 mm olarak havzanın zemin tipine uygun olarak seçilmiştir [16, 17]. Manning pürüzlülük katsayısı; geçirimsiz alanlar için 0.1, geçirimsiz alanlar için 0.01 ve kanallar için 0.02 alınarak programa girilmiştir [14, 18]. EPA-SWMM bilgisayar programında su kalitesi modelini geliştirmek amacıyla; kirlilik birikim (buildup) miktarını hesaplamak için eksponansiyel (EXP) fonksiyon ve yüzeysel akış ile yikanarak

(washoff) yüzey suyuna karışan kirletici miktarını hesaplamak için akış-yüklü ortalama konsantrasyon (EMC) fonksiyonu kullanılmıştır. Modele ait akış şeması Şekil 3’te verilmiştir. Parametreler, farklı arazi tiplerindeki, dört farklı kirletici tipine göre değer almaktadır. Yüzeysel akıştaki kirletici parametreleri literatürdeki değerler [9, 13, 19, 20, 21, 22] dikkate alınarak su kalitesi modeline girilmiştir.



Şekil 3. EPA-SWMM modeli akış şeması

## 2.4 Düşük Etkili Kentleşme Uygulamalarının Modele Tanımlanması

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü’ne EPA-SWMM bilgisayar programı üzerinde altı farklı DEK uygulaması tanımlanmıştır. Bu tanımlanan uygulamalardan, yeşil çatı; yapı kapsamında izolasyonu ve enerji verimliliğini artırma amacıyla, ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşürme yönünde ortaya çıkan bir DEK uygulamasıdır. Toplumsal ve çevresel yararları en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış ve tüm yüzeyi su geçirmez bir membran ile kaplanmış, bitki örtüsü tabakası eklenmiş çatılardır [23]. Sızma hendeği; çoğunlukla sulak alan olarak işlev görerek yağmur suyunu hasat etmek amacıyla kırsal ve kentsel bölgelerde kullanılmaktadır, yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu bölgelerde inşa edilmektedir [24]. Biyotutma; yüzeysel suların toprağa sızmasını sağlayarak akışı azaltma amacıyla yerel bitkiler içeren küçük çöküntü alanlarının oluşturulduğu DEK uygulamasıdır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım süreçleri bulunmaktadır [2, 25]. Yağmur suyu toplama deposu; toplu konut ve benzeri yapılarda çatı sularının hasadı için yağmur suyu biriktirmeye yarayan uygulamalardır [26]. Yağmur bahçesi; yağmur suyunun toplanması amacıyla toprakta boşluklu yapı oluşturulup geçirgen malzemelerle doldurma uygulamasıdır. Geçirgen alanın üzerine bitkilerin ekilmesi ve malç kullanımı ile tamamlanan, su tutma kapasitesi yüksek bir uygulamadır [27]. Geçirimli kaldırım; şiddetli yağışın yüzeysel akışa dönüşme oranını azaltmak amacıyla bağlantılı boşluklardan yağmur suyunun sızmasına olanak sağlayan geçirimli malzemeden yapılmaktadır. Sağladığı drenajla su kaynaklarının azalması ve kirlenmesinin önüne geçilmesine yönelik faydalı bir uygulamadır [28].

DEK uygulamalarını içeren toplam alan 50614 m<sup>2</sup>’dir. Bu alan, toplam kampüs alanının %28,1’ini oluşturmaktadır. Yeşil çatı uygulaması; bina yapısı itibarıyla uygun olan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

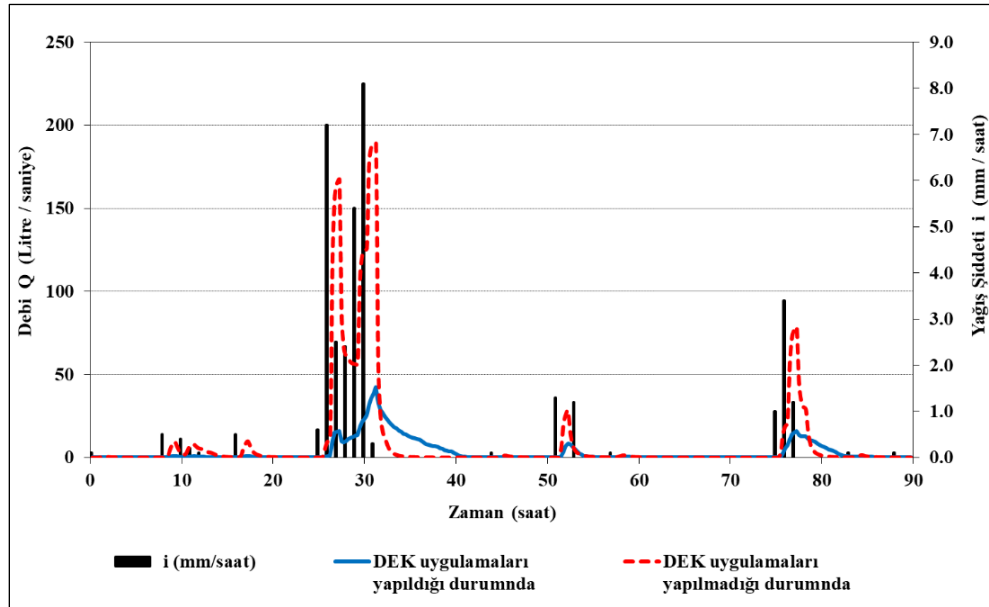
Veteriner Fakültesi, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi 15 Temmuz Şehitleri Öğrenci Yurdu başta olarak, 20 adet betonarme yapıyı kapsayacak şekilde toplam 18510 m<sup>2</sup> alana uygulanmıştır.

Mevcut bir yapıya makul seviyenin üzerinde yük getirilmemesi amacıyla toprak kalınlığı 15 cm olarak belirlenmiştir. Bir diğer DEK tipi olan biyotutma uygulaması 850 m<sup>2</sup>'lik alanda uygulanmıştır. Biyotutma uygulaması; 100 cm toprak derinliği, 50 cm bitki örtüsü yüksekliği olacak biçimde tasarlanmıştır. Kampüs içindeki yolların geçirimli olarak yenilenmesi planlanmış ve modele entegre edilmiştir. Geçirimli yol ve kaldırımlar saatte 150 mm su geçirimliliği sağlayacak ve alt katmanında 25 cm kalınlığında geçirimli olmasını sağlayacak zemin özelliklerine sahiptir. Geçirimli kaldırım DEK uygulamasının toplam alanı 22754 m<sup>2</sup>'dir.

Sızma hendeği uygulaması, Veteriner Fakültesinin ön tarafında bulunan araç ve yaya yolu üzerindeki 4200 m<sup>2</sup>'lik alana uygulanmıştır. Uygulama kolaylığı amacıyla ve çevre bitki örtüsünün incelenmesi sonucunda, bu yapının hem derinliği 50 cm hem de bitki örtüsü yüksekliği 50 cm olacak biçimde modele girilmiştir. Yağmur suyu toplama deposu uygulaması toplam 3300 m<sup>2</sup>'lik alana tanımlanmıştır. Bir deponun yüksekliği 2,5 m olarak planlanmıştır. Tanımlanan altıncı DEK uygulaması olan yağmur bahçesi, büyük yeşil alanlarda tanımlanmıştır. Yağmur bahçesi uygulamasının toplam alanı 1000 m<sup>2</sup>'dir. Derinliği 50 cm ve bitki örtüsü yüksekliği 50 cm olacak biçimde tanımlanmıştır.

### 3. BULGULAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüs alanı için kurulan model temelinde; DEK uygulamalarının bulunduğu ve bulunmadığı iki model karşılaştırılmıştır. Şekil 4'teki hiyetografa görüldüğü gibi, 26-30 saat aralıklarında şiddetli yağış gerçekleşmiştir. Yağış sonrasında, 31. saatte, havza çıkış noktasında pik debisi 189,28 L/s'ye varan yüzeysel akış debisi hidrograf üzerinde görülmüştür. DEK uygulamaları sonucunda ise yüzeysel akış pik debisi 42,36 L/s'ye düşmüştür. Uygulamalar sonucu pik debideki azalma %77,62, yüzeysel akış hacmindeki azalma %90,97 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1).

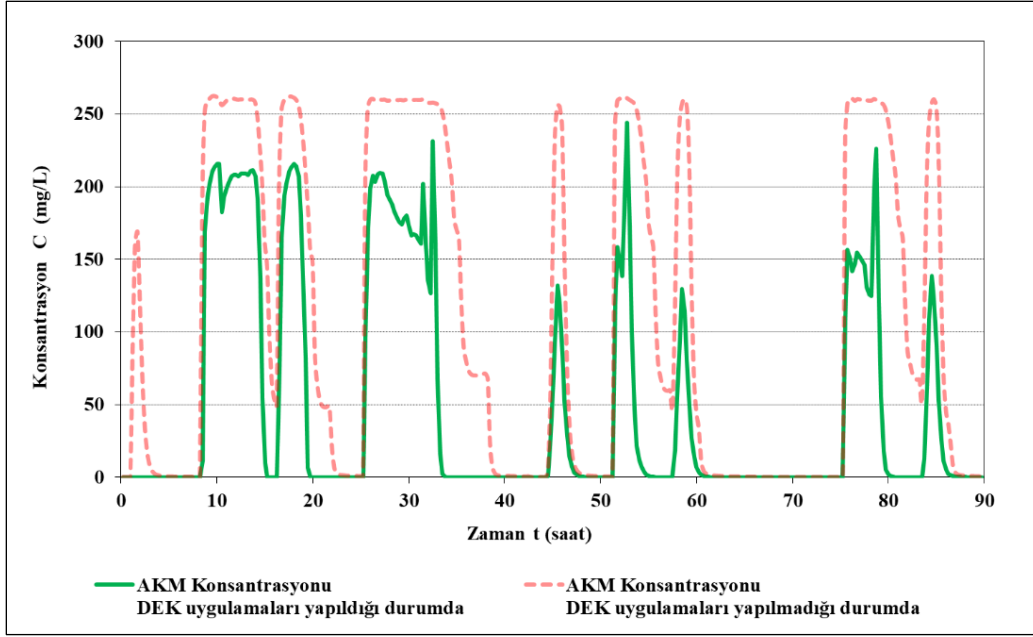


Şekil 4. 9-12 Temmuz 1995 tarihleri arasında oluşan yağışın hiyetografı ve DEK uygulamaları yapıldığı ve yapılmadığı durumlardaki yüzeysel akış hidrografı

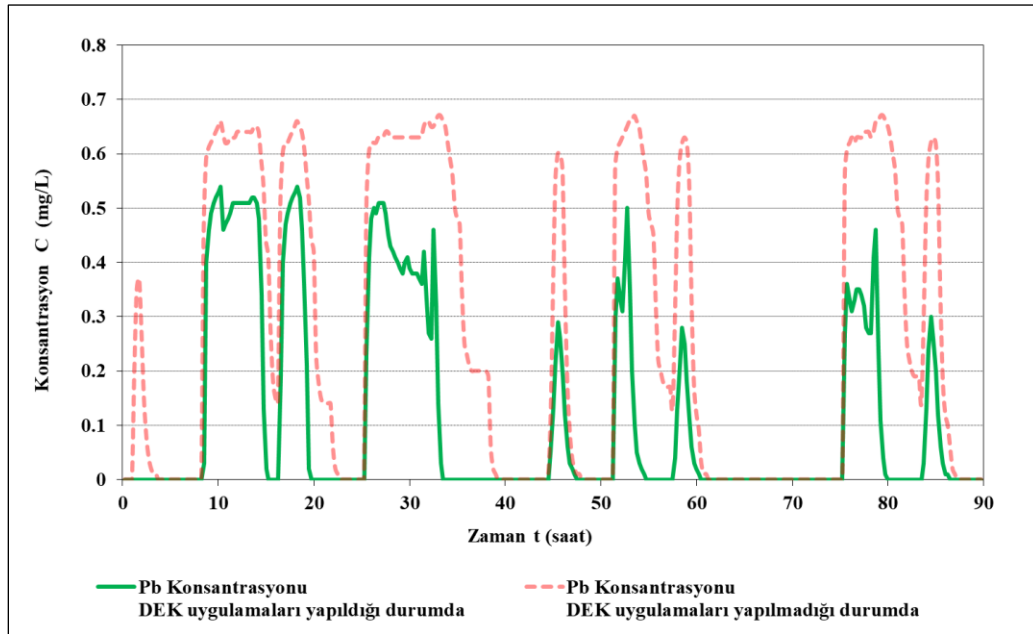
DEK uygulamaları bulunan ve bulunmayan modellerdeki konsantrasyon-zaman değişim grafikleri (pollutograf) Şekil 5, 6, 7 ve 8'de verilmiştir. DEK uygulamaları, 18 hektarlık havzanın %28,1'ine denk gelmektedir, su kalitesi modeli AKM, Pb, BOİ ve TKN olmak üzere farklı kirletici tiplerine göre

geliştirilmiştir. Altı farklı DEK uygulamasının birleşik etkileriyle, kirletici konsantrasyonlarının pik değerlerindeki düşüş %7,01 ile %19,40 arasında ve toplam kirletici yükü miktarlarında olan azalma %84,55 ile %86,00 arasında bulunmuştur.

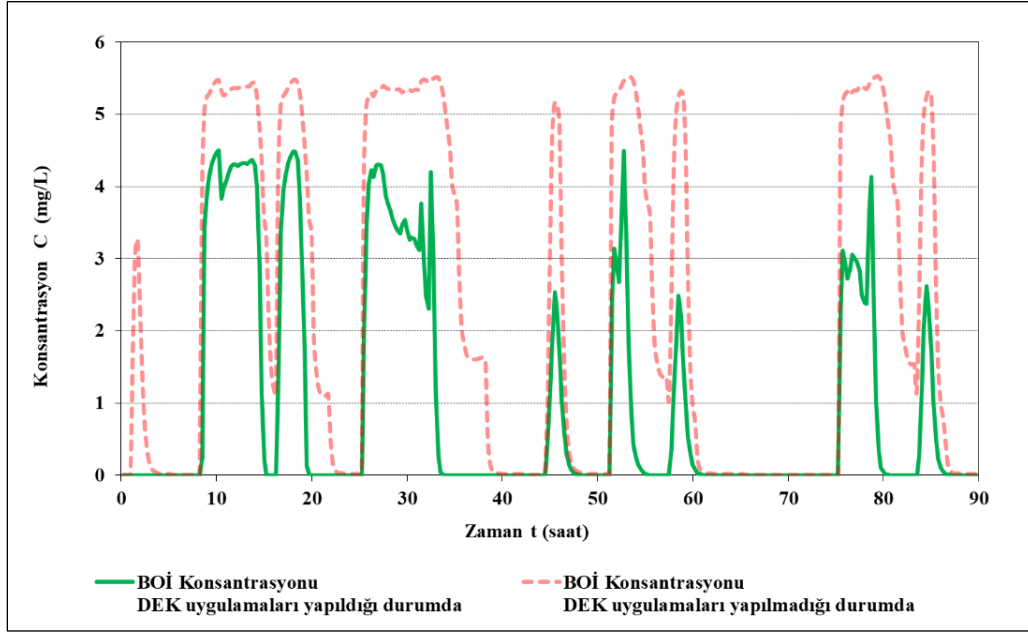
Bulgular sonucunda Tablo 1 ve 2’de yapılan karşılaştırmalar ile; Yeşil Altyapı Sistem bileşenlerinin yüzeysel akış miktarını düşürmedeki ve su kalitesini iyileştirme yönündeki performansı gösterilmiştir.



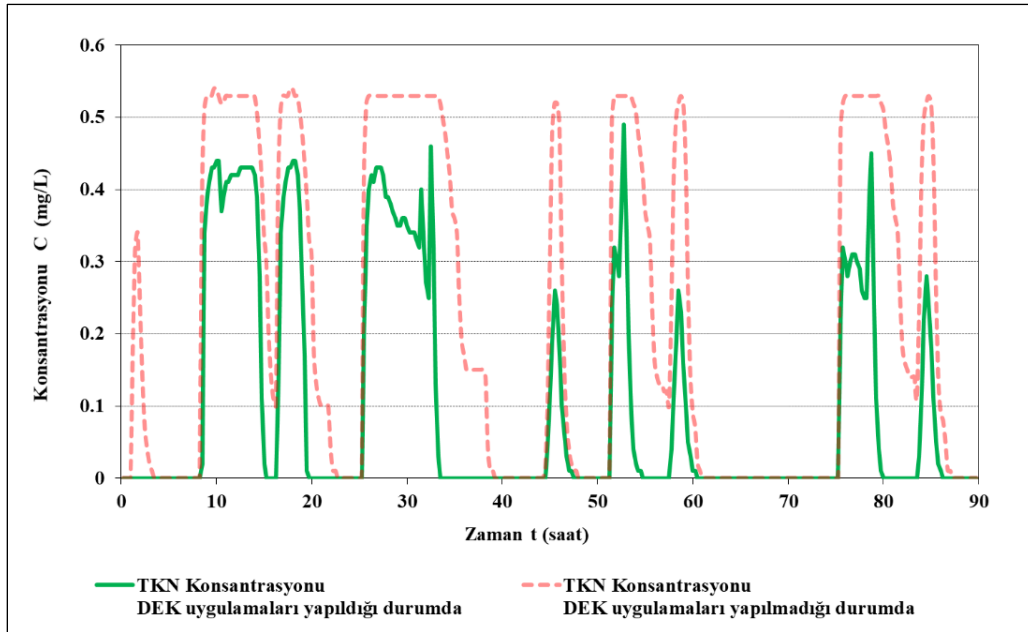
Şekil 5. DEK uygulamaları yapıldığı ve yapılmadığı durumlardaki AKM pollutografları



Şekil 6. DEK uygulamaları yapıldığı ve yapılmadığı durumlardaki Pb pollutografları



Şekil 7. DEK uygulamaları yapıldığı ve yapılmadığı durumlardaki BOİ pollutografları



Şekil 8. DEK uygulamaları yapıldığı ve yapılmadığı durumlardaki TKN pollutografları

Tablo 1. Yüzeysel akış hacminin ve pik debisinin, DEK uygulamaları yapıldığı ve yapılmadığı durumlardaki değerlerinin karşılaştırılması.

Parametre:	DEK uygulamaları yapılmadığı durumda Pik Debi (L/s)	DEK uygulamaları yapıldığı durumda Pik Debi (L/s)	Pik Debinin Azalma Yüzdesi (%)	Toplam Yüzeysel Akış Hacminin Azalma Yüzdesi (%)
Yüzeysel Akış	189.28	42.36	77.62	90.97



Tablo 2. Yüzeysel akıştaki kirlenici yükü miktarlarının ve pik konsantrasyonlarının, DEK uygulamaları yapıldığı ve yapılmadığı durumlardaki değerlerinin karşılaştırılması.

<b>Kirleniciler</b>	<b>DEK uygulamaları yapılmadığı durumda Pik Konsantrasyon (mg/L)</b>	<b>DEK uygulamaları yapıldığı durumda Pik Konsantrasyon (mg/L)</b>	<b>Pik Konsantrasyonlarının Azalma Yüzdesi (%)</b>	<b>Toplam Kirlenici Yükü Miktarının Azalma Yüzdesi (%)</b>
<b>AKM</b>	262.53	244.11	7.01	84.55
<b>Pb</b>	0.67	0.54	19.40	86.00
<b>BOİ</b>	5.52	4.50	18.48	85.49
<b>TKN</b>	0.54	0.49	9.26	84.76

## 5. TARTIŞMA

DEK uygulamaları havza ölçeğinde yapıldığı zaman, havza alanının büyük olması nedeniyle bir havzanın %1-5 gibi küçük bir alanını kaplayacak şekilde uygulanabilmektedir. Dolayısıyla, DEK uygulamalarının su miktarına ve kalitesine olan etkisi için elde edilen sonuçlar genellikle düşük çıkmaktadır. Çalışmamız kapsamında yaklaşık 18 hektar alana sahip Büyükçekmece Kampüsü alanı modellenmiş ve bu alan için 50614 m<sup>2</sup> alana DEK uygulaması planlanmıştır. Dolayısıyla, planlanan DEK alanının kampüs alanına oranı %28,1 olarak hesaplanmıştır. Bu oran havza çalışmalarına kıyasla büyük bir oran olmasına rağmen kampüs ölçeğinde yapılması makul bir planlamadır. Kampüs alanında yer alan her binanın çatısından toplanan yağmur suyu yağmur tankına aktarıldığı için ve ayrıca diğer DEK türleri de aktif olarak yüzeyde toplanan yağmur suyunu kendilerine has teknikler ile depoladığı ve sızmayı arttırdığı için yüzeysel akış debisinin ve miktarının ciddi oranda azaldığı görülmüştür. Kampüs alanının küçük olması ve uygulanan DEK uygulamalarının sayısının ve türlerinin fazla olması nedeniyle sonuçlarda elde edilen azalma yüzdeleri yüksek çıkmıştır. Çıkan sonuçlar literatürde yer alan diğer sonuçlar ile karşılaştırılmış ve sonuçlar bu kapsamda yorumlanmıştır.

Gülbağ vd., (2019) tarafından yapılan benzer bir çalışmada 133 hektar büyüklüğündeki İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar Kampüsü için bir model geliştirilmiştir [9]. Geliştirilen modelde, %7,65 DEK uygulamaları sonucu havzada pik debideki azalmanın %27 olduğu görülmüştür [9]. Ayrıca, Askıda Katı Madde Konsantrasyonunda (AKM) %33 ve Kurşun (Pb) konsantrasyonunda %36 oranında azalma görülmüştür. Gülbağ ve Kazezyılmaz-Alhan (2014) Sazlıdere Havzasının 40 km<sup>2</sup>'lik belirli kısmı için hidrolojik/hidrolik modelini, birleşik DEK uygulamalarının havzada kullanım oranı %3 olacak şekilde geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, havzadaki pik debideki azalmayı %13,3 ve toplam yüzeysel akış hacmindeki azalmayı %13,4 olarak bulmuşlardır [13]. Frias ve Maniquiz-Redillas (2021) yaptıkları çalışmada De La Salle Üniversitesi Laguna Kampüsü'nün yağmur suyu yönetim modelini geliştirmişlerdir [29]. Yaptıkları modelde, üniversite kampüsünü 24.13 hektar, 10.18 hektar ve 4.34 hektar olmak üzere üç alt havzaya bölmüşlerdir. Havzaya; biyotutma, sızma hendeği, yağmur bahçesi, yeşil çatı, geçirimli kaldırım, yağmur suyu toplama deposu, bitkisel kanal, üstçatı ayrımı olmak üzere sekiz DEK uygulamasını model üzerinde tanımlamışlardır. DEK uygulamalarının bulunduğu ve bulunmadığı modelleri karşılaştırmış ve farklı senaryolar üretmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonunda, yüzeysel akışın en fazla azaldığı senaryonun; %87 azalma ile 24,13 hektar büyüklüğünde olan en büyük alt havzaya ait olduğunu bulmuşlardır [29]. Gülbağ ve Kazezyılmaz-Alhan (2019) tarafından Alibeyköy havzasında yapılan çalışmada, farklı DEK uygulamalarına yer verilmiş ve DEK uygulamalarının tekil etkileri ve birleşik etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada, 161 km<sup>2</sup> havza alanına %5 oranında DEK uygulamaları



tanımlanmıştır. Modellemeler sonucunda, DEK uygulamalarının birleşik etkileriyle beraber AKM pik konsantrasyonunda %26 oranlarında azalma gözlemlenmiştir [19]. Ayrıca, Gülbaz ve Kazezyılmaz-Alhan (2014) Sazlıdere havzasının belirli kısmı için su kalitesi modelini geliştirmişler ve havzadaki AKM konsantrasyon değerinde azalmayı %17,33 bulmuşlardır [13]. Ek olarak, Jia vd., (2015); Liu vd., (2015); Gehenau vd., (2015) yaptıkları çalışmalarda, bir DEK uygulamasının farklı kirleticilere karşı su kalitesini iyileştirmedeki veriminin değişkenlik göstereceğini belirtmişlerdir [30-32]. Bu çalışmada ise; AKM, PB, BOİ ve TKN kirleticilerinin, altı farklı DEK uygulamasının birleşik etkileri sonucu, toplam kirletici yükü miktarlarındaki azalma oranını yüksek ve birbirine yakın oranlarda bulunmuştur (Tablo 1 ve 2).

Benzer çalışmalardaki; Avcılar Kampüs alanının ve Sazlıdere Havza alanının, bu çalışmada modellenen Büyükçekmece Kampüsü'nden çok daha büyük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Laguna Kampüsü'ndeki 3 adet alt havzanın Büyükçekmece Kampüs alanını ile yakın büyüklükte olduğu görülmüştür. Literatürden elde edilen sonuçlar ile bu çalışma kapsamında yapılan çalışma sonuçları karşılaştırıldığında, Frias ve Maniquiz-Redillas (2021) tarafından yapılan çalışmada büyük olan alt havzanın, DEK uygulamaları sonucu %87 ile yüksek seviyede yüzeysel akış miktarını azaltma oranına sahip olduğu görülmüştür. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü'nde pik debideki azalma oranının da benzer şekilde %90,97 olması, bu iki çalışmada birbirine yakın oranlar elde edildiğini göstermektedir. İkinci olarak ise Gülbaz vd., (2019) ve Gülbaz ve Kazezyılmaz-Alhan (2014) tarafından yapılan çalışmalardaki yüzeysel akış pik debi değerlerindeki azalma oranlarının, Büyükçekmece Kampüsü'nde elde edilen pik debi değerlerindeki azalma oranlarından göreceli olarak daha düşük olması; Büyükçekmece Kampüsü'nün daha küçük bir alana sahip olması ve DEK uygulamalarının tanımlanma oranının daha yüksek olmasından kaynaklı olduğu görülmektedir. Göz önüne alınan bu iki durumdan yola çıkılarak, DEK uygulamalarının küçük havzalarda ve daha yüksek oranda uygulanması durumunda, yüzeysel akış debisini düşürmede daha yüksek performans sergileyebileceği, ancak DEK uygulamalarının kullanım yüzdesine bağlı olarak, gözlemlenen performansın değişkenlik göstereceği anlaşılmaktadır.

## 6. SONUÇ

Bu çalışma, dünyada kentleşme sürecinin hızla devam etmesinden ötürü geçirimsiz alanların artışına dikkat çekmektedir. Yoğun kentleşmeyle birlikte geçirimsiz alanların artışı, su baskını ve taşkın riskini artırmaktadır. Aynı zamanda, temiz su kaynakları düzensiz şehirleşmeden dolayı kirlenmektedir. Yapılan çalışmada, gösterilen bu sorunlar karşısında yeşil altyapı sistemlerinin su kalitesini korumadaki önemi ifade edilmektedir.

Araştırma ve modelleme kapsamında; EPA-SWMM bilgisayar programı kullanılarak İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü için Hidrolik-Hidrolojik ve Su Kalitesi Modeli geliştirilmiştir. Oluşturulan model temelinde; ilk olarak modele DEK uygulamaları tanımlanmazken, daha sonra modele uygun bölgelerde yeşil çatı, sızma hendeği, biyotutma ve geçirimli kaldırım, yağmur bahçesi, yağmur suyu depolama deposu olmak üzere altı farklı DEK uygulaması tanımlanmıştır. DEK uygulamaları bulunan ve bulunmayan modellerdeki sonuçlar karşılaştırılarak; yüzeysel akış debisindeki ve AKM, Pb, BOİ, TKN kirletici konsantrasyonlarındaki değişimler gözlemlenmiştir. Modellemeler sonucunda, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Büyükçekmece Kampüsü'ne tanımlanan %28,1 oranındaki DEK uygulamalarının; yüzeysel akış hacminde ve pik debisinde sırasıyla %90,97 ve %77,62 oranında azalmaya; kirletici yükü miktarlarında ve pik konsantrasyonlarında sırasıyla %84,55 ile %86,00 arasında ve %7,01 ile %19,40 arasında olmak üzere önemli ölçüde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Literatürde yer alan benzer çalışmalar ile karşılaştırmalar sonucu; havza büyüklüğünün, DEK uygulamalarının havzaya tanımlanma yüzdesinin, DEK uygulamalarının çeşitliliğinin ve birleşik etkilerinin su miktarı ve kalitesinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak Yeşil Altyapı Sistemlerinin, literatürde bulunan benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında yüzeysel akışı düşürmedeki ve su kalitesini iyileştirmedeki performansının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada yer alan bulgular doğrultusunda; DEK uygulamalarının şehir planlamalarında yaygın bir şekilde

kullanılarak ve yerel yönetimlerin Yeşil Altyapı Sistemlerini önceliklendirerek, sürdürülebilir çevre oluşumuna katkı sağlaması önerilmektedir.

## 7. TEŞEKKÜR BÖLÜMÜ

Bu çalışmada kullanılan yerleşim planının ve topografik haritanın temini hususunda İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Yapı İşleri Daire Başkanlığı'na ve yağış verilerinin temini hususunda T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (DMİ) teşekkürlerimizi sunuyoruz.

## REFERANSLAR

- [1] S. Gülbaz and C. M. Kazezyılmaz-Alhan, "Düşük etkili kentleşme uygulaması: Biyotutmanın hidrolojik performansının deneysel modellerle araştırılması," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 23, no. 9, pp. 1041-1048, Dec. 2017, doi: 10.5505/pajes.2017.54531.
- [2] H. Baycan, M. N. Ciner, C. Gök, İ. B. Peker, and S. Gülbaz, "Flood Modeling of Ezine and Ayancik Stream Watersheds in Western Black Sea Basin Turkey," *14th International Conference on Hydroscience and Engineering*, İzmir, Türkiye, 26-27 May 2022, pp. 623-627.
- [3] K. Von Grebmer, C. Ringler, M. W. Rosegrant, T. Olofinbiyi, D. Wiesmann, H. Fritschel, O. Badiane, M. Torero, Y. Yohannes, J. Thompson, C. von Oppeln, and J. Rahall, "2012 Global hunger index: The challenge of hunger: Ensuring sustainable food security under land, water, and energy stresses," Bonn, Germany; Washington D.C., USA; and Dublin, Ireland: *Deutsche Welthungerhilfe, International Food Policy Research Institute (IFPRI), and Concern Worldwide*, Oct. 2012, doi: 10.2499/9780896299429.
- [4] X. Liu, Z. Ren, H. Ngo, X. He, P. Desmond, and A. Ding, "Membrane technology for rainwater treatment and reuse: A mini review," *Water Cycle*, vol. 2, pp. 51-63, 2021, doi: 10.1016/j.watcyc.2021.08.001.
- [5] G. E. Üstün, T. Can, and G. Küçük, "Binalarda yağmur suyu hasadı," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 25, no. 3, pp. 1593-1610, Dec. 2020, doi: 10.17482/uumfd.765561.
- [6] W. He, X. Lin, Z. Shi, J. Yu, S. Ke, X. Lu, Z. Deng, Y. Wu, L. Wang, Q. He, and J. Ma, "Nutrient removal performance and microbial community analysis of amended bioretention column for rainwater runoff treatment," *Journal of Cleaner Production*, vol. 374, 133974, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133974.
- [7] S. Gülbaz, and C. M. Kazezyılmaz-Alhan, "Impact of land use/cover changes on water quality and quantity in a calibrated hydrodynamic model," *10th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2012)*, Türkiye, 2012.
- [8] S. Gülbaz, C. M. Kazezyılmaz-Alhan, R. Nas, and M. Dikici, "A calibrated hydrological model for Alibeyköy Watershed in Istanbul, Turkey, incorporating LID implementation," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 26, pp. 6112-6120, 2017.
- [9] S. Gülbaz, A. Yıldırım, and C. M. Kazezyılmaz-Alhan, "A water quality-quantity model for Avcılar Campus of Istanbul University incorporating LID implementation," *New Trends in Urban Drainage Modelling (UDM 2018)*, Palermo, Italy, 23-26 Sep. 2018, pp. 688-692, doi: 10.1007/978-3-319-99867-1\_119.
- [10] J. Gironás, L. Roesner, L. Rossman, and J. Davis, "A new applications manual for the Storm Water Management Model (SWMM)," *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, pp. 813-814, June 2010, doi: 10.1016/j.envsoft.2009.11.009.

- [11] W. C. Huber and R. E. Dickinson, "Storm Water Management Model Version 4 User's Manual," Athens, GA: *Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency*, EPA/600/S3-88/001, Aug. 1988.
- [12] S. Gülbaz, and C. M. Kazezyılmaz-Alhan, "Investigating effects of low impact development on surface runoff and TSS with a calibrated hydrodynamic model," *La Houille Blanche*, vol. 3, pp. 77-84, June 2014, doi: 10.1051/lhb/2014031.
- [13] L. A. Rossman, "Storm Water Management Model User's Manual Version 5," *Water Supply and Water Resources Division, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency*, EPA/600/R-05/040, Cincinnati, OH, July 2010.
- [14] L. Rossman and W. Huber, "Storm Water Management Model Reference Manual Volume I Hydrology," *U.S. EPA, Office of Research and Development*, Washington, DC, EPA/600/R-15/162A, Sep. 2015.
- [15] L. Rossman, "Storm Water Management Model Reference Manual Volume II – Hydraulics," *U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, DC, EPA/600/R-17/111, Aug. 2017.
- [16] S. Gülbaz and C. M. Kazezyılmaz-Alhan, "Calibrated hydrodynamic model for Sazlıdere watershed in Istanbul and investigation of urbanization effects," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 75–84, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000607.
- [17] S. Gülbaz, "Yağış-havza-biyotutma sisteminin hidrolojik-su kalitesi modellenmesi ve deneysel olarak incelenmesi," Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [18] R. McCuen, "Hydrology," *Federal Highway Administration (FHWA)*, FHWA-SA-96-067, Washington, DC, USA, 1996.
- [19] S. Gülbaz and C. M. Kazezyılmaz-Alhan, "Impact of LID Implementation on Water Quality in Alibeyköy Watershed in Istanbul, Turkey," *Environmental Processes*, vol. 5, June 2018, doi: 10.1007/s40710-018-0318-3.
- [20] M. H. Mohammed, H. M. Haider, and W. H. Hassan, "Modeling the quality of sewage during the leaking of stormwater surface runoff to the sanitary sewer system using SWMM: A case study," *AQUA - Water Infrastructure Ecosystems and Society*, vol. 71, no. 1, pp. 86-99, Jan. 2022, doi: 10.2166/aqua.2021.227.
- [21] L. U. Murphy, T. A. Cochrane, and A. O'Sullivan, "Build-up and wash-off dynamics of atmospherically derived Cu, Pb, Zn, and TSS in stormwater runoff as a function of meteorological characteristics," *Science of The Total Environment*, vol. 508, pp. 206–213, March 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.11.094.
- [22] D. Wicke, T. A. Cochrane, and A. O'Sullivan, "Build-up dynamics of heavy metals deposited on impermeable urban surfaces," *Journal of Environmental Management*, vol. 113, pp. 347-354, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.jenvman.2012.09.005.
- [23] N. Tohum, "Sürdürülebilir peyzaj tasarım aracı olarak yeşil çatılar," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [24] K. E. Saracoglu and C. M. Kazezyılmaz-Alhan, "Determination of grass swale hydrological performance with rainfall-watershed-swale experimental setup," *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 28, no. 3, 04022043, Dec. 2023, doi: 10.1061/jhyeff.heeng-5824.

- [25] C. Küp, "Üniversite kampüsünde biyotutma sistemlerinin kirletici giderimi için saha performansının incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trakya, Türkiye, 2022.
- [26] M. Y. Kılıç and M. N. Abuş, "Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı," *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, vol. 4, no. 2, pp. 209-217, Dec. 2018, doi: 10.24180/ijaws.426795.
- [27] M. Scholz and P. Grabowiecki, "Review of permeable pavement systems," *Building and Environment*, vol. 42, no. 11, pp. 3830-3836, Nov. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.11.016.
- [28] Ö. B. Topçu, B. Felekoğlu, and B. Çaylak, "Agrega kökeni, agregaçimento oranı ve ince malzemeli agreganın kullanımının geçirimli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi üzerine bir çalışma," *Erzincan University Journal of Science and Technology*, vol. 12, no. 1, pp. 225-234, March 2019, doi: 10.18185/erzifbed.442592.
- [29] R. A. Frias and M. Maniquiz-Redillas, "Modelling the applicability of low impact development (LID) technologies in a university campus in the Philippines using Storm Water Management Model (SWMM)," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1153, 012009, 23-25 Jan. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1153/1/012009.
- [30] H. F. Jia, X. W. Wang, C. P. Ti, Y. Y. Zhai, R. Field, A. N. Tafuri, H. H. Cai, and S. L. Yu, "Field monitoring of a LID-BMP treatment train system in China," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 187, no. 6, pp. 373, May 2015, doi: 10.1007/s10661-015-4595-2.
- [31] Y. Z. Liu, V. F. Bralts, and B. A. Engel, "Evaluating the effectiveness of management practices on hydrology and water quality at watershed scale with a rainfall-runoff model," *Science of The Total Environment*, vol. 511, pp. 298-308, April 2015, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.077.
- [32] N. Geheniau, M. Fuamba, V. Mahaut, M. R. Gendron, and M. Dugue, "Monitoring of a rain garden in cold climate: Case study of a parking lot near Montreal," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 141, no. 6, 04014073, June 2015, doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000836.

## Modern Zamanlarda Türk Evinin Yeniden İnşası: Akın Evi Örneği

Suphi Saatçi<sup>1</sup>, Durmuş Baysal<sup>2\*</sup>, Serkan Akın<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mimarlık Bölümü, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

<sup>2</sup>Mimarlık Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye.

<sup>3</sup>Yüksek Mimar, İstanbul, Türkiye.

\*[durmus.baysal@iste.edu.tr](mailto:durmus.baysal@iste.edu.tr)

### Özet

Türk Evi idealinin akademik söylemde ele alınması, mimarlık alanında önemli bir tartışma konusu olarak öne çıkmaktadır. Değişen şartlara rağmen, düşük yoğunluklu olsa da Türk Evi kavramı araştırma konusu olmaya devam etmiş; morfoloji, tipoloji ve yapı teknolojileri gibi mimari çalışmaların bir parçası olmuştur. 1970'lerden itibaren artan eleştirilere rağmen bu kavram kurumsallaşmış, Anadolu ve Osmanlı konut kültürünü bu kavramların paradigmaları içinde tartışmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu makalede, ideal "Türk Evi"ne yüklenen anlamların ve dünya ölçeğinde insanlığı bekleyen ekolojik ve sosyokültürel krizlere karşı "Türk Evi" modelinin inşa edilebilirlik, sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve kullanıcı odaklı tasarım açısından çözümün bir parçası olabileceği "Akın Evi" örneği üzerinden anlatılmaktadır. Araştırma unutulmaya yüz tutmuş olan "Türk Evi" kavramını yeniden canlandırarak, geleneksel inşa tekniklerinin basit, kolay, sade ve mevzuata uygun olduğunu, geleneksel inşa tekniklerini kullanarak insanlara kendi evlerini yapabileceklerini göstermektedir. Ayrıca, geleneksel "Türk Evi'nin" adaptif yeniden kullanım potansiyeli ve bağlamsal duyarlılığı, modern mimarlık pratiklerinde dikkate alınması gereken önemli unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda Türk evleri ve sürdürülebilirlik konusunda daha fazla araştırma yapılması ve literatürün genişletilmesi, geleneksel mimarinin sürdürülebilirlik potansiyelini daha iyi anlamamıza ve çevre dostu yapı tasarımları için ilham kaynağı sağlamamıza yardımcı olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Geleneksel Türk evi, Sürdürülebilirlik, Tasarım, Türk evi.

## Reconstruction of The Turkish House in Modern Times: The Akın House Example

### Abstract

The academic discourse on the Turkish House ideal has emerged as an important topic of discussion in the field of architecture. Despite changing conditions, the concept of the Turkish House, albeit low-density, has continued to be a subject of research and has become a part of architectural studies such as morphology, typology and construction technologies. Despite increasing criticism since the 1970s, this concept has become institutionalized and it has become inevitable to discuss the Ottoman or Anatolian housing culture within the paradigms of this concept. This article explains the meanings attributed to the ideal "Turkish House" and how the "Turkish House" model can be a part of the solution in terms of constructability, sustainability, energy efficiency and user-centered design against the ecological and sociocultural crises awaiting humanity on a global scale, through the example of the "Akın House". The research revives the forgotten concept of the "Turkish House" and shows that traditional construction techniques are simple, easy, plain and compliant with legislation, and that people can build their own homes using traditional construction techniques. In addition, the adaptive reuse potential and contextual sensitivity of the traditional "Turkish House" stand out as important elements to be considered in modern architectural practices. In this context, further research and expansion of the literature on Turkish houses and sustainability can help us better understand the sustainability potential of traditional architecture and provide inspiration for environmentally friendly building designs.

**Keywords:** Traditional Turkish house, Sustainability, Design, Turkish house.



## 1. GİRİŞ

Modern mimarinin hızla gelişmesi, genellikle estetik ve kullanışlı evler-yapılar inşa edildiği şeklinde zannediliyor ise de koronavirüs döneminde evlerde daha fazla zaman geçirildiğinde, bazı insanlar mekânsal düzenlemeleri uygun evlerde rahat ederken, diğerleri kendilerini rahatsız hissetti. Bu durum evlerin sadece uyumak için inşa edilip edilmediğini ve yaşam kalitesini ne kadar desteklediğini sorguluyor. Bir Türk vatandaşının evi, fonksiyonel mekân kurgusu, doğal ışık ve hava sirkülasyonunu sağlayan planlama prensipleri ve kültürel kodları barındıran bir tasarım yaklaşımıyla nasıl olmalı? Bu duruma bir örnek olması açısından “Turgut Cansever’in mimarının hayatın tüm yönlerini kapsamaya gerektiğini savunduğunu” hatırlamakta fayda vardır. Cansever, mimarının kültürel altyapıdan yoksun olduğunu ve bu yüzden yanlış anlaşıldığını belirtir. Ona göre, yapılar hayat tarzını şekillendirir ve fiziksel özelliklerine göre düzenlenmelidir. Cansever'in düşüncesine göre, mimari insanın çevresini biçimlendirme ürünüdür ve insanın kararları, inançlarının yansımalarıdır [1].

Bu yansımaların bir sonucu olarak sanayi devrimlerinden sonra, Osmanlı mirasına sahip Türkiye'deki geleneksel ahşap ve taş evler modern teknoloji ürünü betonarme apartmanlarla yer değiştirmiştir. Bu değişimle birlikte, Türkiye’de yaşam şekli ve mekân kaybedilmiştir. Modern dünyayı eleştirenler bile, kaybolmuş mekânlarda yaşamayı tercih etti [2]. Dolayısıyla kendi kültür ve medeniyet değerlerine sahip çıkabilmek açısından geleneksel Türk Evi'nin karakteristik değerlerini ve oluşumunu belirleyen unsurları bilmek oldukça önemlidir. Bu önemin farkına varmak Türk Evinin coğrafi, iklimsel, kültürel ve tarihsel faktörlerden nasıl etkilendiğini, mimari yapısını, karakteristik özelliklerini, hangi malzemeler kullanılarak inşa edildiğini, peyzaj ve estetik zenginliklerini detaylı bir şekilde bilmeyi gerektirir [3]. Bu bilme, Türk Evinin biçimsel ve mekânsal özellikleri ile kütle, kesit ve iç mekân kurgusunun detaylı olarak bilinmesini zorunlu kılar. Yerleşme düzeni, sokak düzeni, tabii şartlara uygunluk ve çevreye saygı gibi faktörler yanında, farklı plan tipleri (iç sofalı, dış sofalı, orta sofalı, sofasız), kütle özellikleri (cumba, çıkma, saçak, çatı), ve iç mekân öğeleri (oda, tavan, zemin, kapı, pencere, duvar, ocak, sergen, dolap, yüklük, sabit mobilyalar) gibi kavramların bilinmesi önemlidir. Bu bilinç, evlerin gelecek nesillere Türk kültürünü tanıtmaya misyonunu da beraberinde getirir [4].

Geleneksel Türk Evi, Osmanlı Devleti döneminde Anadolu ve Balkanlar'da sıkça görülen konut yapılarıdır. Bu evler, toplumun yaşam tarzını yansıtan önemli mimari miras örnekleridir ancak zamanla birçok ev kaybolmuş veya zarar görmüştür. Tadilat ve restorasyon süreçlerinde yapılan plan değişiklikleri, evlerin orijinal yaşam biçimine dair bilgilerin kaybolmasına neden olmaktadır. Bu evler, aile yaşantısını, kültürü ve geçim kaynaklarının ev içindeki yansımalarını gösteren belgelerdir. Her bir ev, coğrafi, iklimsel, malzemesel ve ekonomik farklılıklar gösterebilir ve bu özellikleriyle benzersizdir. Günümüzde yanlış müdahalelerle kaybolma riski altındaki bu evlerin korunması ve gelecek nesillere aktarılması büyük önem taşımaktadır [5].

Bu çalışmada, modernite çağında mimari mirasın korunması ve sürdürülebilirlik perspektifleri ışığında geleneksel Türk Evinin gelecek nesillere aktarılmasının önemi “Akın Evi” örneği üzerinden detaylandırılacaktır. Ayrıca geleneksel Türk Evinin mimari değerleri ve kültürel mirasın yaşatılmasına dair stratejik yaklaşımların ortaya konulması amaçlanmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Bursa, İznik, Ömerli köyünde yapımı tamamlanmış Akın Evi materyal olarak alınarak modern zamanlarda Türk Evi'nin yapılabilişliği Akın Evi Örneği üzerinden anlatılacaktır. Bu yapılırken doküman analizi yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntem, genellikle diğer araştırma yöntemlerini desteklemek için kullanılır [6]. Dokümanlar, nitel araştırmalarda uzun süredir önemli bir rol oynamaktadır. Kitaplar, dergiler, günlükler, haritalar, istatistikler, fotoğraflar ve resimler gibi birçok türde doküman bu çalışmalarda kullanılmaktadır. Doküman analizi, bu dokümanların araştırma verisi olarak toplanması, incelenmesi, sorgulanması ve analiz edilmesi sürecini ifade eden bilimsel bir yöntemdir [7]. Çalışmada ilk bölümde “Sanayi Devrimleri ve Kentleşme Politikaları” ikinci bölümde “Türk Evi’ne Ontolojik Bakış” başlıkları



altında literatürde konu ile ilgili taramalar yapılacaktır. Üçüncü ve son bölümde ise Türk Evi'nin inşa süreci Akın Evi Örneği üzerinden anlatılarak elde edilen bulgular tartışılacak, sonuç ve öneriler başlığı ile makale tamamlanacaktır.

## 2.1 Sanayi Devrimleri ve Kentleşme Politikaları

Sanayileşme, ülkelerin toplumsal ve ekonomik yapılarında büyük değişimlere yol açmış, bu süreç, kentleşmeyi hızlandırmış ve Türkiye de dahil olmak üzere sanayileşen ülkelerde yeni kentlerin kurulmasına yol açmıştır [8]. Yeni kurulan kentlerde yaşama oranı 1950'de nüfusun %15'i iken, 2023 yılında bu oran %93 olmuştur [9]. Bu durum sadece demografik bir değişim değil, aynı zamanda bireysel, toplumsal, ekonomik, sosyal, siyasal ve kültürel alanlarda derin değişikliklere de yol açmıştır [10].

Sanayileşmenin olumsuz etkileri ve kentleşme sorunları, modern şehirlerde hava ve su kirliliği gibi çevresel sorunlara yol açarken, kentleşme süreçleri, özellikle altyapı, konut ve ulaşım ağlarının yetersizliği ile sonuçlanmıştır. Bu süreç, sürdürülebilir ve insan odaklı yaklaşımların önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir [11]. Kentleşme politikalarının karşımıza çıkardığı önemli sorunlardan biri de orman ve tarım alanlarının betonlaşmasına yol açan çarpık kentleşme olup, bu durum beraberinde birçok sorunlara yol açmaktadır [12]. Bu duruma bir örnek vermek gerekirse küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle son yıllarda ülkemizde daha sık yaşanan ani taşkınların sosyal hayatı olumsuz etkilediği, can ve mal kayıplarına yol açtığı gözlemlenmekte olup bu durum kentleşme politikalarını yeniden gözden geçirmemizi gerektirmektedir [13].

Sanayileşme ve modernite sonrası kentlerde yaşayan insanların sorunları, mekânsal bağlamda ele alındığında, yoğun nüfus, betonlaşma ve yeşil alan eksikliğinin bireyler üzerinde önemli olumsuz etkiler oluşturduğu görülmektedir. Yoğun kentsel alanlarda, sosyal izolasyon ve anksiyete seviyeleri artış göstermektedir [14]. Çalışmalar, doğayla iç içe olmayan, sıkışık ve stresli şehir ortamlarının depresyon ve diğer zihinsel sağlık sorunlarına yol açabileceğini göstermektedir [15].

Diğer yandan gecekondu yaygınlığı, imar rantı, imar afları, bitmeyen alt yapı sorunları ve deprem gerçeği, kentleri varlık itibarıyla birçok problemi çözülemeyen bir yaşam formu olarak karşımıza çıkarmaktadır. Ayrıca, köylerin boşalması ve nüfusun büyük bir kısmının kentlere taşınması, aynı zamanda bir milli güvenlik sorunudur. Bu olumsuzluklar, sermaye sahipleri için bir avantaja dönüşmüş ve bahse konu açmazların görmeden gelinmesi için kentleşme sorunlarını çözmek adına ütopyalar ortaya atılmıştır. Bu ütopyalar Batılı inşaat ve finans sisteminin ülkemize girmesiyle başlamış ve günümüzde hâlâ etkisini sürdürmektedir. Bu etki kısaca özetlenirse: Sanayi devrimiyle üretim atölyelerden fabrikalara kaydı ve insanların yaşam ve üretim şekli hızla değişti. Geleneksel kasaba ve kırsal alan yaşamından apartman ve fabrikalara geçiş, teknolojik üretimin kolaylık, fayda, ucuzluk gibi sebeplerle topluma dayatılmasıyla gerçekleştirildi. Modern kapitalist düşünce, müstakil bahçeli evlerin yerine betonarme apartmanları koyarak, insanları sıkışık, borçlu ve sosyal sorunlarla dolu bir yaşam tarzına itti. İnsanlar artık kendi evlerini inşa edemez ve temel ihtiyaçlarını karşılayamaz hale geldi. Bu durum kentleşme, ulaşım, mülkiyet, güvenlik ve sosyal hizmetler gibi birçok problemi doğurdu. Bu problemlerden birisi de betonarme apartmanlardır. Kâgir örgü sisteminin strüktürel ağırlıklarını aşmak, ahşap kolon ve kiriş sistemli yapıların kolay yanması ve bakım zorluklarını ortadan kaldırmak, inşaat yapım sürelerini hızlandırmak gibi sebeplerle ortaya çıkarılan betonarme apartman, geleneksel üretimin dışında bir inşa teknolojisi ürünüdür. Betonarme apartmanlara dayalı kentleşme politikaları kentlerde adalet, merhamet ve mahremiyetin kaybolmaya yüz tutmasına zemin hazırlayarak hırs, para ve gösterişi ön plana çıkarmıştır. Doğadan ve geleneksel yaşamdan uzaklaştırılan insanlar betonarme apartmanlarda yaşam mücadelesi vermektedir. Anadolu'daki tarım arazileri boş kalırken, Marmara Bölgesi devasa bir yerleşim bölgesi haline gelmiştir. Yanlış imar uygulamaları, rant kavgası, çocuklar için oyun alanlarının yokluğu ve toplumsal dayanışmanın kaybolması gibi sorunlar artmıştır. Betonarme inşaat saplantısı ve imar barışı ile ilgili sorunlar geri dönülmez doğa felaketlerine yol açmıştır. Tarihi yapılar yok edilmekte, trafik sorunları artmakta ve finansal yükler insanları ezmektedir. Oysaki ülke topraklarının sadece %2,5'lük bir alanına, 85 milyon insanı, en güzel şartlarda müstakil bahçeli evlere sığdırmak mümkündür [2].

Bunun mümkün olabilmesi için kentleşme politikalarının milli bir anlayışla, tarih ve kültürden gelen verilerle yeniden hayata geçirilmesi gerekmektedir. Kentlerin nüfusu azaltılmalı ve ülke topraklarına dengeli olarak yayılmalıdır. Kentlerin bir cazibe merkezi imiş gibi ön plana çıkarılarak Anadolu'nun boşaltılması ülkeyi savunmasız hale getirebilir. Diğer yandan küresel kültürün pazarladığı eko kentler, smart kentler, lojistik kentler, ya da sürdürülebilir kent gibi kavramlar jeopolitik, jeostratejik, ekonomik ve kültürel açılardan riskler taşımaktadır. Bu risklerden detaylı olarak bahsetmek ise ayrı bir çalışma konusudur.

## 2.2 Türk Evine Ontolojik Bakış

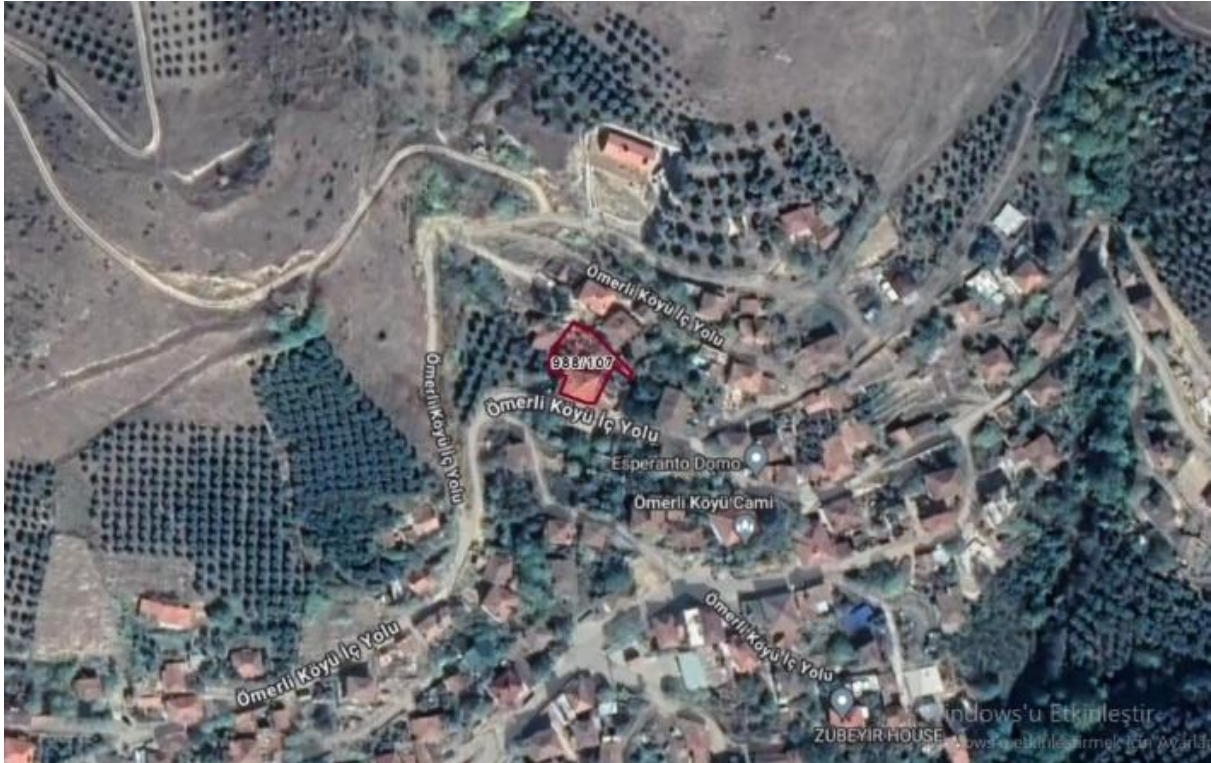
Türk Evi kavramının tanımı ve ele alınışı ile ilgili farklı tanımlar yapılsa da [16] temel ortak tavır hiçbir evin birbirinin manzarasını, güneşini ve mahremiyetini engellememesi üzerine kuruludur. Kavramın ele alınışı ile ilgili başlıca yaklaşımlar şu şekildedir. Sedat Hakkı Eldem, başlangıçta "Osmanlı Evi" kavramını kullanmış, ardından "Osmanlı Türk tutumu" demiş ve Osmanlı devletinin parçalanmasıyla mirasçı ülke açısından "Türk Evi" terimini kullanırken, Türk Evi'nde Bizans etkisi olduğunu kesin bir dille reddetmiştir [17]. Celâl Esat Arseven, Türklerin yaşadığı evleri taşınır evler ve sabit evler olarak ikiye ayırmış ve Orta Anadolu'daki düz damlı evlerin bazı Hatti evleriyle benzerliğinden bahsetmiştir [18]. Önder Küçükerman ise, Türk Evini belirgin normlara dayalı bir mekân düşüncesini içeren bir yapılar sistemi olarak tarif etmiş ve konargöçer Türklerin taşınabilir mekân anlayışının, aileyi bir araya getiren ve koruyan çadır mekânının Türk Evini oluşturan odaya nasıl dönüştüğünü açıklamıştır [19]. Doğan Kuban'a göre Türk Evi kavramı, konut geleneğinin evrimi, tarihi ve morfolojisi üzerinden incelenmiştir. Kuban, Osmanlı dönemi konut mimarisinin gelişimini ve özellikle "Hayatlı Ev" olarak adlandırdığı ev tipinin ortaya çıkışını ele almıştır. Türk Evi, on altıncı yüzyılda başlayan ve Orta Anadolu'dan Balkanlara kadar uzanan bir coğrafyada yaygın olan, temel ve zemin katların taş, üst katların kerpiç ve ahşaptan yapıldığı, ortak bir tipolojiye ve orantılara sahip konut olarak tanımlanmıştır. Kuban'a göre Türk Evi, etnik değil kültürel bir anlam taşımaktadır ve Türk halkının kendi ev kültürünü oluşturduğu coğrafyada gelişmiştir. Türk Evi'nin mekânsal özelliklerinde Ortadoğu ve Orta Asya geleneğinin etkisi görülmekte olup, özellikle revaklı veya revaksız avluya açılan odalardan oluşan plan düzenleri önemli rol oynamaktadır. Evrim sürecinde, ahşap kullanımının başlamasıyla birlikte Türk Evi klasik biçimine ulaşmış, 17. yüzyılda daha açık planlı yapılar ortaya çıkmış ve 18. yüzyılda hayatlı evin klasik dönemi yaşanmıştır [16]. Cengiz Bektaş ise, Türk Evi kavramının birkaç yüzyıllık birikimle oluşmadığını, çok daha eski Anadolu medeniyetlerinden izler taşıdığını belirtir. Bektaş'a göre, günümüzde Orta Anadolu'da görülen yapı teknikleri Hititler ve diğer eski Anadolu uygarlıklarıyla bağlantılıdır. Anadolu'daki evlerde zeminden bir miktar yükselme, düz damların kullanımı, mekân dizilimleri ve taş işçiliği gibi özellikler Çayönü, Çatalhöyük ve Likya gibi medeniyetlerin etkisini yansıtır. Bu yapı teknikleri, Osmanlı döneminde Orta Asya'dan gelen unsurlarla birleşerek bir sentez oluşturmuş ve ortak bir yaşam kültürü meydana getirmiştir. Bu kültür, Balkanlar'dan Anadolu'ya kadar ortak yönere ve temel ilkelere sahip bir ev dili meydana getirmiştir. Bektaş'a göre bu sentez, yerel değerlerle birleşerek farklı yerlerde Makedonya, Bulgaristan veya Yunanistan evi olarak adlandırılabilir. Sonuç olarak, bu evler "Türkiye evi" veya "Türk Evi" olarak tanımlanır [16]. Hülya ve Ferhan Yürekli konuya daha farklı bir düzlemde bakarak, Türk Evi'ni evrensel mimarlık kavramları çerçevesinde ele almışlar ve "yerleşme ve göç" kavramları üzerinden şu hususlara dikkat çekmişlerdir. "Yerleşik düzende inşa edilen Türk Evleri, bölgenin coğrafi ve iklimsel şartlarına uyum sağlayarak kalıcı ve dayanıklı yapılar olarak karşımıza çıkar. Bu evler, göçebe kültürden yerleşik hayata geçişin izlerini taşır. Göçebe yaşam tarzının getirdiği esneklik, Türk Evleri'nin iç mekân düzenlemelerinde ve işlevselliğinde kendini gösterir. Bu evler, yerleşik düzene geçişle birlikte, kalıcı mekânlar oluştururken aynı zamanda göçebe geçmişin mobilite ve adaptasyon becerilerini mimariye yansıtarak evrensel mimarlık kavramlarına özgün katkılar sunar. Türk Evi mobilite, katmanlaşma ve sanat açısından da önemli unsurları içerir. Mobilite, evin içindeki mekânsal düzenlemelerin esnekliğini ve değişkenliğini, katmanlaşma evin farklı işlevleri barındıran katmanlı yapısını, sanat ise, bu evlerin estetik değerleri ve zanaat unsurları ile nasıl zenginleştirildiği ifade eder" [20]. Dolayısıyla Türk Evi'nin düşünsel, mekânsal ve tarihsel arka planını bilmek, Türk Evi kavramının varoluş felsefesini ve nasıl bir yaşam biçimi sunduğunu anlamayı mümkün kılar. Diğer yandan Türk Evi aynı inanç sisteminin yöre, malzeme, coğrafya ve geleneğe göre yansımalarını gösterir. İklimsel zorluklar, afetler ve olumsuz

topografik koşullar nedeniyle, mevcut bir yapının daha uygun fiziksel çevrelere taşınması ya da tamamen yeni bir çevrede yeni bir yapı inşa edilmesi ortaya çıkabilmektedir [21]. Sürdürülebilir yapıların üretiminde yeniden işlevlendirme [22], sürdürülebilir malzemelerden yararlanma [23] enerji verimliliği [24], iklim ve topoğrafyaya uygun yapı elemanlarının kullanımı gibi çeşitli teknikler ve yaklaşımlar bulunmaktadır. Türk Evi inşa edildiği coğrafyanın iklimsel faktörünü doğrudan dikkate alarak malzeme seçimlerini de bununla ilişkilendirir. Ailenin ve mahremiyetin önemini, birlikte yaşamının değerini anlatır. Kolay ve basit inşa edilmesiyle akılcı bir tavır sergiler, doğa ve çevreyle barış ilişkisini gösterir ve geleneksel düşünce, teknik ve üretimin gücünü ispatlar.

### 2.3 Türk Evi'nin İnşa Süreci ve Akın Evi Örneği

Bu makalede, Türk Evi'nin düşünsel, mimari ve kültürel arka planı incelenmiştir. Araştırma, modern çağ olarak adlandırılan günümüzde dahi Türk Evi'nin insanlığa en iyi yaşam koşullarını sağlayabilecek güce sahip olduğunu göstermektedir. Örnek olarak, İznik Ömerli Köyünde inşa edilen Akın Türk Evi ele alınmıştır. Yapım sürecine ait aşamalar şu şekildedir.

#### 1. Arsa seçimi ve satın alınması.



Şekil 1. Akın Evi parsel sorgu bilgisi

#### 2. Köy yerleşik alanları imar durumuna göre projelerinin (mimari, statik, mekanik ve elektrik) hazırlanması, projelerin onaylanması, inşaat izni alınması.





Şekil 2. Akın Evinin tasarım aşamasındaki render çalışması

YAPI RUHSATI											
Yapı Ruhsatı No: 1521402/33		Mülkiyet No: 1521402/33									
Yapı İşleri Genel Müdürlüğü		Mühür ve İmza Alanı									
<table border="1"> <tr> <td>1. Adres</td> <td>2. Alan</td> <td>3. Alanın Kayıt No</td> <td>4. Alanın Cansızlık Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Adres	2. Alan	3. Alanın Kayıt No	4. Alanın Cansızlık Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Adres	2. Alan	3. Alanın Kayıt No	4. Alanın Cansızlık Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								
Yapı İşleri Genel Müdürlüğü		Yapı İşleri Genel Müdürlüğü									
<table border="1"> <tr> <td>1. Alanın Durumu</td> <td>2. Alanın Durumu</td> <td>3. Alanın Durumu</td> <td>4. Alanın Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								
<table border="1"> <tr> <td>1. Alanın Durumu</td> <td>2. Alanın Durumu</td> <td>3. Alanın Durumu</td> <td>4. Alanın Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								
<table border="1"> <tr> <td>1. Alanın Durumu</td> <td>2. Alanın Durumu</td> <td>3. Alanın Durumu</td> <td>4. Alanın Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								
<table border="1"> <tr> <td>1. Alanın Durumu</td> <td>2. Alanın Durumu</td> <td>3. Alanın Durumu</td> <td>4. Alanın Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								
<table border="1"> <tr> <td>1. Alanın Durumu</td> <td>2. Alanın Durumu</td> <td>3. Alanın Durumu</td> <td>4. Alanın Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								
<table border="1"> <tr> <td>1. Alanın Durumu</td> <td>2. Alanın Durumu</td> <td>3. Alanın Durumu</td> <td>4. Alanın Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								
<table border="1"> <tr> <td>1. Alanın Durumu</td> <td>2. Alanın Durumu</td> <td>3. Alanın Durumu</td> <td>4. Alanın Durumu</td> </tr> <tr> <td>5. Alanın Durumu</td> <td>6. Alanın Durumu</td> <td>7. Alanın Durumu</td> <td>8. Alanın Durumu</td> </tr> </table>				1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu	5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu
1. Alanın Durumu	2. Alanın Durumu	3. Alanın Durumu	4. Alanın Durumu								
5. Alanın Durumu	6. Alanın Durumu	7. Alanın Durumu	8. Alanın Durumu								

Şekil 3. Akın Evi inşaat ruhsatı

### 3. Malzemelerin temini.



Şekil 4. Çevreden taş toplanması

### 4. İş organizasyonu.

Geleneksel bir yapı inşasında, taş duvar örülmesi, ahşap karkas ile tavan ve döşeme çakılması, kerpiç tuğla imalatı ve örülmesi, kerpiç sıva yapılması, kireç badana yapılması, masif ahşap işlenerek kapı ve pencere yapılması, gibi işler geleneksel ustalık bilgisi gerektirmektedir.

2020 yılı ocak ayında inşaat başladığında; ahşap karkas için bir ustabaşı, taş duvar örülmesi için bir ustabaşı ve kerpiç işleri için bir ustabaşı ile yevmiyeli olarak çalışmaları şeklinde anlaşma yapılmıştır. Ara işler, usta yardımcılıkları ve düz işçilikler için köyden ve yakın çevreden kişilerle günlük olarak anlaşma sağlanmıştır.

Söz konusu evde kullanılan taş ve toprak yakın çevreden sadece makine ve insan işgücü kullanılarak temin edilmiş, ahşap malzeme ticari bir işletmeden ücreti karşılığında satın alınmıştır. Kullanılan taşın bir kısmı arsada mevcut olan eski binanın yıkılmasıyla ortaya çıkan taşlardır. Kalan taşlar köy civarındaki açık araziden elle toplanmış ve traktör ile inşaat alanına taşınmıştır. Aynı şekilde kerpiç için kullanılan toprak Ömerli Köyü'ne yakın mesafede bir bölgeden temin edilmiştir. Ahşap için 6 metre boyunda 5x15 cm ebadında fırınlanmış 50 m<sup>3</sup> Rus çamı satın alınmış, çatıda ise köyden toplanan eski alaturka kiremitler kullanılmıştır. Toplam inşaat alanı 330 m<sup>2</sup> olan Akın Evi'nin yapımında yerinde yapılan işçilikler puantajla kaydedilmiş ve toplamda 1440 yevmiye olarak hesaplanmıştır.



5. Temelin inşası.



Şekil 5. Temel inşası

6. Taş duvarların inşası.



Şekil 6. Taş duvar ile ahşap duvar arasındaki ilişki



### 7. Ahşap duvar karkası inşası.



Şekil 7. Taş duvar, ahşap karkas

### 8. Kerpiç imal edilmesi ve örülmesi.

Kerpiç, Anadolu’da binlerce yıldır bilinen, ancak günümüzde unutulmaya yüz tutmuş bir inşaat malzemesidir. Killi toprağın saman ve su ile karıştırılmasıyla elde edilen bu malzeme, geçmişte yapılan üretim hataları ve bakımsızlık nedeniyle depremler sonrasında yıkılan yapılarla ilişkilendirilerek haksız yere suçlanmıştır. Ancak kerpiç, uygun şartlarda kullanıldığında oldukça dayanıklıdır. Yapılan uygulamada yaklaşık 8.000 adet kerpiç üretilmiştir. Üretim sürecinde, samanın miktarı ve toprağın karışım oranı, deneyime dayalı olarak belirlenmiştir. Kerpiç, sıcak havalarda üç günde, soğuk havalarda ise bir haftada kuruyup kullanılabilir hale gelir. Bu malzeme, suya maruz kalmadığı sürece sağlam kalır ve doğru imal edildiğinde uzun ömürlü yapılar oluşturur.



Şekil 8. Kerpiç örülmesi



9. Ahşap döşeme karkası inşası.



Şekil 9. Ahşap döşeme ve tavan mertekleri ile ahşap duvar ilişkisi

10. Ahşap çatı imalatı.



Şekil 10. İç taraftan çatı konstrüksiyonu



11. Elektrik ve su tesisatı yapılması.



Şekil 11. Döşemeden ve duvardan geçen tesisat boruları

12. Kerpiç sıva yapılması.



Şekil 12. Ahşap duvar üzeri kerpiç sıvanın kaba aşaması

13. Ahşap kapı ve pencere imalatı.



Şekil 13. Pencerelerin montajı, bire iki oranı ve giyotin görünümlü kanatlı

14. Mutfak ve banyo dolabı inşası.



Şekil 24. Mutfak dolabı imalat aşaması



15. Kireç badana yapılması.



Şekil 15. Kireç badananın sürülme işlemi

16. Ahşap döşeme ve tavan çakılması.



Şekil 16. Mutfak üzeri bakkal tavan uygulaması

17. Banyo ve mermer duş kabini inşası.



Şekil 17. Marmara mermerinin genel döşenme şekli

18. Akın Evi'nin bitmiş ve iskânı alınmış hali.



Şekil 18. Akın Evi'nin bitmiş hali ön cepheden görünüşü





Şekil 19. Karda Akın Evi'nin ön cepheden görünüş



Şekil 20. Akın Evi'nin içinden bir görünüş

YAPI KULLANMA İZİN BELGESİ		Certificate of permission for use of building		Durum / Konut	
1. Başvuru tarihi: 2024/07/01		2. Başvuru adresi: BURSA		3. Başvuru adresi: BURSA	
4. Başvuru adresi: BURSA		5. Başvuru adresi: BURSA		6. Başvuru adresi: BURSA	
7. Başvuru adresi: BURSA		8. Başvuru adresi: BURSA		9. Başvuru adresi: BURSA	
10. Başvuru adresi: BURSA		11. Başvuru adresi: BURSA		12. Başvuru adresi: BURSA	
13. Başvuru adresi: BURSA		14. Başvuru adresi: BURSA		15. Başvuru adresi: BURSA	
16. Başvuru adresi: BURSA		17. Başvuru adresi: BURSA		18. Başvuru adresi: BURSA	
19. Başvuru adresi: BURSA		20. Başvuru adresi: BURSA		21. Başvuru adresi: BURSA	
22. Başvuru adresi: BURSA		23. Başvuru adresi: BURSA		24. Başvuru adresi: BURSA	
25. Başvuru adresi: BURSA		26. Başvuru adresi: BURSA		27. Başvuru adresi: BURSA	
28. Başvuru adresi: BURSA		29. Başvuru adresi: BURSA		30. Başvuru adresi: BURSA	
31. Başvuru adresi: BURSA		32. Başvuru adresi: BURSA		33. Başvuru adresi: BURSA	
34. Başvuru adresi: BURSA		35. Başvuru adresi: BURSA		36. Başvuru adresi: BURSA	
37. Başvuru adresi: BURSA		38. Başvuru adresi: BURSA		39. Başvuru adresi: BURSA	
40. Başvuru adresi: BURSA		41. Başvuru adresi: BURSA		42. Başvuru adresi: BURSA	
43. Başvuru adresi: BURSA		44. Başvuru adresi: BURSA		45. Başvuru adresi: BURSA	
46. Başvuru adresi: BURSA		47. Başvuru adresi: BURSA		48. Başvuru adresi: BURSA	
49. Başvuru adresi: BURSA		50. Başvuru adresi: BURSA		51. Başvuru adresi: BURSA	
52. Başvuru adresi: BURSA		53. Başvuru adresi: BURSA		54. Başvuru adresi: BURSA	
55. Başvuru adresi: BURSA		56. Başvuru adresi: BURSA		57. Başvuru adresi: BURSA	
58. Başvuru adresi: BURSA		59. Başvuru adresi: BURSA		60. Başvuru adresi: BURSA	
61. Başvuru adresi: BURSA		62. Başvuru adresi: BURSA		63. Başvuru adresi: BURSA	
64. Başvuru adresi: BURSA		65. Başvuru adresi: BURSA		66. Başvuru adresi: BURSA	
67. Başvuru adresi: BURSA		68. Başvuru adresi: BURSA		69. Başvuru adresi: BURSA	
70. Başvuru adresi: BURSA		71. Başvuru adresi: BURSA		72. Başvuru adresi: BURSA	
73. Başvuru adresi: BURSA		74. Başvuru adresi: BURSA		75. Başvuru adresi: BURSA	
76. Başvuru adresi: BURSA		77. Başvuru adresi: BURSA		78. Başvuru adresi: BURSA	
79. Başvuru adresi: BURSA		80. Başvuru adresi: BURSA		81. Başvuru adresi: BURSA	
82. Başvuru adresi: BURSA		83. Başvuru adresi: BURSA		84. Başvuru adresi: BURSA	
85. Başvuru adresi: BURSA		86. Başvuru adresi: BURSA		87. Başvuru adresi: BURSA	
88. Başvuru adresi: BURSA		89. Başvuru adresi: BURSA		90. Başvuru adresi: BURSA	
91. Başvuru adresi: BURSA		92. Başvuru adresi: BURSA		93. Başvuru adresi: BURSA	
94. Başvuru adresi: BURSA		95. Başvuru adresi: BURSA		96. Başvuru adresi: BURSA	
97. Başvuru adresi: BURSA		98. Başvuru adresi: BURSA		99. Başvuru adresi: BURSA	
100. Başvuru adresi: BURSA		101. Başvuru adresi: BURSA		102. Başvuru adresi: BURSA	

Şekil 21. Akın Evi iskân belgesi

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sanayileşme süreciyle birlikte, değerlerin değerden bağımsız hale geldiği [25], ve bu durumun kentleşme politikalarına yansıdığı görülmektedir. Teknolojik ilerlemeler, refahı artırmak yerine güçlü insanların başkalarının acılarına duyarsızlaşmalarına ve bireyselliğin ön plana çıkarak mahremiyetin zarar görmesine neden olmuştur [26]. Mesafeli dostluklar, kopuk komşuluklar ve gösterişe dayalı yaşam bu durumun en tipik yansımalarıdır [27].

Türk Evi'nin yeniden inşa edilmesi önerisi, Akın Türk Evi inşa-yapım örneğinde anlatıldığı üzere kadim bilgi, doğal malzemeler ve geleneksel tekniklerle kendi evlerimizi yeniden inşa edebilecek yetkinliğe hâlâ sahip olduğumuzu ortaya koymaktadır. Türk Evi kavramı, değişen şartlara rağmen araştırma ve çözümleme konusu olmaya devam etmiş ve mimari çalışmalara yön vermiştir. Artan itirazlara rağmen 1970'lerden itibaren kavram kurumsallaşmış, Anadolu ve Osmanlı konut kültürünü bu kavramın paradigmatları içinde tartışmak kaçınılmaz olmuştur [28].

Kentleşme politikaları, tarihi ve kültürel verilerden hareketle, milli bir bakış açısıyla yeniden hayata geçirilebilir. Aşırı yüksek yerlerdeki kent nüfusları dengeli olarak ülke geneline yayılabilir. Çünkü küresel kültürün tanıttığı eko kentler, smart kentler ve sürdürülebilir kentler, jeopolitik, jeostratejik, ekonomik ve kültürel riskler taşıyabilmektedir. Ayrıca Anadolu'nun boşaltılması ülke savunması açısından risk oluşturabilir [29].



Kentlerden, kırsal alanlara ve tarihi kentlere olan göç baskısı, "Türk Evi" modeli ile karşılanabilecek mesken ihtiyacını yeniden gündeme alınması için bir fırsat olarak değerlendirilebilir. Müstakil ev, bahçeli yaşam ve geleneksel üretimle ilişkili Türk Evi modelinin kırsal alanlar, köyler ve tarihi kentlerde uygulanması, bu bölgelerdeki mimari tipoloji, doğal dokular ve demografinin korunmasını ve gelişmesini sağlayabilir. Bu sayede var olan bir geleneğin devamı sağlanarak insanlık için umut olmaya devam edebilir.

Sanayileşme sonrası modernite çağında, insanlığa dayatılan akıllı evler ve smart kentlerin, sürdürülebilirliğin ve insan-mekân ilişkisinin önemli unsurları olan yerel kültür ve mimari kimliğin yok olmasıyla sonuçlanabileceği endişesi giderek artmaktadır. Oysaki doğal malzemelerle inşa edilen Türk Evi gibi geleneksel yapılar, iklim koşullarına ve yerel yaşam tarzına uygun tasarımlarıyla modern dünyanın karmaşık sorunlarına çözüm sunabilir. Bu yapılar, estetik ve fonksiyonu sofistike bir dengeyle birleştirerek, insanın doğayla uyum içinde yaşadığı, teknolojinin de sadece destekleyici bir rol üstlendiği bir yaşam tarzını teşvik edebilir. [30].

Bununla birlikte evlerin dışında kalan toplumsal ortak kullanım alanları, örneğin ibadet yerleri, okullar ve hastaneler betonarme ve çelik yapılarla inşa edilebilir. Betonarme ve çelik yapılar, büyük insan topluluklarını barındırırken bu tür yapıların inşasında deprem, yangın ve diğer doğal afetlere karşı tasarım aşamasından başlayarak oldukça dikkatli olunmalıdır.

İdeal "Türk Evi"nin ekolojik ve sosyokültürel krizlere karşı inşa edilebilirlik sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve kullanıcı odaklı tasarım açısından çözüm sunabileceği ayrıca geleneksel Türk Evi'nin adaptif yeniden kullanım potansiyeli, modernite çağında dikkate alınması gereken özellikleri olarak ön plana çıkarılabilir.

Geleneksel Türk Evi'ne, yapım kolaylığı ve düşük maliyetiyle dikkat çekilebilir. Genellikle yerel malzemeler kullanılarak inşa edilen bu evler, ahşap ve kerpiç gibi doğal ve ekonomik yapı elemanlarına dayanır. Ahşap karkas sistemi, inşaat sürecini hızlandırırken esnek ve dayanıklı bir yapı sunar. Ayrıca, kerpiç kullanımı hem maliyetleri düşük tutar hem de iyi bir ısı yalıtımı sağlar, bu da enerji tasarrufuna katkıda bulunur. Bu özellikler, geleneksel Türk Evi'ni ekonomik ve pratik bir konut seçeneği haline getirebilir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırma, "Akın Evi" örneği üzerinden unutulmaya yüz tutmuş olan "Türk Evini" geleneksel inşa tekniklerini belgeleyerek ve ortaya koyarak, insanlara kendi evlerini yapabileceklerini gösterebilmektir. Araştırma, geleneksel inşa tekniklerinin basit, kolay, sade ve mevzuata uygun olabileceğini belirtmekle birlikte, dünya ölçeğinde insanlığı bekleyen büyük krizlere karşı "Türk Evi" modelinin çözümün bir parçası olabileceğini gösterebilir. Ayrıca yerel kaynakların kullanılması, milli servete katkı sağlayarak dışarıdan malzeme alımını azaltır. Bu durum ithalatı düşürerek karbon ayak izinin azalmasına ve sürdürülebilir bir dünya için gelecek nesillere katkıda bulunabilir.

Akıllı evler ve smart kentler ise genellikle standartlaşmış çözümler sunarak, bireysel ve toplumsal kimliğin yok olmasına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla, mimari mirasımızın ve yerel yapıların değerinin yeniden keşfedilmesinde ve modernitenin getirdiği zorluklarla baş etmede, Türk Evi kritik bir role sahip olabilir.

Türk Evi ve sürdürülebilirlik konusuyla ilgili internet arama motorlarında sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu alanda daha fazla araştırma yapılması ve literatürün genişletilmesi önerilmektedir. Bu, hem geleneksel mimarının sürdürülebilirlik potansiyelinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir hem de çevre dostu yapı tasarımları için ilham kaynağı oluşturabilir.

#### Bilgi Notu

Makalede ulusal ve uluslararası araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Çalışmada etik kurul izni gerekmemiştir.

## Yazar Katkısı ve Çıkar Çatışması Beyan Bilgisi

Yazar(lar) çıkar çatışması bildirmemiştir.

## REFERANSLAR

- [1] Y. Arslan, “Bir Türk evinde yaşamak ister misiniz?” [Online]. Available: <https://www.lacivertdergi.com/dosya/2020/05/21/bir-turk-evinde-yasamak-ister-misiniz> [Erişim Tarihi:19.11.2024].
- [2] S. Akın, “Modern zamanlar sonrası Türk evinin yeniden inşa önerisi” Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2024.
- [3] Y. Göğebakan, “Karakteristik Bir Değer Olan Geleneksel Türk Evi’nin Oluşumunu Belirleyen Unsurlar ve Bu Evlerin Genel Özellikleri,” *İnönü Üniversitesi Kültür ve Sanat Dergisi*, Cilt. 1, Sayı. 1, S. 41–55, 2015.
- [4] E. B. Burkut, “Türk Evi’nin Mimari Özellikleri,” [Online]. Available: <https://acikerisim.fsm.edu.tr/xmlui/handle/11352/3196> [Erişim Tarihi:19.11.2024].
- [5] E. Ç. Karakök, “Bir Geleneksel Türk Evini Geleceğe Aktarmak: Erdoğan Kalay Evi ve Koruma Önerileri,” *Osmanlı Mirası Araştırmaları Dergisi*, Cilt. 4, Sayı.10, S. 85–100, Kasım. 2017.
- [6] B. Kiral, “Nitel Bir Veri Analizi Yöntemi Olarak Doküman Analizi,” *Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı. 15, S. 170–189, 2020.
- [7] R. Sak, İ. T. Ş. Sak, Ç. Ö. Şendil, E. Nas, “Bir araştırma yöntemi olarak doküman analizi,” *Kocaeli Üniversitesi Eğitim Dergisi*, Cilt. 4, Sayı. 1, S. 227–256, Mayıs. 2021.
- [8] S. Çekirge, “Sanayileşmenin Kentleşmeye Etkisi: Kırıkkale Örneği,” Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale, 2013.
- [9] TUIK, “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2023,” [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/> [Erişim Tarihi:19.11.2024].
- [10] M. F. Çan, “Kentleşme, Sanayileşme ve Kalkınma Etkileşimi,” 2010.
- [11] B. Bera, S. Chinta, D. A. Mahajan, A. Sailaja, R. Mahajan, and A. Professor, “Urbanization and Its Impact on Environmental Sustainability: A Comprehensive Review,” 2023.
- [12] M. Dikici, “Kentleşme,” [Online]. Available: <https://mehmetdikici.com.tr/kentlesme/> [Erişim Tarihi:19.11.2024].
- [13] M. Dikici and M. Aksel, “Comparison of Drought Indices in the Case of the Ceyhan Basin,” *International Journal of Environment and Geoinformatics*, vol. 8, no. 2, pp. 113–125, Jun. 2021.
- [14] G. W. Evans, “The Built Environment and Mental Health,” 2003.
- [15] R. S. Ulrich, “View through a window may influence recovery from surgery,” *Science*, vol. 224, no. 4647, pp. 420–421, 1984.
- [16] Ş. İncedemir ve K. R. Kavas, “Türk Evi Kavramının Tarih Yazımı Üzerine Bir İnceleme,” *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı. 10, S. 74–86, Kasım. 2021.
- [17] S. H. Eldem, Yapı. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2020.
- [18] C. E. Arseven, Sanat Ansiklopedisi I. İstanbul: Milli Eğitim Basımevi, 1983.
- [19] Ö. G. Ş. Küçükerman, Anadolu Mirasında Türk Evleri, 1. Baskı. T.C. Kültür Bakanlığı, 1995.

- [20] H. Y. F. Yürekli, *Türk Evi Gözlemler Yorumlar*, 2. Baskı. İstanbul: Yem Yayın, 2007.
- [21] N. Yılmaz Erkovan and L. Özgenel, "“Bir “Ara Çevre” Olarak Yayla Evi: Antalya, Gazipaşa Bağlamı,” *Mediterranean Journal of Humanities*, vol.13, pp.311-328, 2023.
- [22] E. S. Hattap, “Examining the traditional Turkish house in terms of sustainability,” *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, vol. 8, no. 6, pp. 225–227, Nov. 2023.
- [23] E. Akar, A. Kanoğlu, and D. A. Yazıcıoğlu, “A Database Model for Container Use In Producing Sustainable Housing: Consensus,” *Academic Research International*, vol. 8, no. 2, 2017.
- [24] Y. C. Aydın, P. A. Mirzaei, and S. Akhavannasab, “On the relationship between building energy efficiency, aesthetic features and marketability: Toward a novel policy for energy demand reduction,” *Energy Policy*, vol. 128, pp. 593–606, May 2019.
- [25] M. S. Pulungan, “Islamic civilization and globalization in the modern era,” *IPERCOP*, vol. 1, no. 1, pp. 36–43, 2024.
- [26] M. Ülker, “Teknolojik İlerleme Refah Getirdi mi,” [Online]. Available: <https://muratulker.com/> [Erişim Tarihi:19.11.2024].
- [27] Ö. Demir, M. Acar, M. Toprak, F. Oğuz, S. Oğuz, *Uluslararası Politik Ekonomi*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, 2018.
- [28] U. Tuztaş ve İ. Y. Aşkun, ““Türk Evi’ İdealleştirmesinde ‘Osmanlı Evi’ ve ‘Anadolu Evi’ Kavramlarının Ortaklıklarına İlişkin İşlevsel Açıklamalar,” *bilig*, Sayı. 66, S. 273–296, 2013.
- [29] Ö. Karakayacı, *Cumhuriyet Dönemi Kent Planlama ve Kentleşme Politikaları*, 1. Baskı. Ankara: TASAV, 2023.
- [30] S. Saatçi, *Kerkük Evleri*. Ötüken Neşriyat, 2013.



## Comparative Analysis of Heat Transfer Coefficient Using Experimental Data and Empirical Expressions

Birkut Güler<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Makine ve Metal Teknolojileri, Balançak Meslek Yüksekokulu, Giresun Üniversitesi, Giresun, Türkiye.

\* birkut.guler@giresun.edu.tr

### Abstract

This study focuses on determining the heat transfer coefficient by making a comparative analysis of experimental data and empirical expressions. The experiments were carried out to evaluate the heat transfer performance of water flowing through a polyethylene hose. The heat transfer coefficient obtained by experimental methods was determined as 48.30 W/(m<sup>2</sup> K), while this value was calculated as 53.44 W/(m<sup>2</sup> K) by empirical calculation. These results show minor differences due to small errors in experimental applications and assumptions in empirical models. The closeness between experimental and empirical values supports the validity of empirical correlations in estimating heat transfer coefficients for similar configurations. However, the study is not limited to comparing heat transfer coefficients but also emphasizes the accuracy of experimental methods and the applicability of empirical models. In conclusion, this research sheds light on the complexity of heat transfer processes and reveals the importance of integrating experimental and empirical approaches in engineering applications. These findings contribute to the development of more efficient engineering practices and provide important information that experimental and empirical methods can be used together in the calculation of heat transfer coefficients.

**Keywords:** Heat transfer, convection, validation, experimental

## DeneySEL Veriler ve Ampirik İfadeler Kullanılarak Isı Transfer Katsayısının Karşılaştırmalı Analizi

### Özet

Bu çalışma, deneysel veriler ile ampirik ifadelerin karşılaştırmalı analizini yaparak ısı transfer katsayısının belirlenmesine odaklanmaktadır. Deneyler, polietilen bir hortum içerisinde akan suyun ısı transfer performansını değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel yöntemler aracılığıyla elde edilen ısı transfer katsayısı 48,30 W/(m<sup>2</sup>·K) olarak belirlenmişken, ampirik hesaplama ile bu değer 53,44 W/(m<sup>2</sup>·K) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, deneysel uygulamalardaki minör hatalar ve ampirik modellerdeki varsayımlara bağlı olarak küçük farklılıklar göstermektedir. Deneysel ve ampirik değerler arasındaki yakınlık, benzer konfigürasyonlar için ampirik korelasyonların ısı transfer katsayılarını tahmin etme konusundaki geçerliliğini desteklemektedir. Ancak, çalışma yalnızca ısı transfer katsayılarının karşılaştırılması ile sınırlı kalmamış, aynı zamanda deneysel yöntemlerin doğruluğunu ve ampirik modellerin uygulanabilirliğini de vurgulamaktadır. Sonuç olarak, bu araştırma, ısı transfer süreçlerinin karmaşıklığına ışık tutmakta ve mühendislik uygulamalarında deneysel ile ampirik yaklaşımların entegrasyonunun önemini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, daha verimli mühendislik uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunmakta ve ısı transfer katsayılarının hesaplanmasında deneysel ve ampirik yöntemlerin birlikte kullanılabileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Isı transferi, taşınım, doğrulama, deneysel veriler

## 1. INTRODUCTION

Heat transfer is a fundamental phenomenon that plays a crucial role in various industrial and engineering applications. Understanding the heat transfer properties of fluids is essential for increasing energy efficiency, optimizing system performance, and developing innovative technologies. In this study, we focus on determining the heat transfer coefficient through both experimental methods and empirical expressions, aiming to demonstrate that the results obtained from these two approaches are not significantly different.

The heat transfer coefficient ( $h$ ) varies depending on factors such as fluid flow rate and pipe geometry. Various theoretical models and empirical expressions can be used to directly calculate this coefficient. However, experimental results are critical to verify the accuracy of theoretical predictions and provide practical guidance for industrial applications. The primary goal of this study is to determine whether the heat transfer coefficients calculated from experimental data align with those obtained from empirical expressions in the literature.

The results from this analysis contribute to a better understanding of the heat transfer properties of fluids and the development of more efficient heat transfer systems. In the following sections, we will present the methodology used, analyze the findings obtained, and discuss the implications of the results. We believe that the information obtained from this study will be valuable for researchers and professionals working in the field of heat transfer.

Optimizing energy consumption and improving the performance of heat exchangers are crucial efforts in various industrial processes [1, 2]. Heat exchangers, which are vital in energy and heat transfer systems, have been the subject of extensive research to shorten heat transfer time and increase efficiency [1, 3, 4]. Recent advances in heat transfer fluids such as nanofluids have shown promising results in improving heat exchanger performance [1, 5, 6]. Nanofluids, engineered fluids with nanoparticles dispersed in a base fluid, exhibit superior heat transfer properties compared to conventional heat transfer fluids [5-7]. Its potential applications span a variety of industries including refrigeration, electronics, and renewable energy systems [6]. Experimental studies of heat transfer phenomena have been crucial in advancing our understanding of thermal processes [1, 8]. Studies focusing on convective heat transfer in microchannel heat sinks have described empirical correlations and verified their accuracy through experimental and simulation studies [5, 9, 10]. These studies have revealed the importance of factors such as flow distribution and convective thermal resistance in optimizing heat transfer efficiency [5, 9, 10]. Additionally, studies on the boiling heat transfer coefficients of hydrocarbons in two-phase flow have provided valuable information regarding the performance of heat transfer equipment [2]. By analyzing experimental data and comparing them with existing correlations, researchers aimed to develop more accurate prediction methods for flow boiling properties [2]. In addition to fluid dynamics, studies have also investigated the effect of geometric configurations on heat transfer performance [11]. Experimental studies on longitudinal fins have demonstrated the effectiveness of different fin designs in dissipating heat under natural convection conditions [11]. These findings underline the importance of innovative design approaches in optimizing heat transfer efficiency [11, 12]. Additionally, numerical simulations have contributed to the understanding of the influence of parameters such as the Prandtl number on flow and heat transfer properties [12]. Such studies provide valuable information about the fundamental mechanisms governing heat transfer in various geometries and flow regimes [12]. There are studies aiming to contribute to the existing knowledge by investigating the effects of connectors between microchannels on heat transfer coefficients [7]. Drawing on knowledge gained from previous research on nanofluids and heat transfer enhancement techniques, the studies aim to elucidate the role of connectors in optimizing heat transfer efficiency [7]. It also aims to provide valuable insights into the design and optimization of microchannel heat transfer systems through experimental investigations and analysis of flow dynamics. Experimental-numerical methods are also suggested for determining heat transfer coefficients in cross-flow heat exchangers. Using experimental data, liquid, and air side coefficients can be optimized by the Levenberg-Marquardt method. Error uncertainty in determining correlations can be evaluated by Gauss's rule [12]. If the methods of heat transfer coefficient measurement are classified, the methods are divided into five main groups: direct, transient, Wilson,

heat/momentum/mass transfer analogy, and boundary layer thickness method. Each method has its applications, limitations, and accuracies. All methods have a certain level of uncertainty [13].

This study presents an innovative approach to determine the heat transfer coefficient using experimental methods and empirical expressions, compared to previous studies in the literature. While existing studies usually focus on theoretical models or specific fluid types, this study examines heat transfer under different flow conditions with experimental measurements. For example, the studies conducted by Y. Li et al. [5]. on nanofluids suggest using alternative fluids to improve heat transfer performance; however, the experimental data presented in this study provide a broader perspective on determining heat transfer coefficients in conventional fluids. In addition, the comparison of the empirical correlations developed by E. N. Sieder and G. E. Tate [13] with the experimental results obtained in this study allows for evaluating the validity of theoretical predictions in practical applications. The results support the reliability of heat transfer coefficients based on existing literature studies and aim to provide a more comprehensive and applicable understanding for industrial applications.

## 2. METHODOLOGY

The methodology employed in this study revolves around an in-depth exploration of the heat transfer dynamics observed during the flow of water through a hose and its interaction with the surrounding air. The primary objective is to ascertain the heat transfer coefficient by integrating both empirical data and dimensionless parameters. The experimental setup encompasses the meticulous preparation of 1 liter of water alongside the assembly of the requisite apparatus. This includes a polyethylene hose featuring a 6 mm diameter, a heating mechanism, a pumping system, precise thermometric devices for temperature monitoring, and an air blower for regulating airflow conditions. The procedural steps commence with the controlled pumping of water through the hose at a predetermined flow rate facilitated by the pump mechanism. Concurrently, one end of the hose is elevated by 1 meter while the opposing end is lowered by an equivalent length, thus establishing a vertical flow orientation. Temperature readings at the hose outlet and the airflow velocity are meticulously recorded using the designated thermometric apparatus. Integral to this methodology is the calculation of essential dimensionless numbers, notably the Reynolds ( $Re$ ), Prandtl ( $Pr$ ), and Nusselt ( $Nu$ ) numbers, derived from the acquired experimental data. These dimensionless quantities play a pivotal role in delineating the flow characteristics and discerning the intricacies of heat transfer phenomena. Leveraging the Nusselt number ( $Nu$ ), the heat transfer coefficient ( $h$ ) is subsequently computed, representing a pivotal metric indicative of the efficacy of heat exchange between the flowing water and the ambient air. A comprehensive analysis ensues, integrating the experimental datasets, dimensionless parameters, and the derived heat transfer coefficient. Any discernible variances or disparities between empirical observations and computed values are critically examined and elucidated. Ultimately, this meticulous process culminates in insightful conclusions regarding the nuanced heat transfer mechanisms governing water flow within the hose under the stipulated experimental parameters.

The main purpose of this study is to determine the heat transfer coefficient results obtained by experimental methods by comparing them with empirical expressions. However, the majority of such studies are limited to only one experimental or empirical method. In this study, a comprehensive comparison was made by considering the existing empirical models and experimental data as well as the existing CFD analysis results in the literature. With this approach, the accuracy and reliability of the experimental and empirical results were tried to be increased by using the in-depth insights provided by CFD analyses. For example, the CFD analyses conducted by [10] and [9] made significant contributions to the better understanding of heat transfer processes and the validation of empirical models. In this study, such CFD analysis results were compared with the existing experimental data to expand the accuracy and application areas of existing empirical models.

Strict controls were applied to ensure the accuracy and repeatability of the experimental design. In particular, boundary conditions such as water inlet temperature, air flow rate, and temperature were carefully controlled and kept constant. Each experiment was repeated multiple times under the same

conditions and the consistency of the obtained data was verified. In addition, the laboratory environment was kept at a constant temperature and humidity to minimize the influence of environmental factors during the experiment.

## 2.1 Boundary Conditions

The boundary conditions implemented in this experimental study are crucial for establishing a controlled environment conducive to accurate heat transfer analyses. Several key boundary conditions were meticulously defined and maintained throughout the experimental procedure. Firstly, the water inlet temperature was rigorously controlled and set at a constant value of  $50^{\circ}\text{C}$ . This initial temperature condition ensured consistency and reproducibility in the experimental setup, serving as a baseline for measuring heat transfer variations. Secondly, the airflow rate and temperature at the hose outlet were carefully regulated. The airflow rate, maintained at  $5.1\text{ m/s}$ , facilitated consistent air-water interaction throughout the experiment. The air temperature at the outlet, set at  $14^{\circ}\text{C}$ , represented the ambient conditions affecting heat dissipation from the water stream. Additionally, the vertical orientation of the hose, with one end elevated by 1 meter and the other end lowered by an equivalent length, established a gravitational influence on the flow dynamics. This vertical configuration imposed a gravitational head on the water flow, impacting the flow velocity and pressure distribution within the hose. Furthermore, the material properties of the polyethylene hose, including its thermal conductivity and surface characteristics, were considered as boundary conditions influencing heat transfer. The thermal conductivity of the hose material, specified at  $0.46\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , played a significant role in determining the heat conduction through the hose walls. Lastly, the duration of the pumping process, set at 8 minutes and 5 seconds, ensured a consistent and adequate duration for capturing steady-state conditions and minimizing transient effects during data acquisition. These meticulously defined boundary conditions collectively provided a controlled and standardized experimental framework, essential for accurate heat transfer coefficient calculations and insightful analyses of water-air interaction dynamics within the hose system. The schematic representation of the experimental setup used in the study is given in Figure 1.

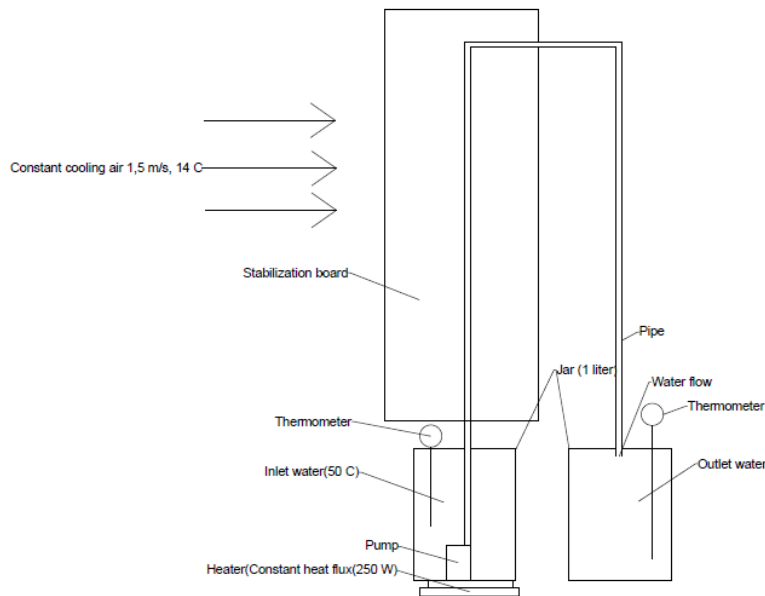


Figure 1. Boundary conditions for the present study

## 2.2 Experimental Procedure

The experimental design devised for this investigation was meticulously structured to systematically scrutinize the intricate heat transfer phenomena manifesting during the flow of water through a hose under



precisely controlled parameters. The following delineates the fundamental constituents of the experimental design framework. The experimental setup featured a precisely calibrated polyethylene hose, boasting a standardized diameter of 6 mm, alongside a thermal control unit for regulating water temperature, a precision pump to modulate water flow rates, thermometric instrumentation for accurate temperature readings, and an air modulation mechanism for controlling airflow patterns surrounding the hose assembly. Imposing stringent boundary conditions played a pivotal role in ensuring the veracity and reproducibility of experimental outcomes. These constraints included a consistently maintained water inlet temperature fixed at 50°C, an airflow rate of 5.1 m/s meticulously regulated at the hose outlet, and an ambient air temperature of 14°C meticulously sustained throughout the experimental duration. The experimental configuration encompassed the deliberate vertical positioning of the hose assembly, wherein one terminus was meticulously elevated by 1 meter while its counterpart was correspondingly lowered, thereby engendering a discernible gravitational influence on the water flow dynamics and associated heat transfer phenomena. Integral experimental parameters such as water flow rates, inlet and outlet temperatures of the water stream, airflow velocities, and the duration of the pump operation were vigilantly monitored, recorded, and meticulously documented at pre-defined intervals throughout the experimental timeframe. The data acquisition methodology adhered to a meticulous and systematic approach, facilitating the capture of steady-state conditions conducive to comprehensive heat transfer analyses. The duration of the pump operation was judiciously set at 8 minutes and 5 seconds, ensuring optimal data acquisition without compromising experimental integrity. To ensure the robustness and credibility of the experimental findings, the experiment was meticulously repeated under identical conditions, enabling data validation and fostering result reproducibility. Statistical analysis techniques were subsequently employed to assess data consistency, coherence, and overall reliability. A stringent regimen of safety protocols was rigorously implemented throughout the experimental proceedings, encompassing comprehensive electrical safety measures, meticulous equipment handling guidelines, and mandatory personnel training to mitigate potential hazards and ensure a safe experimental environment. The meticulously crafted experimental design framework delineated above underscored the systematic, structured, and methodical approach adopted in this investigation, poised to yield profound insights into the intricate heat transfer dynamics governing water flow within the stipulated hose system parameters. Table 1 lists the equipment used in the study.

Table 1. Equipment list

<b>Equipment</b>	<b>Purpose of Usage</b>	<b>Brand</b>	<b>Model</b>
Heater	Constant heat flux	Local manufacture	
Cooling fan	Constant air velocity	Arçelik	APPSB-OLA0
Thermometer	Measure temperature	Testo	830-T2
Anemometer	Measure velocity	Sinometer	AM802
Pump	Water flow	TLS Robotic	

Figure 2 shows the experimental study setup.

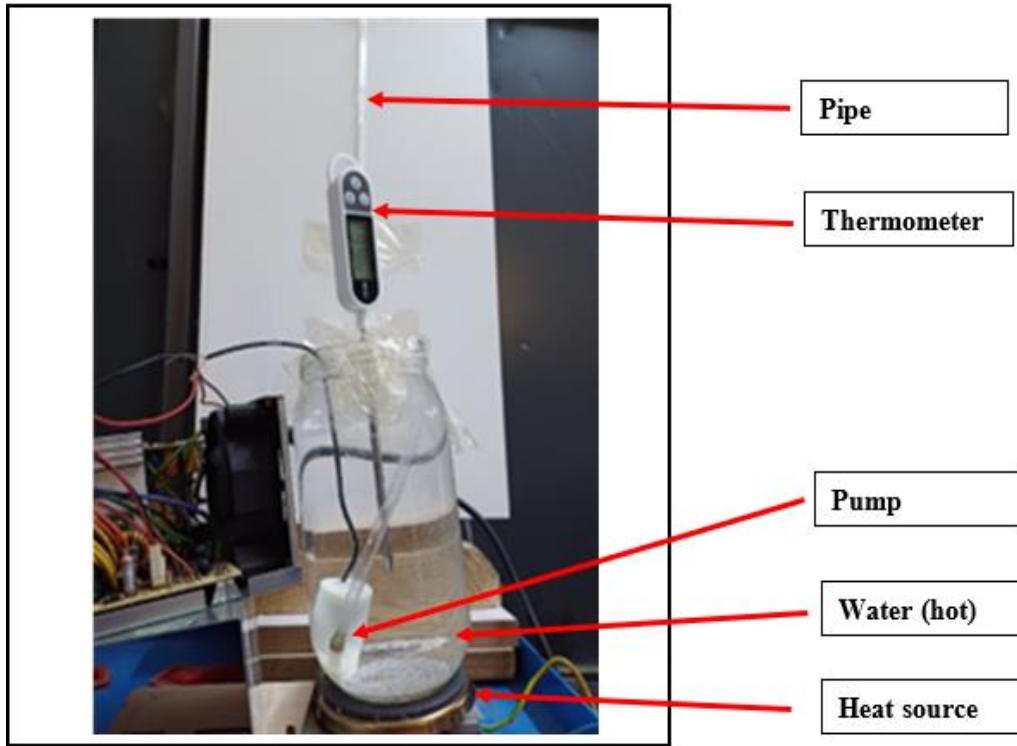


Figure 2. Experimental setup

### 2.3 Experimental Analysis

We delve into the calculation methodology utilizing the experimental data gathered from the conducted experiments. The focus of this analysis is to determine the heat transfer coefficient ( $h$ ) based on the specific parameters measured during the experimental setup. By employing the collected data, including water inlet and outlet temperatures, airflow rates, and other pertinent variables, we aim to calculate the heat transfer coefficient ( $h$ ) using established formulas and analytical methods. This calculation process is integral to understand the heat transfer dynamics within the hose system under experimental conditions and will provide valuable insights into the efficiency of heat exchange in this setup.

Provided data:

Water volume (V)(m <sup>3</sup> )	0,001
Time (pump working) (t)(s)	485
Water temperature(inlet) °C	50
Water temperature(outlet) °C	42
Air temperature °C	14
Air velocity (m/s)	5,1
Diameter (Hose inner)(m)	0,006
Diameter (Hose outer)(m)	0,008
Length (Hose)(L)(m)	2
Thermal conductivity(Polyethylene)(k)(W/mK)	0,46

Mass Flow Rate ( $m^3$ ):

$$m' = \frac{V}{t} \quad (1)$$

The density of water is approximately 1000 kg/m<sup>3</sup>;

Heat Transfer

$$(Q): Q = m \cdot C_p (T_{in} - T_{out}) \quad (2)$$

Here, the specific heat capacity of water,  $C_p$ , is approximately 4181 J/(kg·K).

Hose Thermal Conductivity ( $R_{cond}$ ):

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)}{2\pi kL} \quad (3)$$

Log Mean Temperature Difference (LMTD): is an important parameter representing the temperature difference that drives the heat exchange process. This value reflects the average of the temperature differences at the inlet and outlet of the heat exchanger system.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (4)$$

Total Heat Transfer Resistance ( $R_{total}$ ):

$$R_{total} = R_{cond} + \frac{1}{hA} \quad (5)$$

$$A = \pi d_o L \quad Q = \frac{\Delta T_{lm}}{R_{total}} \quad (6)$$

## 2.4 Empirical Analysis

Reynolds Number (Re) Calculation

The Reynolds number determines whether the flow is turbulent or laminar and evaluates the airflow on the outer surface.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (7)$$

Prandtl Number (Pr) Calculation

The Prandtl number describes the relationship between momentum and thermal diffusivity in the air.

$$Pr = \frac{\rho C_p}{k} \quad (8)$$

Nusselt Number (Nu) Calculation

The Nusselt number is used to calculate the convective heat transfer coefficient. For laminar flow, an appropriate correlation should be applied. In this case, the Sieder-Tate equation for laminar flow can be used (Sieder & Tate, 1936):

$$Nu = 0.664 \cdot Re^{0.5} Pr^{0.33} \quad (9)$$

Calculation of Convective Heat Transfer Coefficient (h)

Using the Nusselt number, we can calculate the convective heat transfer coefficient

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (10)$$

## 2.5 Extended Parameter Range

The single set of experimental conditions used in this study optimized for a specific application area. However, it is recommended that future studies use a wider range of parameters, including variables such as different water inlet temperatures, hose orientations, and flow rates. This will increase the generalizability of the results and provide a wider data set for different industrial applications. Accordingly, repeating the experiments under different flow rates, temperatures, and hose configurations will enable a more comprehensive analysis of the heat transfer coefficient.

## 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section, the findings of the experimental studies are presented and the relationship between the obtained data and empirical correlations is examined. Experimental data are based on measurements performed under certain conditions and these measurements play an important role in the evaluation of heat transfer performance. Factors such as heat transfer coefficients, temperature differences, and fluid properties are critical elements that determine the effectiveness of heat transfer.

When the experimental results are compared with the values calculated for a specific fluid (such as air), the validity of the empirical correlations is questioned and the applications of these correlations in real-world conditions are evaluated. The obtained data cover both the experimental results and the empirical models found in the literature and demonstrate the consistency between them.

### 3.1 Summary of Experimental Calculations

$$m' = \frac{0.001 m^3}{485 s} = 2.06 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

$$m' \left( \frac{kg}{s} \right) = 2.06 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} = 0.00206 \frac{kg}{s}$$

$$Q = 0.00206 \frac{kg}{s} \cdot 4181 \frac{J}{kgK} \cdot (50 - 42)$$

$$Q = 68,90 W$$

$$R_{cond} = \frac{\ln \left( \frac{0.008}{0.006} \right)}{2\pi \cdot 0.462}$$

$$R_{cond} = 0.0498 K/W$$

$$\Delta T_1 = T_{in} - T_{air} = 50 \text{ } ^\circ\text{C} - 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = T_{out} - T_{air} = 42 \text{ } ^\circ\text{C} - 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{36 - 28}{\ln \left( \frac{36}{28} \right)}$$

$$\Delta T_{lm} = 31.83 K$$

$$A = \pi \cdot 0.008 m \cdot 2 m = 0.0503 m^2$$

$$68.97 W = \frac{31.83 K}{0.0498 + \frac{1}{hA}}$$

$$h = 48.30 \frac{W}{m^2K}$$

The experimental setup and calculations yielded the following results:

Heat Transfer Rate (Q): 68.90 W

Log Mean Temperature Difference (LMTD): 31.83 K

Heat Transfer Coefficient (h): 48.30 W/(m<sup>2</sup>·K)

### 3.2 Analysis with Dimensionless Numbers

The dimensionless numbers were calculated based on the experimental conditions:

Where:

- $\rho$ : Air density (approximately 1.225 kg/m<sup>3</sup> at 14°C)
- $v$ : Air velocity (1.5 m/s)
- $D$ : Outer diameter of the pipe (0.008 m)
- $\mu$ : Dynamic viscosity of air (1.81 x 10<sup>-5</sup> Pa.s at 14°C)

$$Re = \frac{(1.225)(1.5)(0.008)}{(1.81) \cdot 10^{-5}} = 812$$

Reynolds Number (Re): 812

Where:

- $C_p$ : Specific heat capacity of air (approximately 1005 J/(kg·K))
- $\mu$ : Dynamic viscosity of air (1.81 x 10<sup>-5</sup> Pa.s)
- $k$ : Thermal conductivity of air (0.0262 W/(m.K) at 14°C)

$$Pr = \frac{1005 \cdot 1.81 \cdot 10^{-5}}{0.0262} = 0.694$$

Prandtl Number (Pr): 0.694

$$Nu = 0.664 \cdot 812^{0.5} \cdot 0.694^{0.33} = 16.44$$

Nusselt Number (Nu): 16.44

$$16.44 = \frac{h \cdot 0.008}{0.0262}$$

Convection heat transfer (h) is calculated as 53,44 W/m<sup>2</sup>K

$$h = 53,44 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Heat Transfer Coefficient (h): 53.44 W/(m<sup>2</sup>·K)

### 3.3 Heat Transfer Coefficient

The heat transfer coefficient calculated from the experimental data was 48.30 W/(m<sup>2</sup>·K). In comparison, the heat transfer coefficient derived from the empirical Sieder-Tate equation was 53.44 W/(m<sup>2</sup>·K). The slight discrepancy between these values can be attributed to several factors. Experimental measurements are prone to minor errors, including inaccuracies in temperature readings, flow rate measurements, and physical properties of the materials. The empirical correlation used for the Nusselt number assumes a specific flow regime and ideal conditions, which may not perfectly match the actual experimental setup. The boundary conditions such as air velocity, ambient temperature, and hose orientation play a significant role in heat transfer dynamics. Any variations in these conditions could lead to deviations in the calculated heat transfer coefficient.

In experimental studies, thermophysical properties, especially the properties of fluids, may vary depending on the conditions of the experiment. However, in empirical correlations, these properties are generally considered constant. This may cause differences between experimental and theoretical (empirical) results. In experimental studies, especially in heat transfer calculations, these errors may become more pronounced if thermophysical properties are assumed constant.

If the following formula is used to calculate the relative error:



$$\text{Relative error} = \frac{|\text{Theoretical result} - \text{Experimental result}|}{\text{Theoretical result}} \times 100 \quad (11)$$

$$\text{Relative error} = \frac{|5,14 - 53,44|}{53,44} \times 100 = 9,62 \% \quad (12)$$

The consistency between the experimental and empirical values of the heat transfer coefficient indicates that the experimental setup and methodology were reliable. The close agreement validates the use of empirical correlations, such as the Sieder-Tate equation, for predicting heat transfer coefficients in similar configurations.

Understanding the heat transfer coefficient is crucial for designing efficient heat exchangers. The findings of this study can aid in optimizing heat exchanger performance by providing accurate predictions of heat transfer rates. Improved heat transfer efficiency directly impacts energy consumption in industrial processes. By validating empirical correlations with experimental data, industries can enhance the energy efficiency of their systems.

In the literature, empirical statements were attempted to be verified with experimental data in a similar way, and agreement was achieved with a 10% deviation [9]. When the heat transfer coefficients were obtained from the experimental data and the Nusselt number was correlated with the experimental data, compatible results were obtained [10]. Some studies developed correlations for heat transfer coefficients and Nusselt numbers using the experimental data obtained [3].

Although strict controls were applied to ensure the accuracy and reproducibility of the experimental design, the use of a wider range of parameters would increase the generalizability and accuracy of the results obtained. Future studies should aim to increase the validity of the present findings by performing a more comprehensive analysis of the heat transfer coefficient under different experimental conditions. In this context, repeating the experiments in a wider range will provide more reliable and comprehensive data sets for different application areas.

#### 4. CONCLUSION

The comparative analysis of the heat transfer coefficient calculated from inlet and outlet temperatures with values obtained from empirical expressions demonstrated good agreement. The study confirms the reliability of using empirical correlations for practical applications and highlights the importance of experimental validation in heat transfer research. The results provide valuable insights for optimizing heat transfer processes in various industrial and engineering applications.

#### 5. FUTURE WORK

To further enhance the accuracy and applicability of the findings, future studies could focus on:

**Extended Parameter Range:** Conducting experiments over a wider range of flow rates, temperatures, and fluid types to generalize the results.

**Advanced Measurement Techniques:** Utilizing more precise instrumentation and data acquisition methods to minimize uncertainties.

**Numerical Simulations:** Complementing experimental studies with computational fluid dynamics (CFD) simulations to gain deeper insights into the heat transfer mechanisms.

#### REFERENCES

- [1] R. Gugulothu, K. Akkiraju, S. Somanchi, and V. K. Reddy, "ScienceDirect A Review on Enhancement of Heat Transfer in Heat Exchanger with Different Inserts A Review on Enhancement of Heat Transfer in Heat Exchanger with Different Inserts," 2016. [Online]. Available: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- [2] M. ElFaham and C. C. Tang, "A Comparative Analysis of Two-Phase Flow Boiling Heat Transfer Coefficient and Correlations for Hydrocarbons and Ethanol," Aug. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/en16165931.
- [3] H. Shi, N. Di Miceli Raimondi, M. Cabassud, C. Gourdon, and C. Gourdon Experimen, "Experimental study of heat transfer coefficient in heat exchanger reactors with square millimetric zigzag channels," *Chemical Engineering and Processing*, vol. 182, 2022, doi: 10.1016/j.cep.2022.109194i.
- [4] Y. Xuan and Q. Li, "Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids," *J Heat Transfer*, vol. 125, no. 1, pp. 151–155, Feb. 2003, doi: 10.1115/1.1532008.
- [5] Y. Li, M. Li, Y. Li, W. Cai, and L. Yao, "Experimental investigation on the heat transfer performance of falling film evaporation with lubrication oil on horizontal tubes having different structures," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 160, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2020.106669.
- [6] S. Kim, S. Kang, and J. Lee, "High-Thermal-Conductivity and High-Fluidity Heat Transfer Emulsion with 89 wt % Suspended Liquid Metal Microdroplets," *ACS Omega*, vol. 8, no. 20, pp. 17748–17757, May 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c00487.
- [7] K. Apmann, R. Fulmer, B. Scherer, S. Good, J. Wohld, and S. Vafaei, "Nanofluid Heat Transfer: Enhancement of the Heat Transfer Coefficient inside Microchannels," *Nanomaterials*, vol. 12, no. 4, Feb. 2022, doi: 10.3390/nano12040615.
- [8] Y. Zhai, G. Xia, Z. Li, and H. Wang, "Experimental investigation and empirical correlations of single and laminar convective heat transfer in microchannel heat sinks," *Exp Therm Fluid Sci*, vol. 83, pp. 207–214, 2017, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2017.01.005.
- [9] S. S. Pawar and V. K. Sunnapwar, "Experimental studies on heat transfer to Newtonian and non-Newtonian fluids in helical coils with laminar and turbulent flow," *Exp Therm Fluid Sci*, vol. 44, pp. 792–804, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2012.09.024.
- [10] V. M. Hameed, M. A. Hussein, and H. T. Dhaiban, "Investigating the effect of various fin geometries on the thermal performance of a heat sink under natural convection," *Heat Transfer*, vol. 49, no. 8, pp. 5038–5049, Dec. 2020, doi: 10.1002/htj.21866.
- [11] S. Yu, T. Tang, J. Li, and P. Yu, "Effect of prandtl number on mixed convective heat transfer from a porous cylinder in the steady flow regime," *Entropy*, vol. 22, no. 2, Feb. 2020, doi: 10.3390/e22020184.
- [12] D. Taler, "Experimental determination of correlations for average heat transfer coefficients in heat exchangers on both fluid sides," *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, vol. 49, no. 8, pp. 1125–1139, 2013, doi: 10.1007/s00231-013-1148-5.
- [13] T. A. Moreira, A. R. A. Colmanetti, and C. B. Tibiriçá, "Heat transfer coefficient: a review of measurement techniques," Jun. 01, 2019, *Springer Verlag*. doi: 10.1007/s40430-019-1763-2.