

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PALMIYE AĞACI ATIKLARINDAN SELÜLOZ ELDESİ
VE KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE
KULLANILMASI**

Farah Darwish Khabbaz

Ağustos 2025

Çevre Mühendisliği

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

**PALMIYE AĞACI ATIKLARINDAN SELÜLOZ ELDESİ
VE KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE
KULLANILMASI**

Farah Darwish KHABBAZ

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu Yüksek Lisans Tezi 14/08/2025 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Jüri: Doç. Dr.Turan YILMAZ (Danışman)

: Prof.Dr. Galip SEÇKİN

: Prof.Dr. Sabri ULUKANLI

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.

Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
TABLOLAR DİZİNİ	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VI
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. PALMİYE.....	3
2.2. SELÜLOZ	4
2.3. SELÜLOZUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	9
2.4. SELÜLOZUN KİMYASAL TEPKİMELERİ.....	10
2.5. SELÜLOZ TÜREVLERİ.....	14
2.6. KARBOKSİMETİL SELÜLOZ	15
2.6.1.Karboksimetil Selülozun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	15
2.6.2. Karboksimetil Selülozun Kullanım Alanları.....	18
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
3.1.Palmiye Ağacı Yapraklarından (Phoenix dactylifera L.) Selüloz Nanokristallerinin Tekrarlanan Kimyasal İşlemlerle Hazırlanması.....	23
3.2.Palmiye Atığından Selüloz Nanokristallerinin İzolasyonu ve Karakterizasyonu.....	23
3.3Ardışık Kimyasal İşlemler Kullanılarak Yağ Palmiyesi Yaprakları Biyokütlesinden Mikrokristalin Selülozun İzolasyonu ve Karakterizasyonu	24
3.4Palmiye Ağacı Selülozunun Ekstraksiyonu ve Aşı Kopolimerizasyonu Yoluyla Fonksiyonelleştirilmesi	26
3.5. Hurma Biyokütlesi Atığının Selüloz ve α -Selüloz İzolasyonu ve Karakterizasyonu.....	26
3.6. Hurma Lifinden Selüloz Nanokristal (CNC) Üretimi ve Karakterizasyonu	28
3.7. Palmiye Liflerinden Karboksimetil Selüloz (CMC) Sentezi ve Ozon Ön İşleminin Etkileri.....	28

3.8Genç Palmira Palmiye Meyve Kabuğundan Karboksimetil Selüloz.....	29
3.9Palmiye Yaprığı Liflerinden Karboksimetil Selüloz (CMC) Sentezi ve Özelliklerinin İncelenmesi.....	30
3.10Palmiye Salkımı ve Bagas Tarımsal Atıklarından Elde Edilen Karboksimetil Selüloz (CMC) ve CMC Filmlerinin Üretimi	31
3.11Tarımsal Atıklardan Karboksimetil Selüloz (CMC) Üretimi ve NaOH'nin Sübstisüsyon Derecesine Etkisi.....	32
3.12Tarımsal Atıklardan Selüloz Asetat Üretimi	32
4. MATERYAL VE METOT	33
4.1.Materyal.....	33
4.2.Metot.....	33
4.2.1. Hasat ve Durulama	33
4.2.2. Selüloz ekstraksiyonu ve hazırlanması.....	34
4.2.3. Selüloz Verimi.....	35
4.2.4. Karboksimetil Selüloz (CMC) Sentezi.....	36
4.2.5. Karboksimetil selüloz (CMC) verimi.....	37
4.2.6. Selüloz Asetat Sentezi	37
4.2.7. Selüloz Asetat Verimi	38
4.2.8. Hidrolik Pres ile Selüloz Türevlerinin Şekillendirilmesi	39
4.2.9. XRD (X-Işını Kırınımı) Analizi.....	41
5BULGULAR VE TARTIŞMA	41
5.1. SELÜLOZ EKSTRAKSİYONU VE HAZIRLANMASI.....	41
5.2. KARBOKSİMETİL SELÜLOZ (CMC) SENTEZİ	44
5.3. XRD ANALİZİ (X-IŞINI KIRINIMI)	46
5.4. SELÜLOZ VE TÜREVLERİNİN PH TESTİ.....	47
6. SONUÇ.....	49
7 .KAYANAKLAR	50

PALMIYE AĞACI ATIKLARINDAN SELÜLOZ ELDESİ VE KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Farah Darwish khabbaz

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Turan Yılmaz

Çevre Mühendisliği

ÖZ

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir ve sürdürülebilir biyomalzemelerden biri olan selüloz ve türevlerinin elde edilmesi, karakterizasyonu ve potansiyel uygulama alanları araştırılmıştır. Araştırma materyali olarak, Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarı bahçesinde bulunan ve Türkiye'de "Akdeniz palmyesi" olarak bilinen *Chamaerops humilis* bitkisinin kurutulmuş ve öğütülmüş yaprakları kullanılmıştır. Bitki yaprakları öncelikle su ile yıkanarak temizlenmiş, ardından küçük parçalara ayrılarak düşük nem seviyesine ulaşana kadar kurutulmuş ve toz haline getirilmiştir. Toplamda 6 kg palmye materyali toplanmış ve değerlendirilmiştir.

Selüloz ekstraksiyon sürecinde alkali (NaOH) ve oksidatif (H₂O₂) işlemler uygulanmış; elde edilen selülozun verimi %11,54 olarak hesaplanmıştır. Ek olarak, 2 gram selülozdan sentezlenen karboksimetil selülozun (CMC) verimi %66,5; selüloz asetatın ise %82 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kullanılan yöntemlerin yüksek verimlilikte olduğunu göstermiştir. Elde edilen ürünlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri pH testleri, çözünürlük analizleri ve XRD (X-Ray Difraksiyon) analizi gibi yöntemlerle incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda ürünlerin yüksek saflıkta olduğu ve zararlı kimyasal kalıntılardan arındırıldığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, üretilen biyomalzemelerin çevre dostu olduğunu ve endüstriyel uygulamalara uygunluk taşıdığını ortaya koymuştur.

Ayrıca, elde edilen selüloz türevlerinin biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olduğu ve bu nedenle biyomedikal, gıda ve tekstil gibi birçok sektörde kullanılabilir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma; selüloz temelli biyomalzemelerin sürdürülebilir üretimi ve çevre dostu uygulamaları açısından önemli katkılar sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Selüloz, Karboksimetil selüloz (CMC), Selüloz asetat, Akdeniz palmyesi, Bitkisel Atık, Lignin, Palmye,

**EXTRACTION OF CELLULOSE FROM PALM
TREE WASTES AND ITS USE IN THE PRODUCTION
OF COMPOSITE MATERIALS**

Farah Darwish Khabbaz

Advisor: Dr. Öğretim Üyesi Turan Yılmaz

Environmental Engineering

ABSTRACT

In this thesis study, the extraction, characterization, and potential application areas of cellulose and its derivatives one of the renewable and sustainable biomaterials were investigated. As the research material, dried and ground leaves of *Chamaerops humilis*, commonly known in Türkiye as the "Mediterranean dwarf palm," and located in the garden of the Chemistry Laboratory of the Environmental Engineering Department at Çukurova University, were utilized. The palm leaves were initially washed with water to remove dust and foreign substances, then cut into small pieces, dried under appropriate conditions to reach a low moisture content, and finally ground into a fine powder. A total of 6 kg of palm material was collected and processed.

During the cellulose extraction process, alkaline (NaOH) and oxidative (H₂O₂) treatments were applied. The cellulose yield was calculated as 11.54%. Additionally, the yield of carboxymethyl cellulose (CMC) synthesized from 2 grams of cellulose was determined to be 66.5%, while that of cellulose acetate was 82%. These results indicate that the methods used were highly efficient. The physical and chemical properties of the obtained materials were analyzed using pH measurements, solubility tests, and X-ray diffraction (XRD) analysis. The analyses showed that the products had high purity and were free from harmful chemical residues. These findings demonstrate that the produced biomaterials are environmentally friendly and suitable for industrial applications. Moreover, the cellulose derivatives obtained were found to be biodegradable, indicating their potential applicability in various sectors such as biomedical, food, and textiles. In conclusion, this study provides significant contributions to the sustainable production and eco-friendly applications of cellulose-based biomaterials.

Keywords: Cellulose, Carboxymethyl cellulose (CMC), Cellulose acetate, Mediterranean palm, Plant Waste,

TEŞEKKÜR

Danışmanlığımı üstlenen gerek derslerimde ve gerekse Yüksek Lisans tez çalışmalarında anlayış ve yardımlarını esirgemeyen, bilgisi, tecrübesi ve katkılarıyla bana yol gösteren, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan değerli hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Turan Yılmaz ve tanıdığım andan itibaren her konuda bana destek olan, tez aşamamda ve deneyleri yaparken bana destek veren, Yüksek lisans tez çalışmamın her anında yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen Araş. Gör. Yiğit Seçkin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde maddi ve manevi her konuda beni destekleyen, her zaman yanımda olan, tez dönemimde her an destekçilerim olmuşlar annem Jumana Tarakji, babam Mohammed Filifli ve son olarak ağabeyim kemal Filifli sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



TABLÖLAR DİZİNİ

TABLO 1: LİGNOSELÜLOZİK MATERYALLERİN İÇERİĞİ.....	7
TABLO 2: KARBOKSİMETİL SELÜLOZUN KULLANIM ALANLARI	19
TABLO 3: PEAK LİST	46



ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL 1: SELÜLOZUN KİMYASAL YAPISI	5
ŞEKİL 2:SELÜLOZ YAPISI	6
ŞEKİL 3: SELÜLOZUN KRİSTAL VE AMORF BÖLGELERİ	7
ŞEKİL 4: SELÜLOZUN KRİSTAL YAPISI.....	8
ŞEKİL 5: KARBOKSİMETİL SELÜLOZUN MOLEKÜLER YAPISI.....	16
ŞEKİL 6: PALMİYE ATIKLARINDAN NANOSSELÜLOZUN ÇIKARILMASININ AŞAMALARI	24
ŞEKİL 7: OPF LİFLERİNİN İZOLASYONU VE SELÜLOZ ÇIKARMA İŞLEMİNİN AKIŞ ŞEMASI.	25
ŞEKİL 8: (A) İZOLE EDİLMİŞ SELÜLOZUN, (B) İLK AĞARTMADAN SONRAKİ SELÜLOZUN (C), İKİNCİ AĞARTMADAN SONRAKİ SELÜLOZUN; (D)–(F) AĞARTILMAMIŞ A-SELÜLOZ NUMUNELERİNİN VE (X) TİCARİ BİR A-SELÜLOZ NUMUNESİNİN FOTOĞRAFLARI.	27
ŞEKİL 9: PALMİYE YAPRAKLININ HASADI3W	34
ŞEKİL 10: (A): ÖĞÜTÜLMÜŞ PALMİYE YAPRAKLARI (B): ALKALİ İŞLEMİ (C): AĞARTMA İŞLEMİ (D): ELDE EDİLEN ISLAK HAMUR (E): HAM SELÜLOZ.....	35
ŞEKİL 11: (A) ÖĞÜTÜLMÜŞ HAM SELÜLOZ, (B): KULLANILAN FIRIN, (C): KURUDUKTAN SONRA CMC	37
ŞEKİL 12: ELDE EDİLEN SELÜLOZ ASETAT	38
ŞEKİL 13:KULLANILAN HİDROLİK PRES CİHAZI.....	39
ŞEKİL 14:ELDE EDİLEN SELÜLOZ	40
ŞEKİL 15:ELDE EDİLEN KARBOKSİMETİL SELÜLOZ.....	40
ŞEKİL 16:ELDE EDİLEN SELÜLOZ ASETAT	40
ŞEKİL 17:PALMİYE BİTKİ YAPRAKLARDAN ÜRETİLEN SELÜLOZ XRD ANALİZİ İLE BELİRLENMİŞ KRİSTAL YAPISI.....	41
ŞEKİL 18: A) İPLİK KESME YÖNTEMİ B) İP KESME YÖNTEMİNİ KULLANARAK SELÜLOZ EKSTRAKSİYONU C) 6 GRAM PALMİYE YAPRAĞINDAN YALNIZCA 0,904 GRAM SELÜLOZ ELDE EDİLMİŞTİR.	42
ŞEKİL 19: CMC 1.....	45
ŞEKİL 20:CMC 2	45
ŞEKİL 21: XRD ANALİZİ	46
ŞEKİL 22:PH TESTİ 1) SELÜLOZ 2) SELÜLOZ ASETATI 3)CMC	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

CMC: Karboksimetil selüloz

CNF : Selüloz Nano Fiberler

TEM : Transmisyon Elektron Mikroskobu

SK : Selüloz Kazanımı

KKS : Katıda Kalan Selüloz Miktarı

BSM : Başlangıçtaki Katıda Bulunan Selüloz Mitarı

XRD : X-Ray Diffraction

MFS : Mikrofibril Selüloz

NKS: Nanokristalin Selüloz

1. GİRİŞ

Sentetik ve biyolojik olarak parçalanamayan malzemelerin kullanımının hızla artması, insanlar ve çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Küresel ekonomik koşullar, yenilenebilir ve çevre dostu kaynakların kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Bu kaynaklar, bitkilerin ve ağaçların tamamından veya bir kısmından, ayrıca bunların atık ürünlerinden elde edilebilir. Çünkü bu materyaller, farklı alanlarda kullanılabilecek çok sayıda bileşen içermektedir. Selüloz, kağıt, karton, tekstil, biyoplastik ve gıda katkı maddesi olarak kullanılan, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bir bileşendir. Lignin, yapı malzemeleri, yapıştırıcılar, karbon fiber üretimi ve biyoyakıtlar gibi alanlarda değerlendirilirken, enerji depolama kapasitesi ile de öne çıkar. Hemiselüloz, biyoyakıt üretiminde, gıda katkı maddesi ve stabilizatör olarak kullanılabilirken selülozdan daha amorf bir yapıya sahiptir. Pektin, gıda endüstrisinde jel oluşturucu (örneğin reçel ve jölelerde) ve farmasötik ürünlerde taşıyıcı olarak kullanılmaktadır. Tanenler, deri işleme, ahşap koruma, antioksidan kaynakları ve farmasötik ürünlerde kullanılırken, antimikrobiyal özellikleri ile dikkat çeker. Reçineler, yapıştırıcılar, vernikler, biyoplastikler ve mühendislik malzemelerinde su geçirmezlik ve kimyasal dayanıklılık sağlamaktadır. Esansiyel yağlar, parfümeri, aromaterapi, gıda katkı maddeleri ve pestisitlerde kullanılmakta olup, bitkilerden elde edilen uçucu bileşiklerdir. Doğal kauçuk (lateks), lastik, yapıştırıcı ve medikal ürünlerde esnek yapısıyla dayanıklılık sunmaktadır. Proteinler, örneğin zein ve soya proteini, ambalaj malzemeleri, biyoplastikler ve gıda takviyelerinde kullanılan, biyobozunur ve sürdürülebilir bileşenlerdir. Fenolik bileşikler ise antioksidan üretimi, farmasötik ürünler ve kozmetikte, antibakteriyel ve antioksidan özellikleriyle yer almaktadır. Bu bileşenler, bitkisel kaynakların çok yönlülüğünü ve sürdürülebilir çözümler sunma potansiyelini göstermektedir. Çevre dostu malzemelerin geliştirilmesi, bu tür doğal bileşenlerin etkin bir şekilde kullanılmasına bağlıdır. Ekonomik başarı ve çevresel sürdürülebilirlik için 21. yüzyılın "biyoekonomi" modeli, yenilenemeyen kaynaklar yerine yenilenebilir kaynakların kullanımını teşvik etmektedir. Selüloz, yüksek termal kararlılığı, düşük termal iletkenliği ve çok yönlü kristal yapısı sayesinde özellikle biyokompozit üretiminde geniş bir uygulama alanına sahiptir. Selülozun dayanıklılığı ve biyolojik olarak parçalanabilirliği, tarımsal atıklar (pirinç samanı, mısır külü, hurma artığı vb.) ile kâğıt hamuru ve kâğıt yapımı yan ürünlerinden elde edilen yenilenebilir kaynaklarla birleştğinde, bu malzemeyi sürdürülebilir ve çok yönlü bir seçenek haline getirmektedir. Araştırmacılar, kristal nanoselüloz üretimi için mineral asit hidroliz yöntemlerini (örneğin H_2SO_4 ve HCl) incelemekte ve iyonik sıvılar umut verici bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, liginoselülozik atıkların ön arıtımında selülozun

ayrıştırılması için hâlâ sodyum hidroksit, sodyum klorit ve sodyum hipoklorit gibi kimyasalların kullanılması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, bu süreçlerde su ve hidrojen peroksit gibi tehlikeli kimyasalların yer aldığı da bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlarda toksik kimyasallar kullanan geleneksel yöntemler, çevresel etkileri minimize etmek için deşarj öncesi ön arıtım gerektirmektedir (Mohsin Raza ve ark., International Journal of Thermofluids, Volume 21, February 2024, 100548).

İklim değişikliği ile ilgili küresel endişeler ve petrol kaynaklarının azalması, çevre dostu malzemelerin geliştirilmesine olan ilgiyi son on beş yılda büyük ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda, palmiye atıkları değerli bir biyokütle kaynağı olarak kabul edilmektedir (Abdulrahman G. Alhamzan ve ark., 2020). Mevcut kaynaklarla üretkenliği ve yaşam kalitesini sürdürebilmek için yeniden kullanılabilir atık materyallerin değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır (Turhan ve ark., 2005).

Bu bağlamda, birçok endüstri dalı, sürdürülebilirliği destekleyen üretim yöntemleri ve hammadde seçiminde yeni çözümler arayışındadır. Yapılan araştırmalarda, özellikle tropikal bölgelerde büyük miktarda palmiye bitkisi atığı olduğu ve bu atıkların çeşitli bertaraf yöntemleriyle çevresel kirleticilere dönüştürüldüğü gözlemlenmiştir. Atık olarak değerlendirilen bu materyali çeşitli yöntemlerle hammadde olarak yeniden kullanılabilir hale getirmek ve çevre dostu bir malzeme kazandırmak amacıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Palmiye

Palmiyeler, tropik ve subtropik bölgelerde yaygın olarak bulunan bir bitki türüdür. Ağaçsı bir gövdeye sahip olan palmiyeler, tek çenekli bir monokot olarak Arecaceae (eski adıyla Palmaceae) ailesine aittir. Ancak sikas, pandanus, kordilin ve yukka gibi benzer bitkiler, özellikle acemiler tarafından kolaylıkla palmiyelerle karıştırılabilir. İsveçli botanikçi Carl von Linnaeus, palmiyeleri zarafetlerinden ötürü "Prenses" olarak adlandırarak tüm bitki türleri arasında ayrı bir yere koymuştur. (The name "Palmaceae" is not accepted because the name Arecaceae, ICBN Art. 18.5, Archived 2006-05-24 at the Wayback Machine.)

Genellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde bulunan palmiyelerin boyları birkaç santimetreden etkileyici bir şekilde 60 metreye kadar değişebilir. Botanikçiler arasında farklı görüşler olması nedeniyle dünya çapındaki palmiye türlerinin tam sayısı net olarak bilinmemekle birlikte, genellikle yaklaşık 3.000 tür olduğu kabul edilmektedir. Çoğu palmiye tropikal ve subtropikal ortamlarda gelişse de, 20 derece kuzey ve 20 derece güney enlemleri arasında yetişebilmektedir. En kuzeyde doğal olarak bulunan palmiye, Akdeniz'in kuzeybatı ve güneybatı kıyı bölgelerinde rastlanan cüce Akdeniz Yelpaze Palmiyesi (*Chamaerops humilis*) iken, en güneydeki tür Yeni Zelanda'da bulunan Tıraş Fırçası Palmiyesi (*Rhopalostylis sapida*) olarak bilinir. Genellikle ağaçsı bitkiler olarak sınıflandırılan palmiyeler, yapraklarıyla bir taç oluşturur. Çoğu tür tek bir gövdeye sahipken, bazı türlerde yer altı gövdeleri bulunabilir veya tamamen gövdeden yoksun olabilirler. Yan sürgünler sonucunda birden fazla gövde geliştiren türler olduğu gibi, sarmaşık benzeri özellikler gösteren palmiyeler de mevcuttur. Palmiyelerin yaprakları belirgin şekilleriyle dikkat çeker. Çoğu türde yapraklar palmat (el ayası şeklinde) veya pinnat (tüysü) yapıdadır. Palmat yerine "yelpaze şeklinde" terimi de kullanılabilir. Bununla birlikte, bazı türlerde farklı yaprak şekilleri de görülmektedir. Dünya çapında yaygın olarak yetiştirilen ve ekonomik değeri yüksek olan palmiyeler arasında hindistan cevizi (*Cocos nucifera*), Arap hurması (*Phoenix dactylifera*) ve Afrika yağ palmiyesi (*Elaeis guineensis*) öne çıkmaktadır. Afrika yağ palmiyesi, ekonomik açıdan en değerli palmiye türlerinden biridir. Tropikal bölgelerde palmiye yaprakları, evlerin duvarları ve çatılarını yapmak için kullanılır. Yapraklar ve saplar dokuma çantalar, sepetler, şapkalar ve çeşitli kağıt türleri üretiminde değerlendirilir. Ayrıca, palmiyeler yapı malzemesi olarak da önemlidir; kano, küçük tekne, direk ve mızrak yapımında kullanılmaktadır. Metroxylon türü palmiyelerde, sapın içindeki hamur, saf karbonhidrat yapısında nişasta içerir ve bu nişasta yerel halk tarafından gıda olarak tüketilir. Bazı palmiye türlerinde ise gövdeden elde edilen bol miktarda şekerli meyve suyu, şeker üretiminde veya

damıtılarak alkollü içecek yapımında kullanılmaktadır. Kalmus ve çeşitli sarmaşık palmye türlerinin gövdelerine "mat" adı verilir. Bu bambudan dokuma sandalyeler, sehpa, dolaplar ve diğer mobilyalar üretilmektedir. Cole, T. C. H., Palabaş-Uzun, S., & Uzun, A. (2023). ARECACEAE Filogeni: Palmiyelerin Ağacı. Freie Universität Berlin; Kahramanmaraş Sütçü İmam University.

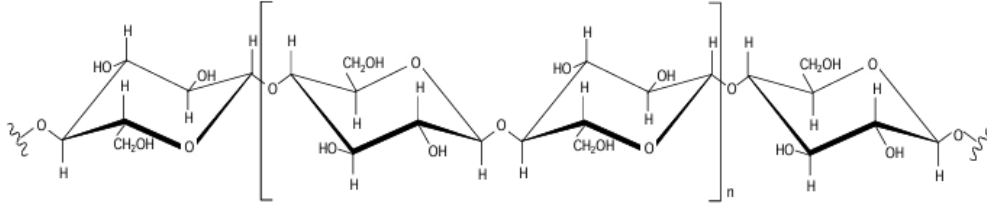
2.2 Selüloz

Selüloz, şeker gibi karbon, hidrojen ve oksijen elementlerinden oluşan bir karbonhidrattır. Bitkiler, bu elementleri havadan ve sudan elde ederek yapraklarında gerçekleşen fotosentez süreci aracılığıyla şekere dönüştürür ve bu şekeri besin suyu olarak diğer dokularına taşır. Bitkiye enerji sağlayan, gelişimini ve kendini onarmasını destekleyen bu besin suyundaki şekerin bir kısmı selüloza dönüşür. Selüloz, yeni oluşan hücrelerin çeperlerinde ve bitkinin hasar gören bölgelerinin onarımında kullanılır. Bitki hücre duvarının temel bileşeni olan selüloz, dünyada en çok bulunan biyopolimerdir. Antik çağlardan beri insanlar tarafından kullanılan selülozun, eski Mısırlılar tarafından papirus bitkisinden kağıt malzemesi, ip, sandalet ve sepet yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzdeki anlamıyla kağıt üretim süreci ise eski Çin'de geliştirilmiştir. Selülozun kimyasal yapısı ilk kez Fransız kimyager Anselme Payen tarafından 1838'de tanımlanmıştır (Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P., Bohn, A., 2005).

Pamuk ve keten lifleri gibi iplik ve kumaş yapımında kullanılan bitkisel liflerin büyük bir kısmı selülozdan oluşur. Kenevir, kağıt, halat ve sicim gibi diğer bitkisel lifler de benzer şekilde yüksek oranda selüloz içerir. Odunun yaklaşık %50'si, pamuğun ise %90'ı selülozdan meydana gelir. Ağaçlarda selüloz, lignin ile karışık bir halde bulunur. Özellikle pamuk ve odun, içlerindeki yabancı maddeler temizlenerek saf selüloz elde edilir. Selüloz, beyaz renkli, kokusuz ve tatsız bir maddedir. Yandığında karbondioksit ve su buharı açığa çıkarır. Sanayide, kağıt üretiminde, nitro selüloz ve türevlerinin hazırlanmasında, ayrıca yapay ipek üretiminde kullanılmaktadır. Marul, kereviz ve tahıl kepeği gibi birçok gıda maddesi yüksek miktarda selüloz içerir. At, inek ve deve gibi otçul hayvanların midelerinde selülozu sindirebilen bakteriler bulunur. Bu nedenle selüloz, iyi bir hayvan yemi olarak kabul edilir. Ancak insan midesinde bu bakteriler bulunmadığı için selüloz sindirilemez; yine de, gıdalardaki selüloz sindirim sisteminin düzenli çalışmasına yardımcı olduğu için faydalıdır.

Selülozun Kimyasal Özellikleri: Selüloz, %44 karbon, %6,2 hidrojen ve %49 oksijen içeren bir bileşiktir. Bu oranlar $C_6H_{10}O_5$ kimyasal formülüne karşılık gelir. Saf selüloz hidroliz edildiğinde, yaklaşık %95 verimle D-glikoza ($C_6H_{12}O_6$) dönüşür. Bu çalışmalar, selülozun yapı biriminin anhidroglikoza karşılık geldiğini göstermektedir. Yani, selülozun temel yapı

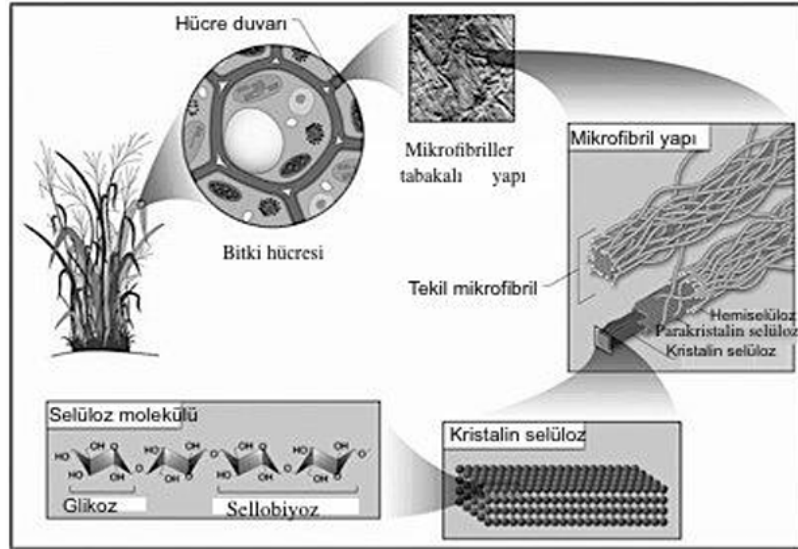
taşı, bir D-glikoz molekülünden bir su molekülü eksik olan anhidroglikoz birimidir. Anhidroglikoz birimleri, tekrar ederek uzun zincirli bir polimer molekülü oluşturur. Bu zincirdeki anhidroglikoz birimlerinin tekrar sayısına **polimerizasyon derecesi** denir. Odunlarda bu sayı 600 ila 1000 arasında değişirken, pamuk liflerinde 3500'e kadar çıkabilir. Her bir anhidroglikoz birimi, 2., 3. ve 6. karbon atomlarına bağlı üç serbest hidroksil (OH) grubu içerir. Bu hidroksil grupları, selüloz nitrat, selüloz asetat ve etil selüloz gibi ticari olarak önemli ürünlerin üretilmesine olanak sağlar.



Şekil 1: Selülozun kimyasal yapısı

Selülozun X-ışını analizi, halka oksijenlerinin karşılıklı olarak öne ve arkaya gelecek şekilde düzenlendiği sellobioz birimlerinin doğrusal zincirler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrusal moleküller, ortalama 5000 glukoz birimini içeren ve komşu zincirlerdeki hidroksil grupları arasında hidrojen bağları ile bir araya gelen küçük lifler oluşturur. Selüloz lifleri, fiziksel dayanıklılığı yüksek olan, merkez eksenini etrafında zıt yönlerde sarmal bir yapı sergileyen liflerden oluşmaktadır. Ayrıca, selüloz lifleri tamamen kristal bir yapıya sahiptir. Selülozun yapısındaki değişiklikler, kristal parçalarının düzensiz bir şekilde bir araya gelmesinden kaynaklanmaktadır (Kirk-Othmer, 1967).

Demetler halinde bir arada tutulan selüloz moleküllerinin oluşturduğu büyük yapılara fibril denir. Aynı yönde uzanan 40 selüloz molekülünün bir araya gelmesiyle oluşan, çapı 3,5 nm olan en küçük demet, **temel fibril** olarak adlandırılır. Temel fibriller bir araya gelerek mikrofibrilleri, mikrofibriller ise bir araya gelerek tabakaları oluşturur. Elektron mikroskobu altında görülebilen en küçük yapısal birim **mikrofibril**dir (Şekil 2). Lignin ve diğer ara maddeler, mikrolifler arasındaki 10 nm genişliğindeki dar boşlukları doldurur (Tozluoğlu, A., Çöpür, Y., Özyürek, Ö., Çıtlak, S., 2015).



Şekil 2:Selüloz yapısı

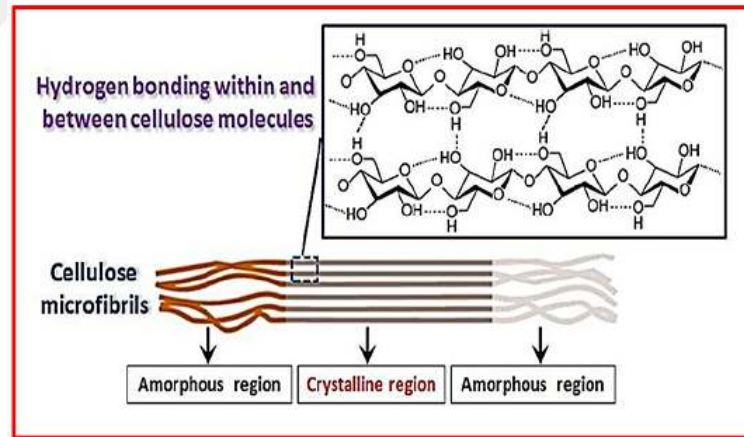
Selüloz, esas olarak orman kaynaklarından ve odunsu olmayan lignoselülozlardan (örneğin, kenevir, keten, jüt, rami, kenaf ve pamuk) elde edilir. Ayrıca, tarımsal atıklar ve yan ürünler (örneğin, mısır koçanı, palmye atıkları, pirinç kabuğu ve şeker kamışı küspesi) de selüloz üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bitkilerin, otların ve ağaçların temel yapı taşı olan selüloz, bitkilere sağlamlık, dik durma ve destek sağlama işlevi görmektedir. Odunun ağırlığının yaklaşık %40'ını, ketenin %60-85'ini ve pamuk liflerinin %85-90'ını selüloz oluşturmaktadır (Kurtuluş, M., 2010).

Bitkisel liflerde selülozdan sonra en önemli bileşenler hemiselüloz ve lignindir. Selüloz yarı kristal bir polimerken, hemiselüloz ve lignin amorf bir yapıya sahiptir. Bitkisel materyallerde bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin, lignoselülozik yapı olarak adlandırılmakta ve bu yapı, selüloz, hemiselüloz ve lignin arasındaki nano ölçekli etkileşimlerin bir sonucu olarak biyo-nanokompozit kabul edilmektedir. Selüloz, hemiselüloz ve ligninin lignoselülozik yapı içerisindeki oranları, türlere göre değişiklik göstermektedir (Hon, D.N.S., Shiraishi, N., 2001).

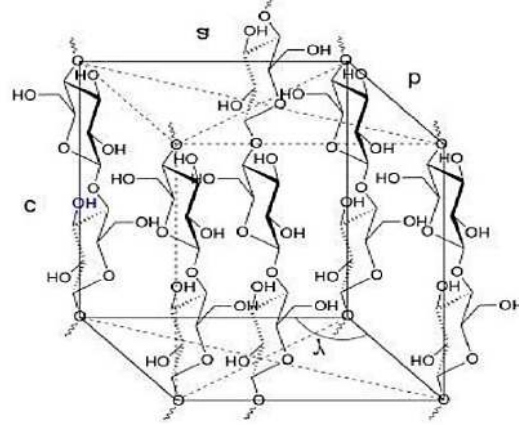
Materyal	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
Sert odun	40-55	24-40	18-25
Yumuşak odun	45-50	25-35	25-35
Jüt	61-71.5	13.6-20.4	12-13
Keten	71	18.6-20.6	2.2
Kenevir	70.2-74.4	17.9-22.4	3.7-5.7
Rami bitkisi	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7
Sisal bitkisi	67-78	10-14.2	8-11
Mısır koçanı	33.7-41.2	31.9-36	6.1-15.9
Şeker kamışı küspesi	40-41.3	27-37.5	10-20
Buğday samanı	32.9-50	24-35.5	8.9-17.3
Pirinç kabuğu	36.2-47	19-24.5	9.9-24
Mısır sapı	35-39.6	16.8-35	7-18.4
Arpa samanı	33.8-37.5	21.9-24.7	13.8-15.5
Pamuk sapı	38.4-42.6	20.9-34.4	21.45
Muz atığı	13	15	14
Kahve hamuru	33.7-36.9	44.2-47.5	15.6-19.1
Fındık kabuğu	25-30	22-28	30-40
Sorgum samanı	32-35	24-27	15-21
Yulaf samanı	31-35	20-26	10-15

Tablo 1: Lignoselülozik materyallerin içeriği

Selüloz, Şekil 3'te gösterildiği gibi, kristalleşme nedeniyle kristal ve amorf bölgelerden oluşur. Selülozda maddenin moleküler yapısı, moleküller arasında bulunan hidrojen bağlarının sonucu olarak oluşur. Glikoz, iki tür bağın bulunduğu selülozu oluşturur: Aynı zincirdeki bitişik moleküller arasında bulunan hidrojen bağları ve bitişik zincirler arasında bulunan hidrojen bağları. Bu bağlar, selülozun kristal yapısını oluşturur ve kristalin şekli Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 3: Selülozun kristal ve amorf bölgeleri



Şekil 4: Selülozun kristal yapısı

Saf selüloz, higroskopik bir madde olup %6-12 oranında su emme kapasitesine sahiptir. 100°C'ye kadar ısıtıldığında bu suyu tekrar kaybedebilir. Düşük basınç altında erimez, ancak 260°C'ye kadar ısıtıldığında parçalanarak erime sürecine girer. Yoğunluğu 1,45-1,52 arasında değişir. Suda, alkali ve asidik çözeltilerde şişerek kolloidal bir yapı kazanır. Tuzlu bir çözeltide erimeden önce büyük miktarda tuz emerek şişer ve hacmi artar; ardından yavaşça jelatinimsi bir hale dönüşür. Bu özellikleri sayesinde selüloz, birçok kimyasal madde üretiminde kullanılmaktadır. Günümüzde selüloz, dokuma endüstrisi, kağıt, suni lif, lak vernik, film, barut, diğer patlayıcı maddeler ve plastik üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Selüloz, su, benzen, alkol, aseton ve kloroform gibi organik çözücülerde çözünmez. Odun selülozunun %85'i, %75,5 oranındaki sodyum hidroksit çözeltisinde çözünmez. Bu kısma keyfi olarak "alfa selüloz" adı verilmiştir ve bu bölüm, rejenere selüloz ile çeşitli selüloz türevlerinin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Seyreltik sodyum hidroksit ile işlem gören selülozdan meriserize pamuk elde edilir. Selüloz, "Schweitzer çözeltisi" olarak bilinen bakır(II) hidroksit ve derişik amonyum hidroksit karışımında çözünür. Bu çözelti, ince deliklerden bir asit banyosundan geçirildiğinde rejenere selüloz elde edilir. Rejenere selüloz, piyasada viskoz rayonu olarak adlandırılmaktadır (Kirk-Othmer, 1967).

2.3 Selülozun Fiziksel Özellikleri

Bir selüloz molekülünün zincir uzunluğu yaklaşık 500 ila 1000 angstromdur. Selüloz liflerinin X-ışını analizi, lifi oluşturan moleküllerin, lifin kristal bölgeleri adı verilen belirli bölgelerinde spesifik bir kristal formda olduğunu göstermiştir. Selüloz molekülleri, bu bölgelerde yoğun bir şekilde paketlenmiş, bitişik selüloz zincirleri arasında hidrojen bağlarının oluşması için en iyi fırsatları sağlar. Diğer alanlarda ise farklı parçacıkların organizasyonu daha zayıftır. Bu bölgelere "amorf bölgeler" denir. Amorf alanlar, aktif olmayan bölgeden ve kristalleşmeye yakın bölgeden kaynaklanır. Kristalin selüloz ve amorf selüloz miktarı, selüloz lifinin fiziksel özellikleri ve performansı üzerinde büyük etkiye sahiptir. Selülozun yüksek bir moleküler kohezyon yeteneği vardır, ancak nüfuz edici maddelerin polarlığı yüksekse liflerde şişme meydana gelir. SO_2 , NH_3 , CO_2 gibi polar gazlar, polar olmayan gazlardan daha büyük ölçüde adsorbe edilir. Kuru selüloz, bilinen en nem çekici maddelerden biridir ve nemi, fosfor pentoksit de dahil olmak üzere bilinen tüm kurutma maddelerinden alır. Su, selülozun lif yapısında kolloidal (bağlı) su, kılcal su ve absorbe edilmiş su şeklinde bulunabilir.

Isı, selüloz üzerinde asitler veya yükseltgen maddelerden daha güçlü bir yıkıcı etkiye sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda kurutulan selüloz liflerinde, suyun yok olması nedeniyle su emme kapasitesi ve şişme yeteneğinde ciddi azalmalar gözlemlenir. Bu azalmalar, bitişik selüloz molekülleri arasında gerçekleşen kimyasal çapraz bağlanmalar ve artan hidrojen bağı oluşumundan kaynaklanmaktadır. Selülozun dikkate değer özelliklerinden biri, sulu süspansiyon durumunda zeta potansiyeli adı verilen negatif bir elektrokinetik potansiyele sahip olma yeteneğidir. Selüloz lifleri, sulu ortamda hidroksil gruplarını absorbe ederek liflerin çevresinde negatif yüklü bir tabaka oluşturur. Bu durumda, pozitif yüklü iyonlar çekilir ve böylece lif yüzeyi ile dış tabakadaki pozitif iyonlar arasında 'zeta potansiyeli' olarak adlandırılan bir potansiyel farkı meydana gelir. Selülozun ortalama yoğunluğu, kaynağı ve kimyasal işleme bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Amorf yapıya sahip selülozun yoğunluğu $1,471 \text{ g/cm}^3$ ile $1,489 \text{ g/cm}^3$ arasında, selüloz I'nin yoğunluğu $1,590 \text{ g/cm}^3$ ile $1,630 \text{ g/cm}^3$ arasında ve selüloz II'nin yoğunluğu ise $1,600 \text{ g/cm}^3$ ile $1,615 \text{ g/cm}^3$ arasındadır. Higroskopik özellik göstermesine rağmen selüloz suda çözünmez. Bununla birlikte, %72 H_2SO_4 , %40 HCl veya %85 H_3PO_4 gibi derişik mineral asit çözeltilerinde çözünebilme kabiliyetine sahiptir. Ayrıca, %72'lik $ZnCl_2$ gibi bazı yoğun tuz çözeltileri ve %10'luk $NaOH$ çözeltisi, selülozu şişirebilir ve düşük molekül ağırlıklı parçalara ayırabilir. Selülozun çözünmesi için iki ana çözücü kullanılır: kupramonyum ve bakır(III) etilen diamin. Ayrıca demir-sodyum tartarat kompleksi de çözücü olarak görev yapabilmektedir. Dibenzydimetilamonyum hidroksit de selülozu çözebilmektedir. Ek olarak, selüloz, susuz azot

tetraoksit ve asetonitril gibi belirli organik bileşiklerin karışımlarında da çözünebilmektedir. (Casey, 1960; Kirk-Othmer, 1967; Brandrup ve Immergut, 1975; Feller ve Wilt, 1990).

Selülozun özelliklerinin değerlendirilmesinde çözelti halindeki selülozun viskozitesi, başlıca yöntemlerden biri olarak kabul edilir. Özellikle selüloz türevlerinin üretim süreçlerinde, viskozite testi, selülozun uygunluğunun belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Viskozitenin, hem selüloz konsantrasyonu hem de polimerizasyon derecesi arttıkça yükseldiği gözlemlenir. Ortalama polimerizasyon derecesini belirlemek için tercih edilen en basit ve yaygın yöntem, çözelti viskozitesinin ölçümüdür. Bu ölçüm, uzun zincirli moleküllerin zincir uzunluğu arttığında çözelti viskozitesinin de artacağı ilkesine dayanır. Selüloz yapısının incelenmesinde moleküler zincir teorisine göre, düşük viskozite değeri düşük ortalama zincir uzunluğunu işaret eder. Bununla birlikte, uzun zincirli moleküllerin çözelti viskozitesi, aynı zamanda çözelti konsantrasyonundan da büyük ölçüde etkilenmektedir (Casey, 1960; Kirk-Othmer, 1967; Brandrup ve Immergut, 1975; Feller ve Wilt, 1990).

2.4 Selülozun Kimyasal Tepkimeleri

Selüloz, çeşitli kimyasal maddelere maruz kaldığında belirli değişikliklere uğramaktadır. Bu değişiklikler, selülozun kimyasal reaksiyonlara verdiği tepkilerin iki ana mekanizma üzerinden gerçekleşmesiyle oluşur: biri, selülozun zincirinin sonunda bulunan hidroksil (OH) grupları vasıtasıyla, diğeri ise halkalar arasındaki bağlantıları sağlayan zincir bağları üzerinden etki eder. Bazı kimyasal maddeler, selülozun makrokapiler yapısına etki ederek yalnızca yumuşamasına sebep olurken, mikrokapiler yapıya etki edenler ise selülozun yapısının bütünlüğünü bozarak parçalanmasına neden olmaktadır. Bu durumda bağlar ya kopar ya da kırılır. Selüloz üzerindeki etkiler aşağıdaki sonuçları ortaya çıkarır: a. Selülozun ortalama zincir uzunluğu bozulmadan, sadece yumuşar, dispersiyona uğrayarak dağılır veya zincir gruplarının kimyasal yapısında değişiklikler meydana gelir. b. Eğer selülozun ortalama zincir uzunluğu küçülürse, bu durumda maddenin doğal hali değişir ve rejenerasyona uğramış olur. c. Selülozun yapısında kimyasal değişiklikler yapılarak hidroksil grubunun esterleşmesi veya ksantasyon sürecine sokulması sağlanır. Selülozun türevlerine dönüştürülmesinin iki ana nedeni bulunmaktadır. İlk olarak, selülozun yaygın çözücülerde düşük çözünürlüğe sahip olması ve bu nedenle kolayca işlenememesi gelmektedir. İkinci neden ise, selülozun fiziksel özelliklerinin türevleri aracılığıyla modifikasyona uğratılabilmesidir. Bu süreçlerde kullanılan reaksiyonlar arasında oksidasyon, depolimerizasyon, hidroksil gruplarının organik ve inorganik radikallerle yer değiştirmesi, hidroksil gruplarındaki hidrojen atomlarının başka gruplarla değiştirilmesi, hidroliz, uç grup reaksiyonları ve baz değiştirme reaksiyonları bulunmaktadır. Selüloz üzerine asitler özellikle yüksek sıcaklıklarda etkilidir; 50 °C'nin

üzerinde selülozu hidrolize edebilirler. Hidroliz edilmiş selüloz, kimyasal yapısına bir molekül su alır. Yoğun haldeki madensel asitler, selülozik zincirin hidroksil gruplarına bağlanarak yeni yapılar oluşturur. Asitlerle gerçekleşen bu reaksiyonların sonucu olarak çeşitli asit selülozları meydana gelir.

Nitrik asit ile $2 \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \cdot \text{HNO}_3$

Fosforik asit ile $2 \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \cdot \text{H}_3\text{PO}_3$

Perklorik asit ile $2 \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \cdot \text{HClO}_4$

Hidroklorik asit ile $2 \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \cdot \text{HCl}$

Yukarıdaki asitlerle reaksiyonları sonucu selüloz rejenere olarak jelatinimsi bir yapı alır ve kurutulunca da parşömen halini alır. Sülfirik asitle bu reaksiyon daha çabuk olur. Yoğun madensel asitlerle etkileşime giren selüloz, esterleşme yoluyla selüloz esterleri oluşturur. Benzer şekilde, sulu organik asitlerle bir katalizör eşliğinde organik esterler meydana getirir. Esterleşme, selülozun belirgin reaksiyonlarından biridir. Bu işlem sonrası oluşan selüloz türevleri organik çözücülerde çözünür, bu çözünürlük seviyeleri ise esterleşme derecesiyle doğrudan ilişkilidir. Selülozun nitrik asitle reaksiyonu sonucu selüloz nitrat, asetik asitle reaksiyonu neticesinde selüloz asetat ve formik asitle etkileşimi sonucunda selüloz format gibi önemli selüloz esterleri elde edilir. Oksidasyon işlemi, çeşitli koşullar altında gerçekleştirilebilir. Reaksiyonlar, uygulanan reaktifler ve koşullara bağlı olarak depolimerizasyonla birlikte ilerler. En yaygın oksidasyon yöntemi, alkali koşullarda oksijen veya hipoklorit kullanımıyla yapılır. Sodyum periyodat ve kurşun tetraasetat, 2,3-glikol gruplarını dialdehit gruplarına okside ederken, belirli koşullar altında hidrojen klorür, aldehit gruplarını karboksil gruplarına dönüştürür. NO_2 molekülündeki oksijen, primer hidroksil grubunu karboksil gruplarına; O_3 molekülündeki oksijen ise primer hidroksil grubunu aldehit grubuna okside eder. Oksidasyon süreçleri, selülozun fiziksel ve kimyasal özelliklerine önemli ölçüde etki eder; bu etkiler, ürünlerin alkali reaktiflere karşı kararlılığını azaltır ve liflerin dayanıklılığını genellikle olumsuz yönde etkiler. Selüloz nitrat ilk defa Schönbein tarafından bulunmuştur ve endüstride geniş bir kullanım alanı vardır. Reaksiyonda selüloz zincirleri arasına asit nüfuz eder ve selülozun hidroksil gruplarına direkt bağlanır. $\text{Selüloz-OH} + \text{HONO}_2 \rightarrow \text{Selüloz-ONO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ Reaksiyonda esterleşen her bir hidroksil grubu için 1 mol su açığa çıkar. Oluşan selüloz nitrattaki su miktarı %28,6 iken, N yüzdesi %6,5'ten daha azdır. Su miktarı %5-6 olduğu zaman N yüzdesi yükselerek %13,65 olur. Bu nedenle nitrasyon derecesi su ile kontrol edilebilir. Nitratin erirliği nitrasyon derecesi ile değiştiği için istenen erirlik derecesi ayarlanabilir. Rayon endüstrisinin temel bileşeni olan ve plastikler arasında çeşitli ticari isimlerle yer bulan selülozun en önemli organik esteri selüloz asetatıdır. Bu işlem,

tipik bir esterleşme reaksiyonunu içerir. Selüloz, asetik asit, asetik anhidrit ve katalizör olarak sülfürik asit karışımı ile reaksiyona girer. Reaksiyonda bir indirgeme sağlamak için düşük sıcaklıkta selüloz tamamen erir ve ardından suya dökülerek çöker. Elde edilen ilk primer madde yıkanarak beyaz lifli bir toz haline getirilir. Bu maddeden üretilen film ve filamentler başlangıçta gevşek yapıdadır ve sekonder asetata dönüştürülmeleri gerekir. Bu dönüşüm, kısmen sulandırarak ve madensel asitlerle hidroliz yoluyla gerçekleştirilir. Böylece asetat lifleri elde edilir. Sekonder asetat asetonda çözünebilir. Selüloz, katalizör eşliğinde doğrudan formik asit ile işleme tabi tutulduğunda format haline dönüşebilir. Dispers haldeki selülozik format elde etmek için selüloz, formik asit aracılığıyla esterleştirilmelidir. Ancak öncesinde, şişirici ve yumuşatıcı maddelerle işleme alınması gereklidir. Selülozun format dönüşümü %50 civarında gerçekleşebilir. Selülozik maddeler, metal iyonlarının hidrojen iyonları ile değiştirildiği katyon değişim reaksiyonlarına katılım gösterdiklerinden, iyon değiştirici özellik taşırlar. Çok değerlikli katyonlar, alkali metal katyonlarına kıyasla selüloz lifleri tarafından daha güçlü şekilde tutulur. Saflaştırılmamış selülozik liflerin iyon değiştirme kapasitesi genellikle içerdiği safsızlıklardan kaynaklansa da, saf selülozun iyon değiştirme kapasitesi selüloz molekülündeki karboksil gibi asidik gruplara dayanır. Selülozun katyon değişim reaksiyonları, kimyasal selüloz üretiminde kullanılan yıkama işlemlerinde pratik bir öneme sahiptir. Bu reaksiyonlar ayrıca selülozdan yapılan kağıtların elektriksel direncini de etkiler. Elektriksel direnç, selüloza iki değerlikli katyonların bağlandığı durumlarda daha yüksektir. Yükseltgen maddeler, selülozu parçalayarak oksiselüloz adı verilen daha düşük molekül ağırlıklı bir ürün oluşturur. Oksiselüloz, yükseltgenmenin şiddetine bağlı olarak, neredeyse hiç değişmemiş liflerden kuru toz haline kadar farklı formlarda olabilir. Yükseltgenme maddeleri ve koşullarına göre çok çeşitli ürünler elde edilebilir. Hipokloritin nötr ve alkali koşullarda selüloz ile etkileşimi, nispeten yüksek oranda karboksil grupları içeren oksiselüloz üretir. Selülozdaki hidroksil gruplarını karbonil gruplarına yükseltgemek için periyodat asidi, bu karbonil gruplarını karboksil gruplarına dönüştürmek için klorit asidi ve son olarak bu grupları orijinal hidroksil durumuna indirmek için sodyumborohidrür kullanılabilir. Hidrojen peroksit aldehit karbonilleri karboksillere yükseltirken, aynı zamanda yeni aldehit ve keton karbonillerinin oluşmasına neden olur. Klordioksit, selülozu yükseltmez. Azotdioksit ise öncelikle selüloz gruplarının birincil hidroksillerini karboksil gruplarına dönüştüren bir yükseltgen madde olarak işlev görür. Selüloz, pek çok tipik reaksiyon gösterebilir.

Bunlar arasında ester ve eter oluşumu ile aldehitlerle giriştiği reaksiyonlar yer alır. Selülozun ana reaktif grupları birincil ve ikincil alkol gruplarıdır. Her glukoz biriminde üç hidroksil grubu bulunduğundan, üçlü ester ve üçlü eter oluşumuna kadar farklı yapıdaki sübstitüsyon reaksiyonları meydana gelebilir. Birincil hidroksil grupları, ikincil olanlara göre daha aktiftir. Son türevlerin özellikleri, sübstitüsyon gruplarının türleri (örneğin metil, etil,

asetil), sübstitüsyon derecesi, yani değişime uğramış ve serbest hidroksil gruplarının oranı, selüloz molekülünün ortalama zincir uzunluğu ve sübstitüsyon derecesinin ürünün üniformluğu üzerindeki etkisi tarafından belirlenir. Sübstitüsyon sonucu elde edilen değişiklikler hem kimyasal hem de fizikseldir. Selülozun çözünürlüğü ve şişmesi genellikle sübstitüsyon derecesinden etkilenir. Düşük derecede sübstitüsyona sahip türevler, başlangıçtaki selüloza göre suya daha duyarlıdır ve hatta suda dağılabilirler. Polar olmayan maddelerle yüksek derecede sübstitüsyon elde edilen türevlerde ise, suya duyarlılık ve su emme azalırken, organik çözücülerde çözünürlük artar. Selüloz esterleri; selüloz nitrat, asetat, format, propiyonat, bütirat, benzoat ve karışık esterlerdir. Ticari olarak kullanılan selüloz esterlerinin çoğu sübstitüsyon derecesi yüksek, çözücülerde çözünebilir cinslerdir. Diğer esterleşme reaksiyonları p-toluen sülfon asidi esterleri ile alkillendirme, benzil klorür ile alkillendirme, karboksi metillendirme, sülfotillendirme, amino alkil sülfat asitleriyle aminlendirme, etilen oksitle hidroksietillendirme, hidroksipropillendirme, siyanürlendirme ve karboksillendirmedir. Selüloz, alkol veya alkol türevleriyle etkileşime girerek eter türevlerini oluşturur. Bu süreç, selüloza doğrudan etki eden anorganik asitlerin alkil ve sülfat eterlerini içerecek şekilde veya selülozu önce alkalileştirip ardından alkil ya da sülfatlarla reaksiyona sokarak gerçekleştirilir. Selüloz, formaldehit ve sülfürik asit ile etkileştirilerek veya alkali selüloz metilen sülfatla muamele edildiğinde, formaldehitin %17'sini bünyesine alarak yeni bir bileşik elde edilir. Bu yöntemle, su geçirmez ve buruşmaz lifler üretilebilir. Ayrıca, yangına dayanıklı filmler, parlak ambalaj kağıtları, asetil selüloit, yanmaz vernikler, izolasyon lakları ve bazı plastik ürünlerin üretiminde de selüloz eterleri kullanılmaktadır. Ticari düzeyde üretilen selüloz eterleri arasında metil, etil, hidroksietil ve karboksimetil selüloz dikkat çeker. Bu eterler, selülozun anorganik asitlerin esterleri (örneğin, alkil sülfat veya alkil klorür) ile fazla sodyum hidroksitli bir ortamda muamele edilmesi yoluyla elde edilir. Eterin özellikleri ise kullanılan sübstanstan türüne ve sübstitüsyon derecesine bağlı olarak değişir. (Casey, 1960; Kirk-Othmer, 1967).

2.5 Selüloz Türevleri

Selülozun kimyasal dönüşümleri sonucunda oluşan ürünlere selüloz türevleri denir. Selülozun bu türevlere dönüşümünde, hidroksil grupları reaksiyona giren temel unsurlardır. Bu süreçte selüloz, inorganik ve organik asitlerle esterleşir, bazı alkollerle eterleşir ve bazlarla alkolat oluşturabilir. Bunun yanında, selüloz oksidasyon ürünleri oluştururken, halojenürler, aminler ve belirli komplekslerle de reaksiyona girebilir. Endüstride selülozun en önemli türevleri, selüloz esterleri ve eterlerdir. Bu maddelerin sentezinden önce alkali selüloz hazırlanması zorunludur. Selülozun oksidatif reaksiyonları ve halojenürlerle etkileşimleri, kağıt hamurunun ağartılması sırasında istenmeyen reaksiyonlar olarak öne çıkar.

- **Etil selüloz:** Selüloz liflerinin sodyum hidroksit ve etil klorür ile işlenmesiyle elde edilen bir eter türevidir. Etil selüloz plastikleri, geniş bir sıcaklık aralığına dayanıklıdır. Bu plastikler, suya, güçlü bazlara ve yağlara karşı yüksek direnç gösterir ve parlak yüzeylere sahiptir. Bu özellikleri sayesinde etil selüloz plastikleri otomobil parçaları ve ambalaj sektöründe kullanılmaktadır.

- **Selüloz asetat:** Selüloz asetat, selülozdan türetilmiş bir termoplastik reçinedir. 60-97°C arasında yumuşayan ve 260°C'de eriyen, kokusuz, beyaz renkli bir toz ya da lapa formundadır. Bu materyal, odun veya pamuk selülozunun sülfürik asit eşliğinde asetik asit ve asetik anhidrit ile işlenmesi sonucu elde edilir. Elde edilen ürün, kısmen hidroliz edilerek selülozdaki her glikoz birimi ortalama 2 ila 2,5 asetat grubu içerir. Selüloz asetat, reçineli verniklerin, yapay derinin ve "asetat" olarak bilinen şeffaf kağıtların yanı sıra bazı plastiklerin üretimi ve korunmasında kullanılır. Plastik olarak kullanıldığında, genellikle plastikleştiriciler ve boyar maddelerle birleştirilir. Ortaya çıkan plastikler oldukça dayanıklıdır ve kolay kolay alev almaz. Bu nedenle oyuncaklar, çatal-bıçak takımları, alet sapları ve radyolar gibi cihazlarda yaygın şekilde kullanılır. Selüloz asetat lifleri, ipeğe benzeyen, sağlam, kolay boyanan ve rahat giyilen ürünlerin üretiminde kullanılır. Bu lifler, selüloz asetatın asetondaki çözeltisinin ince yarıklardan sıcak hava akımıyla geçirilmesiyle elde edilir. Bu süreçte aseton buharlaşır ve geriye lifler kalır. Selüloz asetat filmi elde edilmek istendiğinde, çözelti bir tabaka halinde yayılır. Çözücünün buharlaşmasıyla geriye selüloz asetat filmi kalır. Bu filmler fotoğraf filmlerinde, ses kayıtları için manyetik teyplerde ve ambalajda kullanılır.

- **Selüloz nitrat:** Selülozun nitrat asidi ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan ve yanıcı özelliklere sahip bir bileşiktir. Nitro selüloz olarak da bilinen bu madde, patlayıcılar ve koruyucu film üretiminde yaygın olarak kullanılır. Üretim sürecinde, pamuk iplikleri veya yumuşak odun selülozları nitrat asidi, sülfat asidi ve su bileşenlerinden oluşan bir karışıma dâhil edilir. Birkaç dakika süren bu işlem后会 sonra, karışımındaki artık asit

santrifüj yöntemiyle uzaklaştırılır. Daha sonra, kalan asidin tamamen uzaklaştırılması için selüloz nitrat yaklaşık 24 saat boyunca kaynar suda bekletilir. Son aşamada, alkolle hafifçe yıkanarak saflık ve temizlik artırılır. (Ott, 1946; Kirk- Othmer, 1967).

Selüloz eterleri, etilselüloz, metilselüloz, karboksimetilselüloz, hidroksietilselüloz ve benzilselüloz gibi türevleriyle endüstride önemli bir yere sahiptir. Bu bileşikler, alkali bir ortamda (genellikle NaOH kullanılarak) uygun alkollerin sülfat veya klor tuzlarıyla reaksiyona sokulmasıyla ticari ölçekte üretilir. Süreç sırasında alkali selüloz, bir ara ürün olarak oluşur. Eterleşme derecesi, reaksiyon sıcaklığının yanı sıra selüloz, alkali, su ve diğer değişkenlerin oranlarına da bağlıdır. Selüloz eterlerinin üretimi iki ana süreç altında incelenir: alkali tüketimli ve alkali tüketimsiz prosesler. İlk yöntemde, selüloz eterleştirilmeden önce alkil halojenür ile alkalileştirilir; böylece metilselüloz, etilselüloz, karboksimetilselüloz, propilselüloz ve benzilselüloz gibi türevler elde edilir. Alkali tüketimsiz yöntemde ise, selüloz molekülleri az miktarda NaOH ile işlem görerek şişmesi ve kafes yapısının genişlemesi sağlanır. Bu yöntem, iç kısımlarda homojen bir eterleşme oluşturmayı amaçlar.

Bu reaksiyon sonucunda hidroksialkilselüloz, siyanoetilselüloz, karboksietilselüloz, hidroksietilselüloz ve hidroksibütülselüloz gibi farklı selüloz türevleri elde edilir. Selülozun eter grupları, soğuk suda bile şişme ve çözünme özellikleri kazandırarak, selüloz eterlerinin sübstitüsyon derecesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu türevler, düşük alkali ve su oranlarında hidrofobik davranış sergiler. Ancak sübstitüsyon derecesi arttıkça, organik çözücülerdeki çözünürlükleri de artar. Bu bileşikler, kozmetik sanayinde emülgatör, dağıtıcı ve stabilizatör olarak; ilaç, gıda, kimya ve plastik endüstrilerinde ise yardımcı madde olarak kullanılır. Ayrıca, kağıt, tekstil, çimento ve beton sektörlerinde de geniş kullanım alanına sahiptir. Bunun yanı sıra, mürekkep ve verniklerde inceltici ve yapıştırıcı olarak; özellikle duvar kağıtları ile koruyucu film ve folyo üretiminde yaygın şekilde kullanılır (Ott, 1946; Feller ve Wilt, 1990).

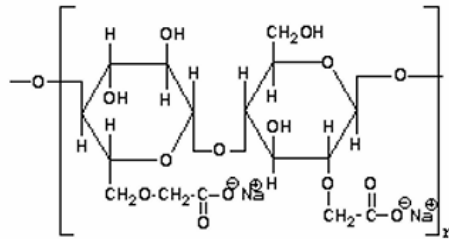
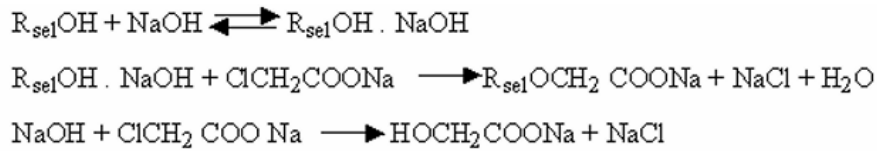
2.6 Karboksimetil Selüloz

2.6.1 Karboksimetil Selülozun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Sodyum karboksimetilselüloz (CMC), çeşitli uygulamalara uygun olarak farklı türlerde üretilen bir maddedir. 1940'lı yıllarda ticari üretimine başlanmış ve o tarihten itibaren kullanım alanları ile miktarlarında sürekli bir artış gözlenmiştir. CMC, anyonik ve suda çözünebilen bir polimerdir; selülozun karboksile edilmesiyle elde edilir ve selüloz eterleri grubunda yer alır. Bu madde, alkali selülozun sodyum monoklor asetat (MCA) veya monoklor asetik asit (SMCA) ile kontrollü koşullarda reaksiyona sokulmasıyla üretilir.

Reaksiyon, 25-100 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilir. Sübstitüsyon derecesi 0.4'ü aşmadığı sürece selüloz lifli yapısını korur. Ancak, bu değerin üzerine çıktığında selüloz hamur haline gelir. Yan ürün tuzları, %70-80 oranında metanol ile yıkama yoluyla uzaklaştırılır. Reaksiyon sonucunda sodyum klorür ve sodyum glikolat gibi yan ürünler oluşur. Teknik kalite CMC bu yan ürünleri içerebilirken, saf kalite CMC'de bu yabancı maddeler yıkama ve saflaştırma işlemleriyle elimine edilir. Kurutulan CMC, istenen parça büyüklüğüne göre öğütülüp elenir. Günümüzde birçok firma, daha iyi sonuçlar elde etmek ve daha az miktarda kullanmak için teknik kaliteden saf kaliteye geçiş yapmaktadır.

Kimyasal formülü $C_6H_7O_2(OH)_2OCH_2COO^-Na^+$ olan karboksimetil selüloz, beyaz veya sarımsı tonlarda değişen bir renge ve lifli bir yapıya sahiptir. Hem sıcak hem de soğuk suda çözünür; ancak organik çözücülerde çözünmez ve su/alkol sistemleriyle uyumludur. CMC'nin fonksiyonel özellikleri, özellikle hidroksil gruplarının yapısal özelliklerine bağlıdır. Bu madde, jelleşme oluşturmada viskoziteyi artırma özelliğine sahiptir. CMC'nin doğal pH değeri 8.25'tir. Ancak, ticari kullanım için daha iyi çözünme sağlamak amacıyla 7-7.5 pH aralığında üretilir. pH değeri düştükçe çözünürlüğü azalır ve 4 veya daha düşük pH seviyelerinde suda çözünmez hale gelir. CMC, gıda ve diğer endüstriyel alanlarda koyulaştırıcı, su tutucu, stabilizör, kolloid engelleyici, süspansiyon koruyucu, geciktirici ve akışkanlık kontrol edici özellikleriyle kullanılır. Ayrıca, yağlara ve organik çözücülere karşı dayanıklıdır ve su ile oksijen geçirgenliği olmayan ince tabakalar oluşturabilir. Karboksimetil selülozun hazırlanması için basitleştirilmiş genel denklemler ve moleküler yapısı Şekil 5'te verilmiştir (www.sbu.ac.uk/water/hycmc.html).



Şekil 5: Karboksimetil selülozun moleküler yapısı

Karboksimetil selüloz, fizyolojik olarak inert bir madde olup, kokusuz ve tatsızdır. Ayrıca, toksik değildir ve suyla çözünme özelliğine sahiptir. Köpük yapmaması, belirli bir pH aralığında dayanıklı olması, yüksek akışkanlık ve su tutma kapasitesine sahip olması gibi

özellikleriyle öne çıkar. Berrak çözeltiler oluşturabilir ve diğer hidrokolloidlerle uyumsuzluk göstermez. Mikrobiyal ataklara karşı dirençlidir, ayrıca düşük miktarlarda kullanımı genellikle yeterlidir. Karboksimetil selülozun süstitüsyon derecesi, en az 0.2 ile 1.2 arasında değişirken, optimal olarak 0.5 ile 0.8 arasındadır. En yaygın çözündürme aracı sudur ve polimerizasyon derecesi genellikle 150 ile 1200 arasında değişir. Süstitüsyon derecesi 1.2'yi aşan ürünlerin ticari değeri yoktur. Bu maddenin iyonizasyon sabiti yaklaşık olarak 10^4 civarındadır. Kurutulmuş karboksimetil selüloz suda çözünmez, ancak NaOH çözeltisinde dağılır. Karboksimetil selülozun sodyum tuzunun pH değeri 8.25'tir.

CMC (Karboksimetilselüloz), hem sıcak hem de soğuk su içinde çözünme özelliğine sahiptir. Sıcaklık arttıkça, çözünme oranı da artar. Düşük pH seviyelerinde asidik şartlarda, CMC tamamen çözüldükten sonra asit eklenmelidir. Formülasyona CMC eklenmesi sırasında oluşabilecek topaklanma, çözünme süresini uzatabilir. Dolayısıyla, CMC eklenirken topaklanmanın engellenmesi gerekmektedir; bu durumu önlemek için üç farklı yöntem mevcuttur. Birinci yöntemde; hızlı karıştırılmayan uygulamalarda, topaklanmayı önlemek amacıyla CMC, formülde bulunan diğer toz bileşenlerle (şeker, toz aromalar ve polimerik olmayan diğer maddeler) kuru halde karıştırılır ve ardından su eklenir. Bu yöntemde, CMC'nin toplam kuru karışımın %20'sinden az olması tercih edilir. İkinci yöntemde ise, CMC, güçlü bir şekilde karıştırılan suyun ortasında oluşan döngüye eklenir. Ekleme işlemi, CMC parçacıklarının ayrı ayrı ıslanmasını sağlayacak kadar yavaş, ancak suyun viskozitesini minimum düzeyde tutacak kadar hızlı olmalıdır. Çözünme sürecini hızlandırmak için, ilk olarak CMC su içinde tamamen çözülmeli ve kıvam elde edilmelidir; daha sonra diğer malzemeler bu çözeltiliye ilave edilmelidir. Üçüncü yöntemde ise, CMC suya eklenmeden önce, şişmesine neden olmayacak gliserin gibi suda çözünebilen bir sıvıyla ıslatılır ve daha sonra bu karışım suya dahil edilir. Her 1 birim CMC için 2-3 birim gliserin yeterli olacaktır.

Karboksimetil selüloz, güçlü asitlerle etkileşime girdiğinde asit formuna dönüşür. Asit formu, su içinde çözünmeyen karboksimetil selülozdan oluşur ve sulu çözeltisine asit eklendiğinde jel ve kolloid hâlinde çöker. Bu asidik form, sodyum karboksimetil selülozun seyreltik sülfürik asit (H_2SO_4) ile işlenmesi sonucu elde edilir. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmasına rağmen, 70 santigratın üzerinde uzun süre bekletilmemelidir, çünkü bu durumda viskozitesi azalabilir. Isı arttıkça, viskozitenin ters orantılı olarak düştüğü gözlenmektedir. Uzun süreli ısı uygulandığında, molekül yapısında geri dönüşü olmayan bir parçalanma meydana gelir ve sıcaklık düşürüldüğünde viskozitede bir azalma gözlemlenir. Karboksimetil selüloz, yüksek molekül ağırlığına sahip bir polimerdir ve çözeltileri psödoplastik akış davranışı sergiler. Yani, kayma hızı (hız gradyanı), uygulanan kayma gerilimi ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Reolojik çalışmalar, karboksimetil selüloz çözeltilerinde agregatların varlığını ortaya koymuştur.

Karboksimetil selüloz, enzimler ve oksidanlara karşı dirençli bir polimerdir. Enzimler, glukoz ünitelerinden süstitüe edilmemiş iki birimi ayırır; bu nedenle, yüksek süstitüsyon derecesine sahip ürünler enzimatik saldırılara daha duyarlıdır. Klor ve hidrojen peroksit gibi oksidanlar, selüloz zincirinde bozulmalara yol açar. Karboksimetil selüloz, havadaki oksijenle temas ettiğinde yavaşça parçalanabilir. Yüksek pH değerleri ile Fe^{2+} ve Co gibi iyonlar oksidasyon sürecini hızlandırır. Bu tür koşullardan kaçınmak için, uzun süre saklanacak karboksimetil selüloz çözeltilerinin hava akımı ve yüksek pH düzeylerinde tutulmaması gerekir. Ayrıca, çözeltiye antioksidan eklenebilir ve pH 7-9 arasında sabit tutulmalı, yüksek ısıdan kaçınılmalıdır. Güneş ışığı, UV ışını ve ısıyla temas, alkali şartlar altında karboksimetil selülozun viskozitesinde kayba neden olabilir. Karboksimetil selüloz 100-150°C'de kurur; sıcaklık 170°C'ye ulaştığında oksijenin varlığında kahverengiye döner ve daha sonra kömürleşir. Yanma sonrasında Na_2CO_3 ve NaCl kalıntıları gözlemlenir. Karboksimetil selüloz, nötr veya hafif alkali koşullar altında 70-80°C'de dayanıklıdır. Donma, karboksimetil selülozu etkilemez; ancak kuvvetli asitlerle hidrolize neden olabilir ve asitle birlikte ısının uygulanması glikonik asit oluşumuna yol açar. Kuvvetli bazlarda ise okside olur ve viskozitesi azalır. Su ile karışabilen alkol ve aseton gibi sıvılar çökmeye neden olabilir. Biyolojik olarak, karboksimetil selüloz, bakteriyel etkilerle parçalanabilir ve proteinlerle komplekse girebilir. İzoelektrik noktaya sahip süt proteinlerinde karboksimetil selüloz, stabilizatör olarak işlev görür. Karboksimetil selülozun tuzlarla olan uyumsuzluğu, tuzun sunduğu katyon kapasitesine bağlıdır. Tek değerlikli katyonlar karboksimetil selüloz ile reaksiyona girerek suda çözünabilen tuzlar oluşturur. Genel olarak, iki değerlikli katyonlar karboksimetil selüloz ile çapraz bağ oluşturmaz ve bulanıklığa neden olabilir. Üç değerlikli katyonlar ise çözünmeyen çökelti meydana getirir. Karboksimetil selüloz, iyonik olmayan polimerlerle geniş bir konsantrasyon aralığında uyum göstermekle birlikte, düşük viskoziteli türleri, genel olarak daha yüksek viskoziteli türlere göre daha fazla uyum sergiler. (Ott, 1946; Kirk-Othmer, 1967; Feller ve Wilt, 1990; Far, 1992)

2.6.2 Karboksimetil Selülozun Kullanım Alanları

Karboksimetil selüloz veya sodyum karboksimetil selüloz (CMC), gıdalarda kıvam artırıcı bir katkı maddesi olarak sıklıkla kullanılmakta ve E 466 kodu ile tanımlanmaktadır. CMC, yapıştırıcı, bağlayıcı, kalınlaştırıcı, su tutucu, film oluşturucu ve ortam sabitleyici özellikler göstererek nihai ürünlerin performansını ve kalitesini önemli ölçüde geliştirmektedir. Hem sıcak hem de soğuk suda çözünabilir olması, vücuda zarar vermemesi ve doğal bir bileşen olması nedeniyle birçok endüstri alanında geniş bir kullanım bulmuştur.

Tablo 2, CMC'nin kullanıldığı bazı gıda ürünleri ve bu ürünlerdeki işlevlerini detaylı bir şekilde sunmaktadır.

Tablo 2: Karboksimetil selülozun kullanım alanları

UYGULAMA	KULLANIM	FONKSİYON
Süt Ürünleri	Yoğurt Çikolatalı Süt Çikolatalı Ürünler	Viskozite Düzenleyici Kıvam Verici
Unlu Mamüller	Kekler Ekmek Pastalar	Tazeliğin Korunması Hacmin Artması Kristalizasyonun Kontrolü Viskozite Kontrolü
İçecekler	Hazır İçecekler Diyet İçecekler Alkolsüz İçecekler	Kıvam Artırıcı Çökmeyi Engelleyici Dağıtıcı
Çorbalar ve Soslar	Salata Sosları Ketçap Tüm Çorbalar	Kıvam Verici Çökmeyi Engelleyici
Dondurma	Tüm Çeşitler	Kıvam Artırıcı Kristalizasyon Kontrolü

Gıda: Gıda alanında CMC, geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Bu bileşen, içeceklerden unlu mamullere, çorbalardan soslara ve süt ürünlerine kadar birçok uygulama alanında kullanılmaktadır.

- Unlu mamuller kategorisinde, CMC'nin kullanımının temel amaçları kıvamı artırmak, su kaybını minimize etmek ve ürün yapısını geliştirmektir. Örneğin, makarna gibi ürünlerde kırılabilirliği azaltmak amacıyla tercih edilen bu madde, genellikle %0,25-0,4 oranında kullanılmaktadır.
- Tatlılarda ise CMC, koyulaştırıcı, şeker kristalleşmesini kontrol edici, yapısal geliştirici ve topaklanmayı engelleyici olarak işlev görmektedir. Kokusu ve tadı olmadığı için, tatlıların özgün lezzetlerini olumsuz etkilemez. Tatlılarda genellikle %0,3-0,8 oranında kullanılır.
- Yüksek protein içerikli gıdalarda, CMC su tutucu, ağız tadını iyileştirici ve kıvam koruyucu işlevleriyle öne çıkar. Ayrıca, protein ayrıştırma işlemlerinde yer alır ve peynir suyundan protein elde edilmesinde kullanılır.
- İçeceklerde CMC, meyve özünün korunmasına yardımcı olur, hızlı koyulaştırıcı özelliğiyle dikkat çeker ve hem ağız tadını geliştirir hem de protein içeriğini korumaya hizmet eder.

- Donmuş tatlılarda buz kristallerinin oluşumunu kontrol etmenin yanı sıra, yapıyı ve ağızda bıraktığı tadı geliştirme amaçlı uygulanır.
- Düşük kalorili ürünlerde ise kalorisiz olması nedeniyle kıvam artırıcı olarak tercih edilir.
- Şuruplarda kıvam güçlendirici ve berraklaştırıcı olarak kullanılırken, soslarda koyuluk artırıcı ve yapışkan doku oluşturuıcı işlevleri mevcuttur.
- Hayvan besinlerinde CMC, yağlayıcı madde, film oluşturuıcı, su tutucu ve et suyunu koyulaştırıcı olarak kullanılırken, genel yapının korunmasına katkıda bulunur.
- Dondurma üretiminde %0,15–0,27 oranında kullanılan karboksimetil selüloz, yüksek su tutma kapasitesi ile iyi bir yapı sağlayarak kristalleşmeyi önler ve dondurma karışımının dövülme kabiliyetini artırır.

Kozmetik: Kozmetikte, kıvamlaştırıcı, kıvam koruyucu, koku sabitleyici, su bağlayıcı, tabaka oluşturuıcı, jelleştirici ve köpük artırıcı olarak kullanılır. Diş macunlarında, şampuanlarda, kremlerde, losyonlarda ve jel halindeki ürünlerde kullanımları mevcuttur. Tabletler, şuruplar, süspansiyonlar, göz-kulak-burun damlaları ise CMC'nin eczacılıktaki uygulamalarından bazılarıdır. Sadece yüksek saflık derecesine (min. %99,5) sahip ürünler eczacılık ve kişisel bakım endüstrisinde kullanılabilir. Uygun CMC'nin seçimi, müşterinin özel ihtiyaçları göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Kozmetik ürünleri, kremler, losyonlar ve diş macunu, CMC'nin en çok kullanılan kişisel bakım ürünleridir. Bu sahada en fazla kullanım, diş macunu imalatçıları tarafından yapılmaktadır. Yüksek DS dereceli ve orta viskoziteli ürünler, diş macunu formülasyonu için genellikle yeterlidir.

Eczacılık: Eczacılık alanında geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Uçucu olmayan göz damlalarının formülasyonlarında, yağlandırıcı olarak yer alır ve göz yüzeyinde kuruma oluşmasını önler. Kremler, merhemler ve losyonlar için kıvam artırıcı, sabitleyici ve film tabakası oluşturan bir bileşen olarak kullanılır. Jel ürünlerde ise jelleştirici, koyulaştırıcı, kolloid engelleyici ve film tabakası yapıcı roller üstlenir. Yüksek dayanıklılık özelliği sayesinde tablet ilaçlarda bağlayıcı olarak işlev görür. İshal ilaçlarının içeriğinde, suyu bağlayarak hacim artırması nedeniyle tercih edilir. Şuruplarda koyulaştırıcı olarak görev yapar. Süspansiyonlarda ise hem koyulaştırıcı hem de yapı koruyucu özellikleriyle kullanılır.

Tekstil: CMC, tekstil sektöründe kumaş üretiminde bağlayıcı ve kıvam artırıcı olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Haşılama, CMC'nin en yaygın kullanım alanlarından biridir. CMC, sentetik bir haşıl maddesi olarak, nişastaya kıyasla daha elastik ancak daha düşük mukavemete sahip film oluşturuur ve pamuk/polyester karışımlarının haşılmasına uygundur. Kumaş boyalarının kıvamını ayarlamak, akışkanlığı kontrol etmek ve kolloid oluşumunu

önlemek için kullanılır. Haşıllamanın yanı sıra, tekstil boyalarında ve halı altı yapıştırıcılarında da CMC tercih edilmektedir. Üstün film oluşumu, suda kolay çözünmesi ve viskozitesinin kararlı kalabilmesi nedeniyle, CMC ideal bir haşıl maddesi olarak öne çıkar. İplik kalınlığına uygun CMC'nin seçimi çok önemlidir. Genel bir kural olarak, düşük viskoziteli CMC tipleri ince ipliklerde kullanılmalıdır. Yüksek derecede saflaştırılmış (%98 ve üzeri) CMC türleri haşıllama işlemi için önerilir.

Sondaj: Sondaj faaliyetlerinde CMC (Karboksimetil selüloz), etkili bir şekilde adapte olabilen ve genellikle zorlu olabilen çevresel koşullara uygunluk sağlayan bir bileşendir. Farklı CMC türleri, sondaj uzmanlarının karşılaştığı çeşitli güçlüklerle başa çıkabilecek kapasiteye sahiptir. Zemin ve toprak çeşitliliğine bağlı olarak, sondaj koşulları ve kullanılacak sıvı katkı maddesi (USK) türleri değişkenlik göstermektedir. Hem çok düşük hem de çok yüksek viskoziteye sahip ürünler sondaj süreçlerinde kullanılabilir. Saflık derecesi bakımından, hem teknik sınıf hem de saf malzemeler, belirli arazi özelliklerine göre tercih edilebilmektedir. CMC'nin sondaj işlemlerindeki başlıca fonksiyonları, sıvı kaybının kontrolü, akışkanlık düzenlemesi, katkı maddelerinin temizlenmesi ve yağlama kapasitesidir.

Seramik: CMC, seramik endüstrisinde geniş bir uygulama yelpazesi bulmuştur. Seramik, porselen, çömlek ve vitrifiye ürünleri, CMC'nin seramik sektöründeki temel kullanım alanlarından bazılarıdır. Seramik ve cam işçiliğinde sırlama, desenlerin işlenmesi ve kaplama gibi süreçlerde CMC, bağlayıcı, koyulaştırıcı, yağlayıcı ve yapıyı koruyucu işlevler üstlenir. Özellikle viskozite kontrolü amacıyla ve bağlayıcı madde olarak yaygın bir şekilde kullanımı dikkat çekmektedir. Kurutma sürecinde, suyun buharlaşmasını düzenleyerek malzemeye esneklik kazandırır ve böylelikle seramik ürünlerin kurutulması sırasında meydana gelebilecek kırılmaları engeller. Ayrıca, minimum %98 saflıkta ve düşük viskoziteye sahip CMC türleri seramik uygulamaları için tavsiye edilmektedir. Uygun CMC kalitesinin seçimi, müşteri talepleri doğrultusunda belirlenmelidir.

Deterjan: CMC, çamaşırdan ayrılan kiri suda çözölmüş CMC bünyesine hapsederek yakalar. Böylece kirin çamaşıra yeniden yapışmasını engeller. Ayrıca CMC ile viskozite kontrolü yapılır ve deterjanın su tutma gücü ayarlanır.

Boya: Boya Sanayinde CMC viskozite kontrolü için kullanılır. Boyanın yapısına kıvam verir. CMC nin film yapıcılığı boyanmış yüzeylerin daha iyi ve düzgün görünmesini sağlar.

Duvar kâğıdı tutkalı: CMC çözeltileri, üstün film oluşum özelliklerine sahiptir. Suda çözöldüğünde, yapışma gücü ve belirli bir kıvam elde edilir. Bu özelliği nedeniyle, duvar kâğıdı yapıştırıcılarında ve lateks bazlı yapıştırıcılarda koyulaştırıcı ve su tutucu olarak önemli bir rol oynar. CMC'nin kullanım alanları sadece bunlarla sınırlı kalmaz; kibrit üretimi, kaynak elektrotları, kablo sanayii, pil ve tütün endüstrisi gibi farklı sektörlerde de uygulanmaktadır. Kağıt ve kağıt ürünlerinde, hamura eklenerek kağıdın sertliğini artırma amacıyla kullanılırken,

kağıt yüzeylerinde ise tutucu, yağa dirençli tabaka oluşturucu, gözeneklilik ve dalgalanma kontrol edici olarak işlev görür. Renkli kağıt üretiminde, kullanılan boyaların su içeriğini muhafaza etmek, kıvamını ve akışkanlığını düzenlemek amacıyla fayda sağlar. Baskı sektöründe ise su koruyucu bir film oluşturarak, su bazlı mürekkeplerin kıvamının ve akışkanlığının ayarlanmasına yardımcı olur. Tütün endüstrisinde de sigara ve puro kağıdına tütünün yapışmasını sağlamak için CMC kullanılır. (Pilizota ve ark., 1996)



3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

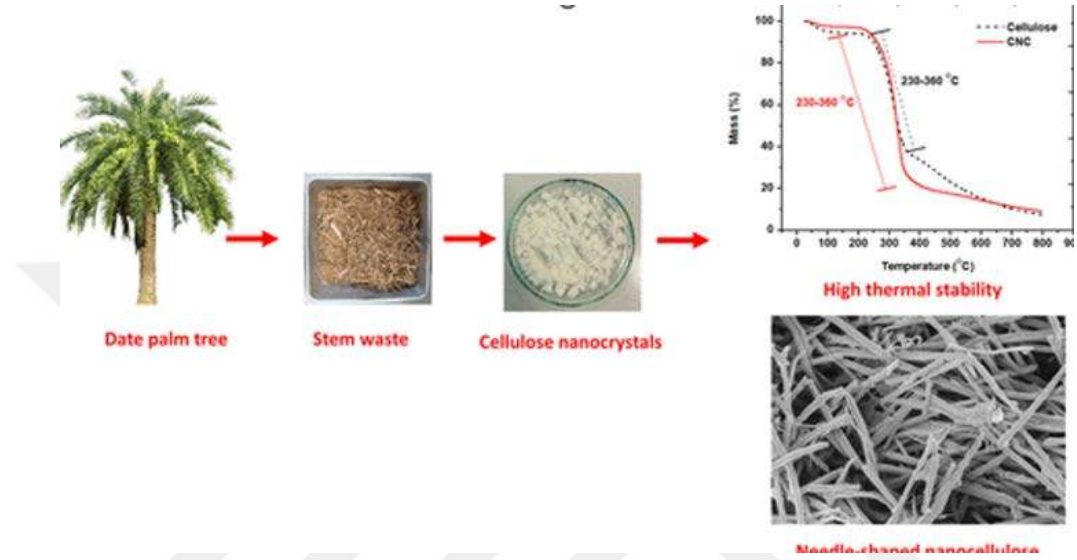
3.1 Palmiye Ağacı Yapraklarından (*Phoenix dactylifera* L.) Selüloz Nanokristallerinin Tekrarlanan Kimyasal İşlemlerle Hazırlanması

Abdul Rahman J. El Hamzani ve ark., (2020), Suudi Arabistan'da palmiye yaprakları gibi tarımsal artıklar bol miktarda bulunmaktadır. Selüloz açısından zengin bu tür bir kaynaktan faydalanmak büyük önem taşımaktadır. Selülozlu malzemeler ve CNC'ler (selüloz nanokristalleri), yerel çiftliklerde yan ürün olarak elde edilen palmiye yapraklarından bir dizi kimyasal işlem uygulanarak üretilmiştir. Lignin ve hemiselülozlar, alkali koşullarda (%0,893 M KOH) etkili bir şekilde uzaklaştırılmıştır. Asit hidrolizi (%60 w/v H₂SO₄) ve ardından gerçekleştirilen sonikasyon işlemi (20 kHz, 10 dakika, 100 °C), nanoselüloz oluşumuna olanak sağlamıştır. Analiz sonuçları, düzgün bir morfolojiye ve yüksek kristallilik derecesine sahip nanoselülozların başarıyla elde edildiğini göstermiştir. Bu yöntemle, düşük maliyetli bir tarımsal atıktan katma değerli bir ürün olan nanoselüloz üretilmiştir.

3.2 Palmiye Atığından Selüloz Nanokristallerinin İzolasyonu ve Karakterizasyonu

Mohsin Raza ve ark., (2022), Bu çalışmada, Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki palmiye atıklarından selüloz nanokristallerinin (CNC'ler) izolasyonu, karakterizasyonu ve kinetik analizleri sunulmaktadır. Palmiye sapı atıkları, asitleştirilmiş NaClO₂ ile ağartılmış ve ardından NaOH ile deionizasyon işlemine tabi tutularak selüloz ekstrakte edilmiştir. Mineral asit hidrolizi, ağırlıkça %62 H₂SO₄ kullanılarak 45 °C'de 45 dakika süreyle gerçekleştirilmiş ve kristal nanoselüloz üretilmiştir. Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve kimyasal bileşim analizi, selülozik olmayan bileşenlerin başarıyla uzaklaştırıldığını doğrulamıştır. X-ışını kırınımı (XRD) sonuçları, kimyasal işlemlerle kristallik indeksinin kademeli olarak arttığını göstermiştir. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) sonuçları ise CNC'nin yüksek termal stabiliteye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kinetik parametrelerin belirlenmesinde Coats-Redfern yöntemi kullanılmıştır. Kinetik analizler, CNC'nin selülozdan daha yüksek aktivasyon enerjisine sahip olduğunu doğrulamış ve bu durum CNC'nin kompakt ve dirençli kristal yapısına bağlanmıştır. CNC'nin kristal alanlarının, selüloz kristal alanlarına göre daha güçlü hidrojen bağları içerdiği sonucuna varılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), kimyasal ön işlemler sonrasında lignin ve hemiselülozun uzaklaştırıldığını ve hidroliz işleminin ardından çubuk şeklindeki CNC

yapısının elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, transmisyon elektron mikroskobu (TEM) analizleri, CNC'nin nano boyutlu kristalin yapısını doğrulamıştır. ζ potansiyel analizi, CNC'nin stabil bir süspansiyon sağladığını ($-29,27$ mV) ve topaklanmaya daha az eğilimli olduğunu göstermiştir. Hurma atıklarından izole edilen selüloz ve selüloz nanokristallerine yönelik kinetik analizler, kompozit malzemelerin üretiminde ve seçici piroliz reaktörlerinin tasarımında önemli bir potansiyele sahiptir.

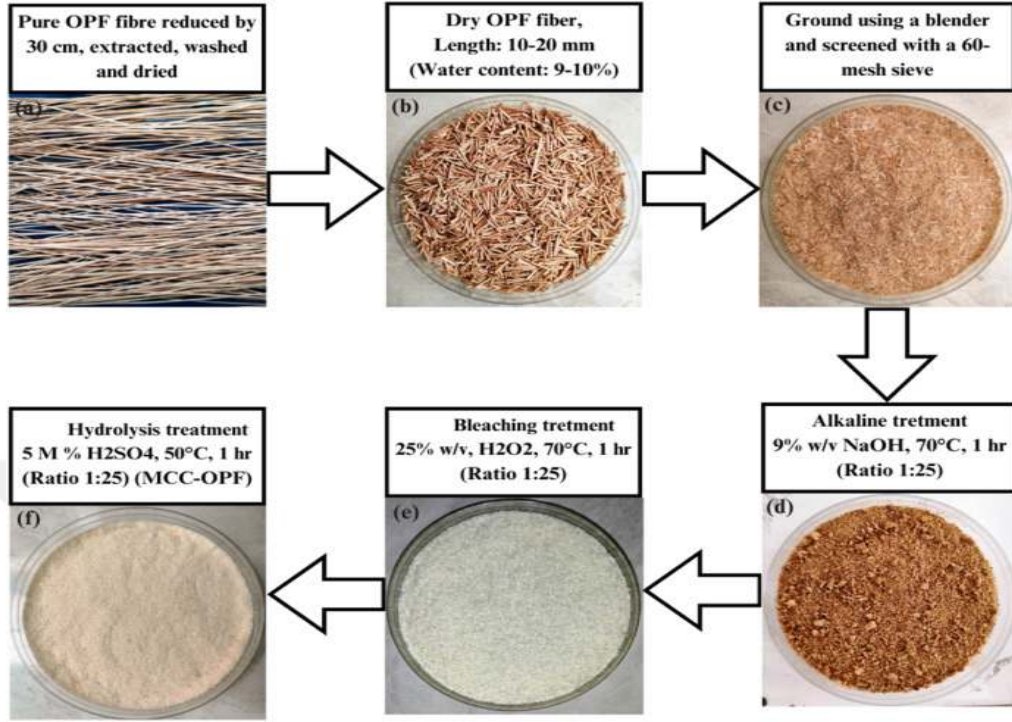


Şekil 6: Palmiye atıklarından nanoselülozun çıkarılmasının aşamaları

3.3 Ardışık Kimyasal İşlemler Kullanılarak Yağ Palmiyesi Yaprakları Biyokütlesinden Mikrokristalin Selülozun İzolasyonu ve Karakterizasyonu

Randis Randis ve ark., Şimdilik atık olarak kabul edilen palmye yağı yapraklarını (OPF) mikrokristalin selüloza (MCC) dönüştürmek, birçok fayda sağlayan sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, OPF atıklarından MCC elde etmektir. Selüloz, ardışık işlemlerle (alkali işlem, ağartma ve asit hidrolizi) izole edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, OPF liflerinin MCC yapısına ve benzersiz bir kristal yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, OPF atıklarından elde edilen MCC'nin yüksek kristallik indeksine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu özellik, MCC'nin yeşil kompozitlerde kullanımını avantajlı kılmaktadır; çünkü MCC, uyumlu yapısı, yüzeylere iyi yapışma özelliği ve üstün fizikokimyasal özellikleri ile öne çıkmaktadır. Deneyde kullanılan selüloz lifi, Doğu Kalimantan Eyaleti, Paser Regency, Kuaro Alt Bölgesi'ndeki plantasyondan toplanan yağ palmyesi yapraklarından elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan kimyasallar; Sodyum Hidroksit (NaOH %99, Merck marka), Hidrojen Peroksit (H_2O_2 %30, Merck Millipore marka) ve

Sülfürik Asit (H_2SO_4 %95–97 saflıkta, Merck marka) olup, bu kimyasallar Sigma–Aldrich aracılığıyla temin edilmiştir.



Şekil 7: OPF liflerinin izolasyonu ve selüloz çıkarma işleminin akış şeması.

Mikrokristalin selüloz, alkalileştirme, ağartma ve asit hidrolizi kullanılarak OPF liflerinden başarıyla çıkarılmıştır. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) gözlemleri, asit hidrolizi sonrasında elde edilen uzun lifler formunda ekstra ince fibrilleri ortaya koymuştur. Bu durum, ham OPF liflerinden farklıdır; ham liflerde hala demetler halinde bulunan ve yüzeye yapışan safsızlıklar mevcuttur. Kimyasal bileşim analizi, hemiselüloz ve lignin gibi selülozik olmayan bileşenlerin kimyasal işlemler sonrasında azaldığını ve bunun sonucunda selüloz miktarının arttığını göstermiştir. Tüm işlemlerden sonra lifin kimyasal bileşimindeki değişiklikler, selülozun kristallliğini artırmıştır. Ham OPF lifine kıyasla, kimyasal olarak işlenmiş OPF liflerinde daha yüksek kristallik değeri elde edilmiştir. Hidrolize edilmiş OPF lifi, işlenmemiş OPF lifine (%58,75) kıyasla daha yüksek bir kristallik oranına (%76,02) sahiptir. En yüksek termal kararlılık artışı, 334 °C'lik maksimum ayrışma sıcaklığında gözlemlenmiştir. Bu bulgular, yağ palmyesi yapraklarından elde edilen biyokütlenin, çevre dostu biyokompozit dolgu maddesi üretimi için rekabetçi bir başlangıç malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

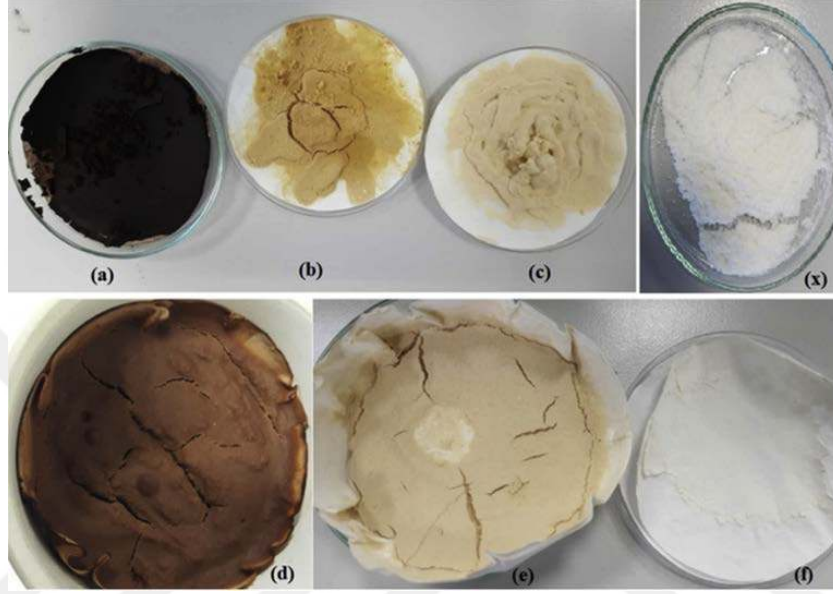
3.4 Palmiye Ağacı Selülozunun Ekstraksiyonu ve Aşı Kopolimerizasyonu Yoluyla Fonksiyonelleştirilmesi

Abdalmajeed A. Al-Hoqbani ve ark., (2014), Bu çalışma, palmiye ağacı atığından selülozik bileşenlerin çıkarılmasını ve bu selülozu akrilik asitle aşı kopolimerizasyonu yoluyla işlevselleştirmeyi amaçlamaktadır. Selüloz ekstraksiyonu, selülozik olmayan bağlayıcı maddeleri uzaklaştırmak için sulu sodyum hidroksit ile sıcak alkali işlem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alkali işlem, liflerin hidrofilitesini artırarak ve daha ileri aşılama reaksiyonlarına erişilebilirliğini iyileştirerek, selülozik olmayan maddelerin geri kalanını çıkarmak için perasiti/hidrojen peroksit karışımıyla oksidatif bir ağartma işlemiyle devam etmiştir. Selüloz ekstraksiyonu için optimum koşullar, 1:20'lik bir malzeme-likör oranında %5 (W/V) NaOH içinde 1 saat kaynatma, ardından başlangıç pH değeri 6,5 olan 60 ml/l ağartma karışımıyla 30 dakika ağartma yapılmasıdır. Ağartma ortamının pH'ı 11'e yükseltilir ve ağartma 30 dakika daha devam eder. Aşı kopolimerizasyon reaksiyonu, potasyum bromat/tiyoüre dioksit redoks sistemi ile başlatılmıştır. Aşılama için optimum koşullar, 30 mmol potasyum bromat, 30 mmol tiyoüre dioksit ve her 100 g selüloz için 150 g akrilik asittir. Polimerizasyon reaksiyonu, 1:20'lik bir malzeme-likör oranı kullanılarak 50 °C'de 120 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir.

3.5 Hurma Biyokütlesi Atığının Selüloz ve α -Selüloz İzolasyonu ve Karakterizasyonu

Emmanuel Galiwango ve Ark., (2019), Hurma biyokütlesi atığının farklı kısımlarını değerlendirmek amacıyla, içerdiği selüloz ve α -selülozu izole etmek için düşük konsantrasyonlu asit-alkali işlemi kullanılmıştır. Biyokütlenin raşis, yaprakçık ve lif kısımlarından elde edilen selüloz verimleri sırasıyla %74,70, %71,50 ve %73,82 iken, karşılık gelen α -selüloz verimleri sırasıyla %78,63, %75,64 ve %70,40 olmuştur. Selüloz örnekleri ağartılmış ve termogravimetrik analiz (TGA), Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile karakterize edilmiştir. XRD sonuçları, hem selüloz hem de α -selüloz örneklerinin yüksek kristalliliğini ortaya koyarken, TGA termogramları alkali işleminin raşisteki lignin ve hemiselülozları tamamen uzaklaştırdığını göstermektedir. Bu çalışma, hurma biyokütlesi atığının selüloz ve α -selüloz üretmek için hammadde olarak kullanılmasının ümit verici olduğunu ortaya koymuştur. Palmiye biyokütlesi örnekleri, BAE'deki Al Ain'de (24.122 N, 55.4441 E) yetişkin boyuttaki (10-15 yaşındaki) hurma ağaçlarından toplanan yerel bir çiftlik tarafından sağlanmıştır. Örnekler, toz ve diğer fiziksel safsızlıkları gidermek için deiyonize su ile yıkanmış ve ardından gölgeli bir alanda kurutulmuştur. Çalışmada kullanılan tüm çözücüler

(ACS sınıfı) ve reaktifler, daha fazla saflaştırma uygulanmadan Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir. Ticari α -selülozun molekül ağırlığı (162,1 g/mol) Sigma-Aldrich (2019) tarafından sağlanmıştır. Bu α -selüloz tipi, hurma selülozundan ve biyolojik olarak parçalanabilir polimerlerden çatal bıçak takımı yapmak için planlanan sonraki araştırmalarda dikkate alınacak önemli süreçler olan yardımcı ekstrüzyon ve opaklaştırıcı benzeri uygulamalar nedeniyle, izole edilen α -selüloz örneğiyle karşılaştırma için seçilmiştir.



Şekil 8: (a) izole edilmiş selülozun, (b) ilk ağartmadan sonraki selülozun (c), ikinci ağartmadan sonraki selülozun; (d)–(f) ağartılmamış α -selüloz numunelerinin ve (X) ticari bir α -selüloz numunesinin fotoğrafları.

Düşük konsantrasyonlu asit-alkali işlemi ve ağartma, lignoselülozik hurma ağacı atıklarının farklı kısımlarından (raşis, yaprakçık ve lif) selüloz ve α -selülozun izole edilmesinde başarıyla kullanılmıştır. Hurma biyokütlesinin selülozik olmayan fraksiyonları (hemiselüloz ve lignin) bu süreçte çıkarılmıştır. Raşis kısmı, hem deneysel hem de istatistiksel tasarımla test edildiği gibi, en yüksek miktarda selüloz ve α -selüloz vermektedir. Raşis'ten elde edilen α -selülozun karakterizasyonu, ticari α -selülozun özelliklerine benzer sonuçlar vermektedir. Ekstrakte edilen selüloz ve α -selüloz, yüksek kristallik göstermiştir; bu da hurma atıklarının biyorafineri ham maddesi olarak kullanım potansiyelini ortaya koymaktadır. Selüloz lifinin SEM analizleri, çubuk benzeri yapılar içeren özel yüzey morfolojilerini ortaya çıkarmıştır. Hurma lifinden elde edilen selüloz, bu nedenle, polimer ve diğer endüstrilerde kullanılan takviye dolgu maddelerinin önemli bir bileşeni olan selüloz nanokristallerinin üretiminde potansiyel bir kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen α -selülozların kristallik indeksleri, amorf selülozun ana yansımasını $2\theta = 18^\circ$ 'de azalttığını varsayan, kullanılan Segal formülünün bir dezavantajı

nedeniyle keyfi değerler olarak kabul edilebilir ($2\theta = 16^\circ$). Bu nedenle, ekstrakte edilen α -selülozların kesin kristallik indekslerini belirlemek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Ancak, bu çalışmada hurma atıklarından selüloz ve α -selülozun başarılı bir şekilde izolasyonu ve karakterizasyonu, biyokütlenin, özellikle biyorafinerilerde hammadde olarak kullanılmasının sürdürülebilir yeşil büyümeye katkıda bulunma potansiyelini göstermektedir.

3.6 Hurma Lifinden Selüloz Nanokristal (CNC) Üretimi ve Karakterizasyonu

Othman Y. Alothman ve ark., (2021), Hurma lifi, üretim sürecinde yüksek yüzey reaktivitesine atfedilerek, çeşitli uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılan selüloz nanokristal (CNC) üretimi için sürdürülebilir bir biyokütle ve alternatif bir biyomalzeme olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, hurma lifinden sırasıyla DPCNC-I, DPCNC-II ve DPCNC-III'ü elde etmek için, 10/90, 20/80 ve 30/70 (ağırlık %/ağırlık %) oranlarında kombine sülfürik/asetik asit hidrolizi yöntemi kullanılmıştır. Yapısal analiz, her nanopartikül örneğinde çubuk benzeri kristal parçacık özelliklerinin bulunduğunu göstermiştir. Fizikokimyasal özellikler açısından, saf selüloz bileşeni DPCNC-II ve DPCNC-III tarafından ortaya konmuştur. Kristallik derecesi her nanopartikülde artış gösterirken, özellikle DPCNC-III için %84,2 gibi dikkate değer bir kristallik seviyesi tespit edilmiştir. Termal davranış açısından, DPCNC-III, ısı bozulmasına karşı en yüksek dayanıklılığı sergileyerek diğer CNC örnekleri arasında üstün performans göstermiştir. Bu sonuçlar, hurma CNC'nin çeşitli endüstriyel alanlarda uygulanabilecek potansiyel bir dolgu maddesi olabileceğini düşündürmektedir. Hurma lifi, Suudi Arabistan'ın Riyad kentinden toplanmış ve toz haline getirme makinesi kullanılarak yaklaşık 10 mm boyutunda öğütülmüştür. Sülfürik asit, asetik asit, sodyum klorit, sodyum hidroksit, diyaliz tüpü ve naylon membran filtre gibi malzemeler, Malezya'daki Evergreen Sdn. Bhd. Firmasından temin edilmiştir.

3.7 Palmiye Liflerinden Karboksimetil Selüloz (CMC) Sentezi ve Ozon Ön İşleminin Etkileri

Agustu Sholeh Pujokaroni ve Hideaki Ichiura (2023): Palmiye liflerinden (CPF) elde edilen selüloz, karboksimetil selüloz (CMC) sentezinde kullanılmıştır. Bu çalışmada, ozon ön işleminin CMC'nin ikame derecesi (DS) ve viskozite gibi özellikleri üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ozonla işlem görmüş CPF, alkali ortamda gerçekleştirilen alkalizasyon ve eterifikasyon adımları ile CMC'ye dönüştürülmüştür. Bu süreçte, sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum monoklorasetik asit (NaMCA) reaktifleri

kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, CMC'nin ikame derecesinin ozon ön işlem süresiyle arttığını ve bu artışın kullanılan NaOH ve NaMCA miktarına bağlı olduğunu göstermiştir. İkame derecesindeki artışa paralel olarak, CMC'nin suda çözünürlüğünün de yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, ozon ön işleminin süresinin artırılması, CMC'nin çözünürlük özelliklerini iyileştirmiştir. En uygun işlem koşulları, 3 saatlik ozon ön işlemi, ardından 10 mL %30 NaOH çözeltisi ve 38,6 mM NaMCA kullanımı olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında, CMC'nin ikame derecesi %1,05, saflığı %79,6 ve çözünürlüğü %94,6 olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, ozonla işlem görmüş selülozdan üretilen CMC'nin viskozitesinin, ozon ön işlem süresi uzadıkça azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum, selülozun polimerizasyon derecesindeki azalmaya bağlanmıştır. Sonuç olarak, CMC üretiminde ozon ön işleminin, elde edilen ürünün özelliklerini kontrol etmede etkili bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

3.8 Genç Palmira Palmiye Meyve Kabuğundan Karboksimetil Selüloz

Pimonpan Kaewprachu ve ark., (2022), Genç palmiye (*Borassus flabellifer*) meyvesi kabuğundan, tatlı jel çekirdek çıkarıldıktan sonra elde edilen tarımsal bir yan ürün, karboksimetil selüloz (CMC) sentezi için başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Sodyum hidroksit (NaOH) seviyesinin (%30–60, w/v) artırılmasıyla, ürün verimi (%101,35–125,72), ikame derecesi (DS: 0,19–0,58) ve çözünürlük (%10,04–83,58) açısından anlamlı artışlar gözlemlenmiştir ($P < 0,05$).

Sentetik olarak elde edilen genç palmiye meyvesi kabuğundan üretilen karboksimetil selülozun (CMCy) kristallliği, doğal selüloza kıyasla azalma göstermiştir. CMCy filmleri, ticari karboksimetil selüloz (CMCc) filmleriyle karşılaştırıldığında, fiziksel ve optik özellikler açısından anlamlı farklılıklar sergilemiştir ($P < 0,05$). CMCy filmleri açık sarı renkte ve pürüzlü bir yüzeye sahipken, CMCc filmleri renksiz ve şeffaf bir görünüme sahiptir. Bununla birlikte, CMCy filmleri, CMCc filmlerine kıyasla daha büyük bir kalınlığa sahip olmuş, ancak daha düşük çekme mukavemeti ve daha yüksek su buharı geçirgenliği sergilemiştir ($P < 0,05$). Bu bulgular, genç palmiye meyvesi kabuğunun CMC üretiminde kullanılabilir bir hammadde olduğunu ve gıda ambalajı uygulamalarında potansiyel taşıdığını göstermektedir.

3.9 Palmiye Yapağı Liflerinden Karboksimetil Selüloz (CMC) Sentezi ve Özelliklerinin İncelenmesi

Aisyah Rusdin ve ark., (2023), Palmiye yapağı lifleri, toplum tarafından yeterince değerlendirilmeyen atıklardan biridir ve %54,27 oranında selüloz içeriği ile karboksimetil selüloz (CMC) üretimi için önemli bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, palmiye yapağı liflerinden CMC sentezi sürecini ve elde edilen CMC'nin özelliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, sentez ve karakterizasyon yöntemleri kullanılmıştır. CMC sentez süreci, alkalizasyon ve karboksimetilasyon adımlarını içermektedir. Palmiye yapağı liflerinden elde edilen CMC'nin özellikleri; verim, renk, pH ve FTIR analizi ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, palmiye yapağı liflerinden elde edilen CMC'nin %90 verim, pH 6,83 ve gri-beyaz bir renk ile karakterize edildiğini ortaya koymuştur. FTIR analizinde ise CMC'deki karakteristik gruplar belirlenmiştir: 3331,36 cm^{-1} emilim alanında -OH grubu, 2891,5 cm^{-1} emilim alanında C-H grubu ve 1000-1300 cm^{-1} emilim alanında -COC- grubu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, palmiye yapağı liflerinin CMC üretiminde kullanılabilir bir kaynak olduğunu ve elde edilen CMC'nin çeşitli endüstriyel uygulamalara uygun niteliklere sahip olduğunu göstermektedir.

3.10 Palmiye Salkımı ve Bagas Tarımsal Atıklarından Elde Edilen Karboksimetil Selüloz (CMC) ve CMC Filmlerinin Üretimi

Rungsiri Suriyatem ve ark., (2020), Bu çalışmanın amacı, palmiye salkımı ve bagas tarımsal atıklarından elde edilen selülozdan karboksimetil selüloz (CMC) sentezlemek ve CMC filmleri üretmektir. Araştırmada, ligninin uzaklaştırılması sırasında kullanılan farklı H_2O_2 oranlarının (%0–40 v/v) selüloz, CMC ve CMC filmlerinin özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, artan H_2O_2 içeriğiyle birlikte hurma salkımı ve bagas selülozunun veriminde ve lignin içeriğinde azalma olduğunu; buna karşılık açıklık (L^*) ve beyazlık indeksi (WI) değerlerinde artış görüldüğünü ortaya koymuştur. FTIR analizleri, selüloz yapısına karboksimetil gruplarının bağlandığını doğrulamıştır. Her iki kaynaktan elde edilen CMC'nin en yüksek süstitüsyon derecesine, %20–30 H_2O_2 kullanıldığında ulaşıldığı tespit edilmiştir. CMC ve CMC filmlerinin L^* ve WI değerlerindeki değişim, ilgili selülozların değerleriyle uyum göstermiştir. %20 H_2O_2 ile yapılan ağartma işlemi, en yüksek viskoziteye sahip selülozu sağlamış ve bu selülozdan üretilen CMC filmleri, en iyi mekanik özelliklere (daha yüksek çekme mukavemeti ve kopmada uzama) ve çözünürlük özelliklerine sahip olmuştur. Ancak, bu durum su buharı bariyer özelliğinde bir azalmaya yol açmıştır. Bu bulgular, H_2O_2 ile yapılan ligninin uzaklaştırma işleminin, hem CMC'nin görünümü hem de fiziksel özellikleri üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

3.11 Tarımsal Atıklardan Karboksimetil Selüloz (CMC) Üretimi ve NaOH'nin Sübstisüsyon Derecesine Etkisi

Hossein Amani ve ark., (2016):Bu araştırmada, şeker kamışı bagası, pirinç sapı, buğday sapı, talaş ve palmye ağacı yaprakları gibi çeşitli tarımsal atıkların karboksimetil selüloz (CMC) üretimi için kullanılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca, bu kaynaklardan elde edilen CMC'nin maksimum sübstitüsyon derecesini (DS) elde etmek amacıyla NaOH'nin etkisi araştırılmıştır.Elde edilen sonuçlara göre, maksimum DS değerleri şeker kamışı bagası için 0,71; pirinç sapı için 0,58; buğday sapı için 0,41; talaş için 0,67 ve palmye ağacı yaprakları için 0,54 olarak bulunmuştur. Aynı koşullarda üretilen CMC'lerin %1 (w/w) viskozite değerleri ise şeker kamışı bagası için 6,84 cp, pirinç sapı için 10,8 cp, buğday sapı için 4,97 cp, talaş için 4,08 cp ve palmye ağacı yaprakları için 7,71 cp olarak ölçülmüştür.Karboksimetil selüloz üretimini doğrulamak amacıyla, bu çalışmada üretilen CMC'lerin FT-IR analiz sonuçları ile ticari olarak temin edilen saf CMC'nin FT-IR sonuçları karşılaştırılmıştır.

3.12 Tarımsal Atıklardan Selüloz Asetat Üretimi

Rodrigo Battisti ve ark., (2018), Bu çalışma, kral palmyesi yaprak kılıfı gibi tarımsal ve endüstriyel atıkların katma değerli bir şekilde değerlendirilmesi yoluyla selüloz asetat üretimini ele almaktadır. Çalışmanın motivasyonlarından biri, Brezilya'nın dünyanın en büyük palmye üreticilerinden biri olmasıdır. Ancak bu üretim ve işleme süreçleri, çevreye tonlarca atık bırakmaktadır. Bu tür atıklar, ticari değer taşıyan türevlerin üretilebileceği lignoselülozik materyaller bakımından oldukça zengindir.Selüloz asetat sentezi, homojen bir asetilasyon reaksiyonu ile gerçekleştirilmiştir. Ham maddenin lignin içeriğini azaltmak amacıyla üç farklı delignifikasyon yöntemi test edilmiş ve lignin miktarı %17,75'ten %7,72'ye düşürülmüştür. En yüksek selüloz asetat verimi %99,5 olarak elde edilmiş, sübstitüsyon dereceleri ise 2,08 ile 2,82 arasında değişmiştir. Bu sonuçlar, tatmin edici bir dönüşüm olduğunu göstermektedir.Fourier dönüşümlü kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi, hidroksil gruplarının neredeyse tamamının asetat gruplarıyla değiştirildiğini doğrulamış ve bu bulgular nükleer manyetik rezonans (NMR) analizi ile desteklenmiştir. X-ışını kırınım analizi ise selüloz asetatın kristallik indeksinin %8,9 olduğunu ortaya koymuştur.Bu bulgular, düşük maliyetli ve yaygın olarak bulunabilen tarımsal ve endüstriyel atıkların değerlendirilmesi yoluyla selüloz asetat üretiminin uygulanabilir bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Materyal

Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarı bahçesinde bulunan Palmiyegiller familyasına ait Akdeniz palmiye türü, bu tez çalışmasında araştırma materyali olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında, palmiye ağacı yaprakları üzerlerinde biriken toz ve yabancı maddelerin uzaklaştırılması amacıyla su ile yıkanarak temizlenmiştir. Temizleme işleminin ardından yapraklar küçük parçalara ayrılmış, düşük nem seviyesine ulaşana kadar uygun koşullarda kurutulmuş ve son aşamada ince toz haline getirilmek üzere öğütülmüştür. Araştırmada, kurutma işleminden sonra ağırlıkları 300-350 gram arasında değişen palmiye ağacı yaprakları toz halinde kullanılmıştır. Palmiye bitkisinin atıklarından selüloz ve karboksimetil selüloz (CMC) üretimi üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, laboratuvar ortamında VELP SCIENTIFICA ARE marka manyetik ısıtıcı-karıştırıcı cihaz, WTW pH 315İ marka pH metre, porselen tokmaklı havan ve porselen sıyırıcılar gibi çeşitli mekanik aletler kullanılmıştır. Çalışma sırasında kullanılan kimyasallar NaOH (AFG Sodyum Hidroksit) Pellets; Extra Pure, hidrojen peroksit %35 (EMPROVE), etil alkol %96 + %2-propanol karışımı Extra Pure (Teksoll), monokloroasetik asit ve sülfürik asit olarak sıralanabilir.

4.2 METOT

4.2.1 Hasat ve Durulama

Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarı bahçesinde bulunan Akdeniz palmiye türünün yaprakları ve kınları, ayrı mekanik parçalayıcılar kullanılarak budanmıştır. Palmiye bitkisinin hasadı, dipten orakla biçme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda, 2 saatlik bir sürede 6 kg palmiye materyali toplanmıştır. Hasat edilen palmiye yaprakları ve sapları, yabancı maddelerden arındırılmak amacıyla durulama işlemine tabi tutulmuştur.

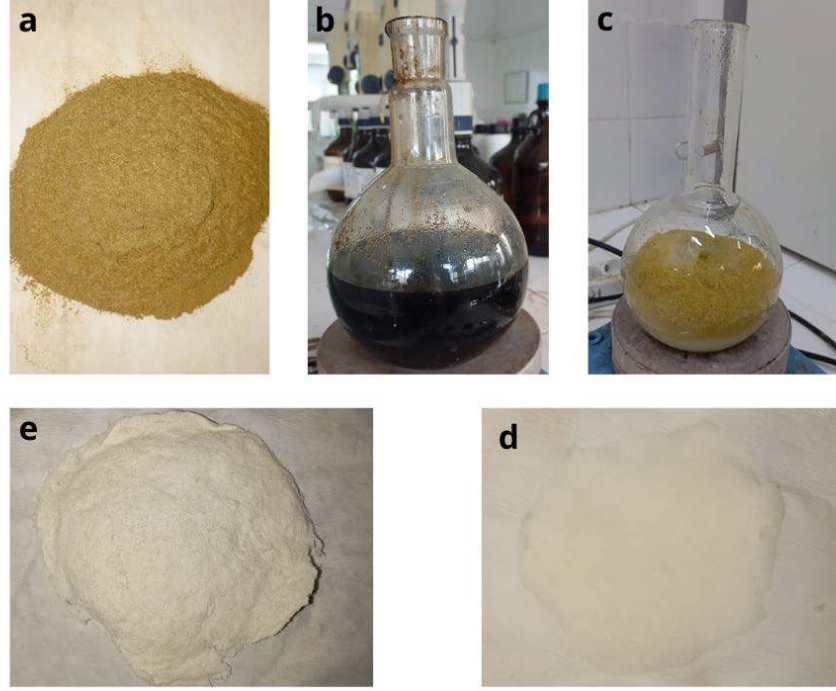


Şekil 9: Palmyra yapraklarının hasadı3w

4.2.2 Selüloz ekstraksiyonu ve hazırlanması

Selülozun izolasyonu için ilk adımda, palmyra yaprakları 2-5 cm boyutlarında parçalara kesilmiş ve yüzeyindeki toz ile kir partiküllerinin uzaklaştırılması amacıyla distile su ile iyice yıkanmıştır. Yıkama işlemi sonrasında, yaprak örnekleri nem oranını minimize etmek amacıyla 105°C’de 5 saat boyunca fırında kurutulmuştur. Selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşiklerle çevrilidir ve bu bileşikler lignoselüloz matrisini oluşturur. Bu nedenle, selülozun izolasyonu için uygun bir ön işlem gereklidir. Bu çalışmada, 350 g kuru palmyra yaprağı önce havanla öğütülmüş, ardından 50 mikrometre boyutunda bir elekten geçirilerek ince toz haline getirilmiştir. Elde edilen palmyra tozundan 50 g alınarak, 500 mL distile su içinde 50 g sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisiyle karıştırılmış ve 90-100°C’de, sürekli karıştırılarak 2-3 saat süreyle ısıtılmıştır. NaOH çözeltisinin hazırlanması için, 50 g NaOH, 500 mL distile suya eklenerek yaklaşık %4’lük bir çözelti elde edilmiştir. Bu işlem, hemiselüloz ve lignin gibi bileşenlerin çözünmesini sağlayarak selülozun serbest hale gelmesini hedeflemektedir. İkinci aşamada, reaksiyon karışımı distile su ile birkaç kez yıkanarak fazla NaOH’dan arındırılmıştır. Bu aşama, hemiselüloz ve lignin parçalarının çözünmesinin ardından, çözeltiden bu bileşiklerin temizlenmesini amaçlamaktadır. Sonraki adımda, elde edilen hamura 50 mL hidrojen peroksit (H_2O_2 , %30) ve 50 mL distile su eklenmiş, karışım 70°C’de yaklaşık 1-2 saat süreyle karıştırılmıştır. Hidrojen peroksit, lignin gibi organik bileşiklerin oksidatif beyazlatılmasında etkin bir rol oynamaktadır. Bu işlem, lignin ve diğer organik kirliliklerin uzaklaştırılmasına yardımcı olmuştur. Üçüncü aşamada, hamura 50 mL distile su, 10 g NaOH ve 20 mL hidrojen peroksit eklenerek 70°C’de bir saat karıştırılmaya devam edilmiştir. Bu

işlem, çözültiden son kalan kimyasal bileşenlerin arındırılmasına yöneliktir. Bu işlemin ardından, elde edilen hamur distile su ile birkaç kez yıkanmış ve süzülmüştür. Son olarak, elde edilen selüloz hamuru 50°C’de 8 saat boyunca fırında kurutulmuş ve tamamen kuru hale getirilmiştir.



Şekil 10: (a): Öğütülmüş palmye yaprakları (b): Alkali İşlemi (c): Ağartma işlemi (d): Elde edilen ıslak hamur (e): Ham selüloz

4.2.3 Selüloz Verimi

Selüloz verimi, işlem sonrası elde edilen ham selüloz miktarının, başlangıçta kullanılan biyokütle miktarına oranı olarak hesaplanır. Verim hesaplaması şu şekilde yapılmaktadır:

$$\text{Selüloz Verimi (\%)} = \left(\frac{\text{Elde edilen selüloz kütlesi (g)}}{\text{Başlangıç biyokütle kütlesi (g)}} \right) \times 100$$

$$\text{Selüloz Verimi (\%)} = \left(\frac{5.77}{50} \right) \times 100 = 11.54 \%$$

4.2.4 Karboksimetil Selüloz (CMC) Sentezi

Palmiyeden elde edilen selülozdan karboksimetil selüloz (CMC) üretimi için öncelikle 2 gram sodyum hidroksit (NaOH), 20 mL distile su içinde çözündürülür ve homojen bir bazik çözelti elde edilir. Ardından, 2 gram selüloz toz halinde bu çözeltiye eklenir. Karışım sürekli karıştırılarak reaksiyonun verimliliğini artırmak amacıyla su banyosunda 50-70°C arasında 1-2 saat ısıtılır. Bu aşamada, selülozun yapısındaki hidroksil gruplarının aktive olması sağlanır. Daha sonra, 1,16 gram kloroasetik asit (ClCH₂COOH) karışıma yavaş ve aşamalı olarak eklenir. Bu işlem sırasında ani sıcaklık artışlarını ve kontrolsüz reaksiyonları önlemek için dikkatli bir şekilde çalışılır. Karışım sürekli karıştırılarak 2 saat boyunca aynı sıcaklık aralığında tutulur ve reaksiyonun tamamlanması sağlanır. Karboksimetil selüloz (CMC) üretimi için reaksiyon şu şekilde temsil edilebilir:



Selülozdan gerekli olan kloroasetik asit miktarını hesaplamak için öncelikle selülozun mol sayısının bulunması gerekir. Selülozun moleküler ağırlığı yaklaşık olarak 162.14 g/mol olup, bu çalışmada 2 gram selüloz kullanılmıştır. Selülozun mol sayısını hesaplamak için şu formül kullanılır:

$$\begin{aligned} \text{Selülozun Mol Sayısı} &= \frac{\text{Kütle (2 gram)}}{\text{Selülozun Mol Ağırlığı (162.14 } \frac{\text{g}}{\text{mol}})} = \frac{2}{162.14} \\ &= 0.0123 \text{ mol} \end{aligned}$$

Her bir mol selüloz, bir mol kloroasetik asit ile reaksiyona girdiği için, gerekli olan kloroasetik asit miktarı da aynı mol sayısında, yani 0.0123 mol olacaktır. Kloroasetik asit için gerekli kütleyi hesaplamak için şu formül kullanılır:

$$\begin{aligned} \text{Gerekli kloroasetik asit kütlesi} &= \text{Mol sayısı} \times \text{Molekül Ağırlık} \\ &= 0.0123 \text{ mol} \times 94.5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1.16 \text{ gram} \end{aligned}$$

Bu hesaplamalara göre, 2 gram selüloz için 1,16 gram kloroasetik asit kullanılmıştır.

Reaksiyon tamamlandıktan sonra, karışım soğutulur ve fazla bazik ortamı nötralize etmek için saf su ile seyreltilir. Elde edilen CMC ürünü, filtre kâğıdı yardımıyla süzülerek saflaştırılır ve kalan NaOH veya kloroasetik asit kalıntıları temizlenir. Ardından, distile sudan 15 mL ve 50 mL etanolden oluşan karışımla 4 kez yıkanır. Son olarak, ürün 50°C'de, düşük sıcaklıkta, fırında 75 dakika kurutulur.



Şekil 11: (a) öğütülmüş ham selüloz, (b): kullanılan fırın, (c): kuruduktan sonra CMC

4.2.5 Karboksimetil selüloz (CMC) verimi

Karboksimetil selüloz (CMC) verimini hesaplamak için, reaksiyon sonucunda elde edilen ürünün ağırlığı ile başlangıçta kullanılan selüloz miktarı dikkate alınır. Verim hesaplama formülü şu şekilde ifade edilir:

$$CMC \text{ Verimi} = \frac{\text{Elde Edilen CMC Ağırlığı (g)}}{\text{başlangıçtaki Selüloz Ağırlığı (g)}} \times 100$$

$$CMC \text{ Verimi} = \frac{1.33 \text{ g}}{2 \text{ g}} \times 100 = 66.5 \%$$

4.2.6 Selüloz Asetat Sentezi

Palmiyeden elde edilen selülozdan selüloz asetat üretimi için öncelikle 2 gram ham selüloz tartılıp havan yardımıyla toz haline getirilmiştir. Daha sonra, ısıya dayanıklı cam bir kap içerisine selüloz yerleştirilmiş ve üzerine yaklaşık 20-30 mL buz asetik asit (Glacial

Acetic Acid) ilave edilmiştir. Reaksiyonu katalize etmek için karışıma birkaç damla derişik sülfürik asit (H_2SO_4) yavaşça eklenmiştir. Bu işlem sırasında karışım dikkatlice karıştırılarak homojen bir çözeltinin oluşması sağlanmıştır. Reaksiyon karışımı, düşük bir sıcaklıkta (40-50°C) su banyosunda sürekli karıştırma eşliğinde ısıtılarak esterleşme süreci başlatılmıştır. Ancak buz asetik asit ile gerçekleştirilen esterleşme, asetik anhidrit kullanımına kıyasla daha yavaş ilerlediğinden, işlem yaklaşık 1-2 saat sürmüştür. Reaksiyon tamamlandığında, elde edilen karışım yavaşça soğuk etanol içerisine eklenmiş ve karıştırılmıştır. Bu işlem sırasında selüloz asetat çökeltiştir. Çökelti, birkaç kez distile su ile yıkanarak reaksiyon artıkları ve safsızlıklar giderilmiştir. Son olarak, ürün 60-70°C’de kurutularak kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 12: Elde edilen Selüloz Asetat

4.2.7 Selüloz Asetat Verimi

Buz asetik asit ve derişik sülfürik asit kullanılarak gerçekleştirilen selüloz esterleşme reaksiyonunda, elde edilen ürün verimi genellikle asetik anhidrit kullanımına kıyasla daha düşüktür. Bunun temel nedeni, buz asetik asidin esterleşme reaksiyonunda daha yavaş etki göstermesi ve yüksek esterleşme derecesine ulaşmanın daha zor olmasıdır. Bu tür reaksiyonlarda verim, genellikle başlangıçta kullanılan selüloz miktarına göre hesaplanır ve yaklaşık %60-80 arasında değişir. Verimi etkileyen faktörler arasında reaksiyon süresi, sıcaklık ve kullanılan katalizör miktarı yer alır. Örneğin, reaksiyon süresinin uzatılması esterleşme derecesini artırabilir, ancak bu durum yan ürün oluşma riskini de beraberinde getirir. Benzer şekilde, sülfürik asit miktarının optimum düzeyde tutulması önemlidir; çünkü fazla miktar selülozun yapısını bozabilirken, yetersiz miktar reaksiyon hızını düşürür. Sıcaklık da reaksiyonun başarısında kritik bir rol oynar ve 40-50 °C arasında sabit tutulması önerilir. Sonuç olarak, elde edilen ürünün miktarı başlangıçtaki selüloz miktarı ile karşılaştırılarak verim yüzdesi şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Selüloz Asetat Verimi} = \frac{\text{Elde edilen ürün ağırlığı (g)}}{\text{Başlangıçtaki Selüloz ağırlığı (g)}} \times 100$$

$$\text{Selüloz Asetat Verimi} = \frac{1.64 \text{ g}}{2 \text{ g}} \times 100 = 82\%$$

4.2.8 Hidrolik Pres ile Selüloz Türevlerinin Şekillendirilmesi

Hidrolik pres, selülozun farklı türevlerinin işlenmesinde önemli bir aşamadır. Bu çalışmada, palmiye yapraklarından elde edilen selüloz, karboksimetil selüloz (CMC) ve selüloz asetat üzerine 150 bar basınç uygulanmıştır. Yüksek basınç ve sıcaklık koşulları altında gerçekleştirilen bu işlem, malzemenin istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmasını sağlamıştır. İşlem sonrasında, elde edilen selüloz türevleri, hidrolik pres kullanılarak küçük, dairesel diskler şeklinde şekillendirilmiştir. Bu tür bir uygulama, selüloz ve türevlerinin biyomateryal olarak potansiyel kullanım alanlarının genişletilmesinde önemli bir adımdır.

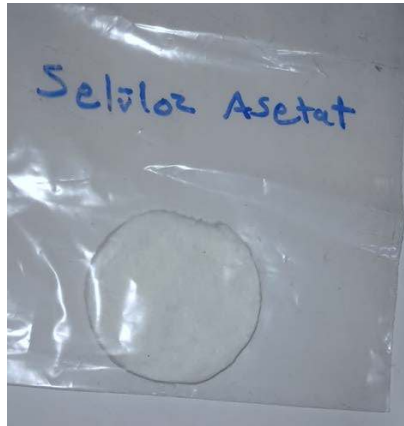
Şekil 13:Kullanılan Hidrolik pres cihazı



Şekil 14:Elde edilen Selüloz

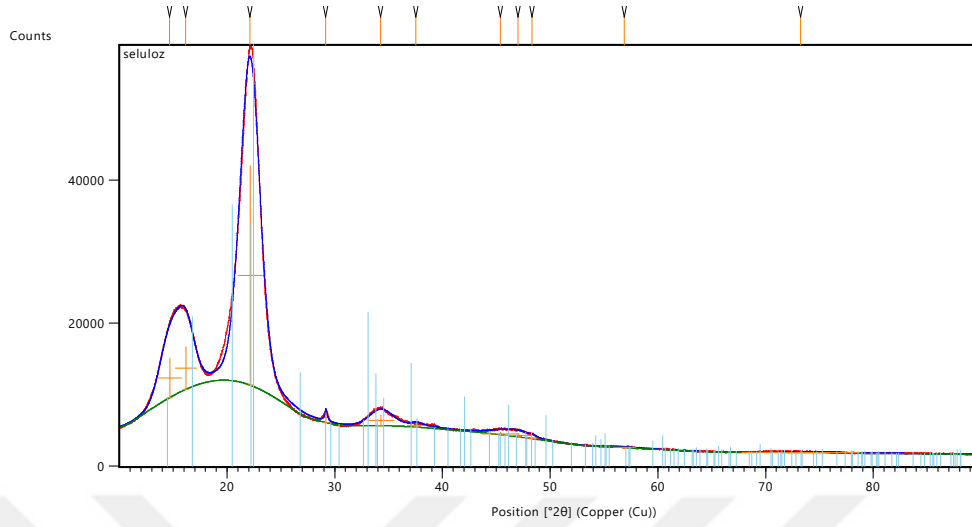


Şekil 15:Elde edilen karboksimetil selüloz



Şekil 16:Elde edilen Selüloz Asetat

4.2.9 XRD (X-Işını Kırınımı) Analizi



Şekil 17: Palmiye bitki yapraklardan üretilen selüloz XRD analizi ile belirlenmiş kristal yapısı

Selüloz yapısının karakterizasyonu için yapılan XRD analizine ait kırınım desenleri Şekil 17’de sunulmaktadır. Analiz sonucunda, selüloza özgü ana pik değerleri tespit edilmiştir. Bu pikler sırasıyla 14.63°, 16.14° ve 22.09° olarak belirlenmiştir. $2\theta=22.09^\circ$ civarında gözlemlenen yüksek şiddetli pik, selülözün kristal yapısına işaret etmektedir. Bunun yanı sıra, düşük şiddetli pikler ($2\theta=29.15^\circ$, 34.25° ve 37.52°), numunede eser miktarda yabancı maddelerin veya amorf yapıların bulunduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, selülözün hem kristal hem de amorf bileşenler içerdiğini göstermektedir.

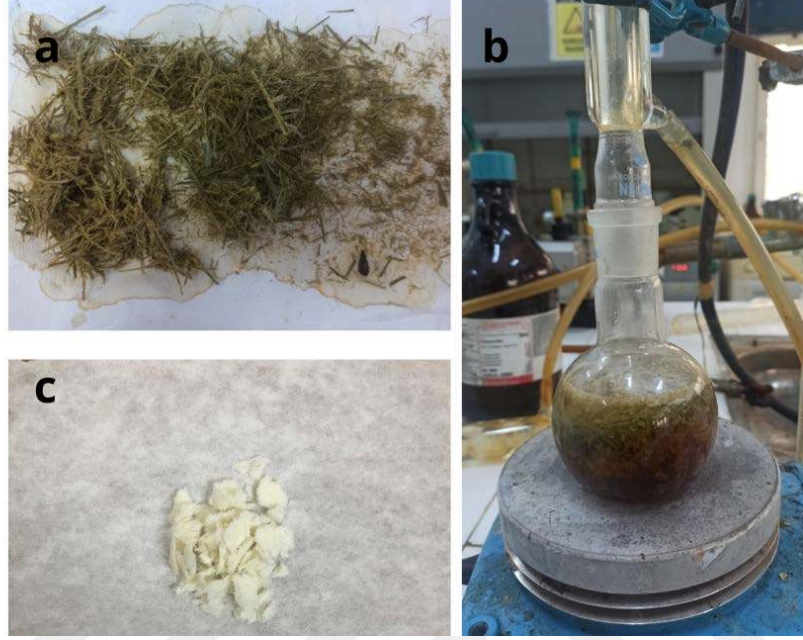
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Selüloz Ekstraksiyonu ve Hazırlanması

- **Kesme ve öğütme yönteminin ekstraksiyona etkisi**

Bu çalışmada, kurutulmuş palmiye yapraklarından selüloz ekstraksiyonunda kullanılan kesim yönteminin etkisi değerlendirilmiştir. Kesim yönteminin, materyalin fiziksel özelliklerini ve dolayısıyla ekstraksiyon sürecinin etkinliğini doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Daha küçük boyutlarda kesilen ve öğütülen yapraklar, yüzey alanını artırarak kimyasal reaktiflerin hücresel yapıya daha kolay nüfuz etmesini sağlamıştır. Bunun sonucunda, lignin ve hemiselüloz gibi istenmeyen bileşenlerin daha etkili bir şekilde uzaklaştırıldığı ve daha yüksek saflıkta selüloz elde edildiği tespit edilmiştir. Buna karşın, başlangıçta yapılan bir deneyde, yaklaşık 6 gram kuru palmiye yaprağının daha kaba bir şekilde kesilip ipliksi formda

bırakılması durumunda, selüloz ekstraksiyonunun daha zor olduğu ve elde edilen ürünün düşük miktar ve kaliteye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, kesim boyutunun yalnızca reaksiyon verimliliğini değil, aynı zamanda ürün kalitesini de etkilediğini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil18 :a) İplik kesme yöntemi
b) İp kesme yöntemini kullanarak selüloz ekstraksiyonu
c) 6 gram palmiye yaprağından yalnızca 0,904 gram selüloz elde edilmiştir.

• **Kimyasal Konsantrasyonların Selülozun Ekstraksiyonu ve İşlenmesi Üzerindeki**

Etkisi Bu çalışmada, kurutulmuş ve öğütülmüş palmiye yaprağından selüloz ekstraksiyonunda kullanılan kimyasal konsantrasyonların etkisi, iki farklı deneysel düzenek ile incelenmiştir. İlk deneyde, 50 g kurutulmuş ve öğütülmüş palmiye yaprağı, 800 mL saf su içinde çözündürülmüş 80 g sodyum hidroksit ile muamele edilmiştir. Karışım, sürekli karıştırılarak 1,5 saat boyunca kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmış, ardından iyice yıkanmış ve süzölmüştür. Sonrasında, her biri 50 mL hidrojen peroksit ve 50 mL saf sudan oluşan iki ayrı aşamada çözelti eklenmiş ve karışım bir saat süreyle yeniden ısıtılmıştır. Bu işlemi takiben numune yıkanmış, süzölmüş ve 100 mL saf su içinde çözündürülmüş 20 g sodyum hidroksit ile 40 mL hidrojen peroksit içeren bir çözeltiye aktarılmıştır. Karışım, aşamalı olarak ısıtılıp soğutulurak bir saat süreyle işlem görmüş ve ardından yıkama ve süzme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen selüloz, 50°C’de sekiz saat boyunca kurutulmuş ve yalnızca 3,55 g selüloz elde edilmiştir. Bu miktar, beklenenin oldukça altında olup, kullanılan yüksek konsantrasyondaki kimyasalların selüloz yapısına zarar vermesi sonucu büyük miktarda kayıp olduğunu göstermektedir. Elde edilen düşük selüloz veriminin birkaç temel nedeni olduğu düşünülmektedir. İlk olarak, kullanılan yüksek sodyum hidroksit (NaOH) konsantrasyonu, yalnızca hemiselüloz ve lignin gibi bileşenlerin çözünmesini sağlamakla kalmamış, aynı zamanda selülozun da kısmen hidrolize olmasına yol açmış olabilir. Bu durum, selülozun moleküler yapısında bozulmaya neden olarak çözünürlüğünü artırmış ve işlem sırasında önemli miktarda kayıp meydana getirmiştir. Ayrıca, hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi güçlü oksidanların yüksek miktarlarda kullanılması, selülozun beyazlatılması sırasında oksidatif bozunmayı tetiklemiş olabilir. Özellikle bu tür kimyasal işlemler, selüloz zincirlerinin yapısal bütünlüğünü olumsuz etkileyerek hem fiziksel hem de kimyasal kayıplara neden olmuştur. Yapılan hesaplamalar ve konsantrasyonların yeniden değerlendirilmesi sonrasında, ikinci deneyde aynı sıcaklık ve süre koşulları korunarak ancak kimyasal konsantrasyonlar optimize edilmiştir. Bu deneyde, 50 g palmiye yaprağı, 500 mL saf su içinde çözündürülmüş 50 g sodyum hidroksit ile işlem görmüş ve karışım, 70°C’de 1,5 saat boyunca ısıtılmıştır. Isıtma işleminin ardından soğutma, yıkama ve süzme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ardından, 50 mL hidrojen peroksit ve 50 mL saf sudan oluşan çözeltiler eklenmiş ve karışım bir saat süreyle ısıtılmıştır. Isıtma işleminin ardından soğutma, yıkama ve süzme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise 50 mL saf su, 10 g sodyum hidroksit ve 20 mL hidrojen peroksit içeren bir çözelti hazırlanarak numune bu çözelti içinde bir saat süreyle işleme tabi tutulmuştur. Yıkama, süzme ve kurutma işlemlerinin ardından elde edilen selüloz miktarı 5,77 g olarak ölçölmüştür. Bu miktar, ilk deneyde elde edilen 3,55 g’a kıyasla önemli bir artış göstermektedir. Daha

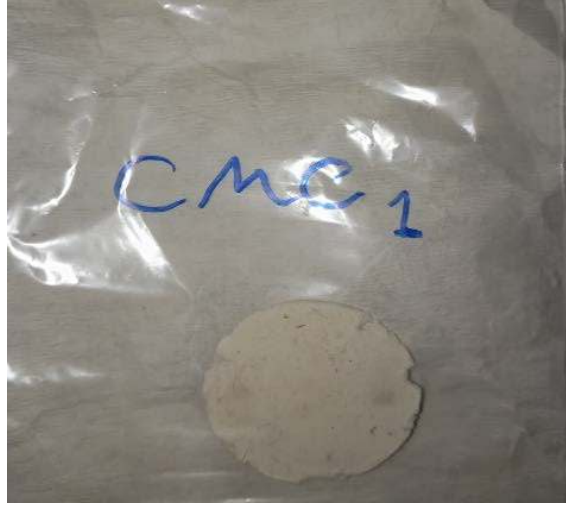
düşük kimyasal konsantrasyonların kullanılması ve işlem koşullarının dikkatlice optimize edilmesi, selüloz verimini artırmış ve daha yüksek bir miktar elde edilmesini sağlamıştır. Bu sonuç, selüloz ekstraksiyonunda doğru kimyasal konsantrasyonların ve işlem koşullarının belirlenmesinin önemini vurgulamaktadır.

•

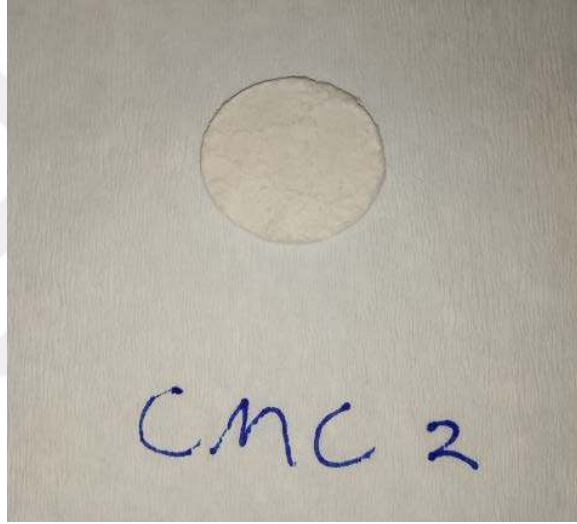
5.2 Karboksimetil Selüloz (CMC) Sentezi

Bu çalışmada, palmiye yaprağından elde edilen selülozdan karboksimetil selüloz (CMC) üretimi için iki farklı deney uygulanmıştır. İlk olarak, 2 gram selüloz örneği, 3 gram sodyum hidroksit (NaOH) ve 15 mL distile su ile hazırlanmış karışımla, 50-70°C arasında bir su banyosunda 1 saat süreyle ısındı. Bu işlem, selülozun alkali ortamda çözünmesini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Ardından, 1.4 gram monoklorasetik asit (MCA) katı formda, reaksiyona girmesi için yavaşça eklenmiş ve karışım 2 saat süreyle sürekli karıştırılmıştır. Reaksiyon sonrasında, 50 mL etanol ve 10 mL distile su eklenerek reaksiyon durdurulmuş ve CMC çöktürülmüştür. Çökelti, dört kez etanol ve distile su karışımı ile yıkandıktan sonra, 75 dakika boyunca 50°C'de kurutulmuştur. Bu işlem, elde edilen ürünün saflaştırılmasını ve su içeriğinin azaltılmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, başlangıçtaki 2 gram selülozdan 0.537 gram karboksimetil selüloz elde edilmiştir ve bu ürün "CMC 1" olarak adlandırılmıştır.

İkinci deneyde, daha yüksek konsantrasyonlarda reaktifler kullanılarak aynı işlemler tekrarlanmıştır. Burada, 2 gram selüloz örneği, 2 gram sodyum hidroksit ve 20 mL distile su karışımı ile hazırlanmış ve 50-70°C sıcaklık aralığında 1 saat süreyle ısıtılmıştır. Bu işlemde kullanılan sodyum hidroksit miktarındaki artış, selülozun daha iyi çözünmesini ve reaksiyonun daha etkin bir şekilde gerçekleşmesini sağlamıştır. Ardından, 1.16 gram monoklorasetik asit yavaşça eklenerek 2 saat boyunca karıştırılmaya devam edilmiştir. Reaksiyon sonrasında, 50 mL etanol ve 15 mL distile su eklenmiş, çökelti dört kez yıkandıktan sonra 75 dakika boyunca 50°C'de kurutulmuştur. İkinci deneyde, 2 gram selülozdan 1.33 gram karboksimetil selüloz elde edilmiştir ve bu ürün "CMC 2" olarak adlandırılmıştır. Bu deneyde elde edilen yüksek verim, daha fazla miktarda sodyum hidroksit ve monoklorasetik asit kullanımının, karboksimetilasyon reaksiyonunu daha verimli hale getirdiğini göstermektedir. İkinci denemede kullanılan daha yüksek konsantrasyonlar, selüloz moleküllerinin modifikasyonunu artırarak daha fazla CMC üretimine olanak sağlamıştır. Sonuç olarak, karboksimetil selüloz üretimi için kullanılan sıcaklık, reaksiyon süresi, sodyum hidroksit ve monoklorasetik asit miktarları gibi parametrelerin, elde edilen ürünün miktarını ve kalitesini doğrudan etkilediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, CMC üretimi için en uygun şartların belirlenmesinde önemli bir temel oluşturabilir.

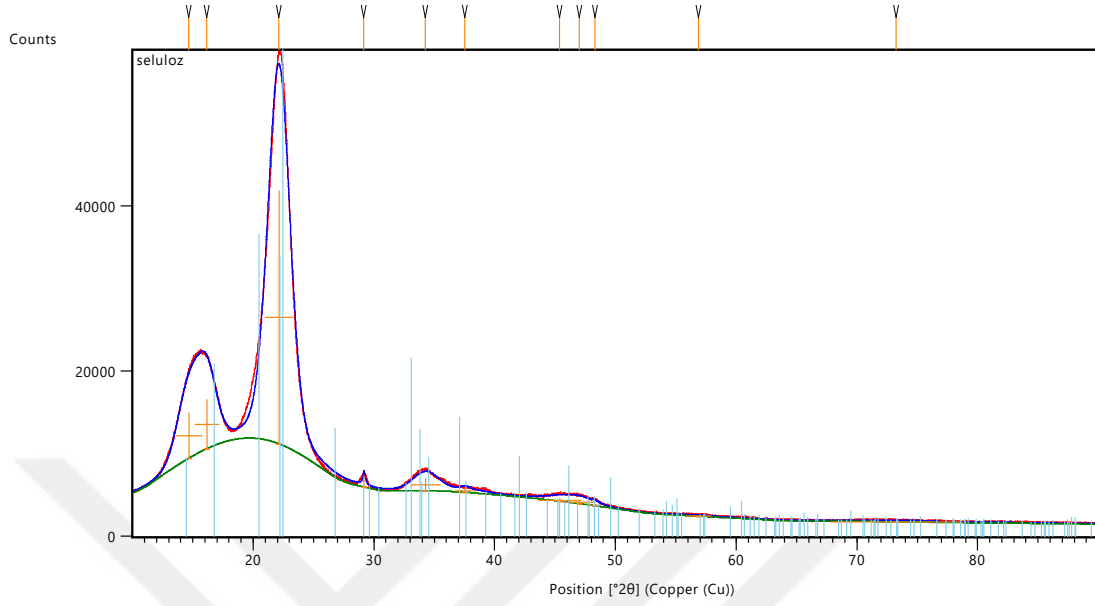


Şekil 19: CMC 1



Şekil 20: CMC 2

5.3 XRD Analizi (X-Işını Kırınımı)



Şekil 21: XRD Analizi

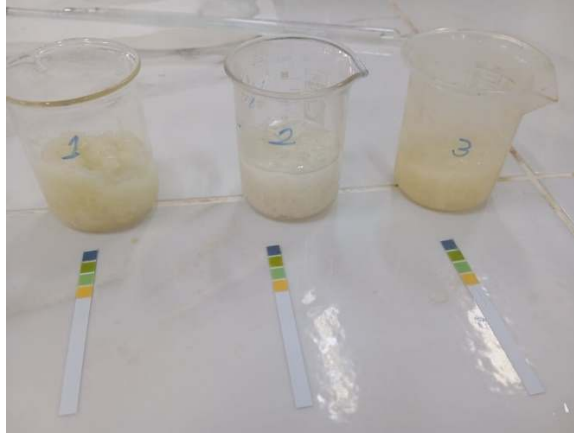
Pos. [°2θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Backgr.[cts]	Matched by	Integral Breadth [°2θ]	Crystallite Size [Å]	Micro Strain [%]
14.6357	5494.72	2.1350	6.04755	17.92	9535.09		2.201713	-1261	7.4775
16.1462	5920.65	1.9198	5.48504	19.31	10701.59		2.217630	168	5.5542
22.0958	30654.68	2.1796	4.01972	100.00	11300.85		2.574406	112	4.4089
29.1507	1340.43	0.1434	3.06095	4.37	6069.29		0.295442	415	-0.1052
34.2562	1415.42	2.4254	2.61554	4.62	5628.77		2.501138	-1361	3.5401
37.5258	469.57	1.6682	2.39482	1.53	5418.08		3.438185	28	-0.0301
45.3899	357.39	3.3275	1.99650	1.17	4350.67		3.431453	-1455	3.5795
47.0230	382.49	2.6381	1.93090	1.25	4052.96		2.720499	-1424	2.7277
48.2999	190.62	0.8693	1.88279	0.62	3799.45		1.791534	57	-0.0537
56.8709	76.56	2.0257	1.61770	0.25	2533.07		3.265990	32	-0.0261
73.2414	92.74	10.8852	1.29133	0.30	1873.34		22.433930	5	0.2188

Tablo 3: Peak list

Selüloz yapısının karakterizasyonu amacıyla gerçekleştirilen XRD analizinin sonuçları Şekil 21'de ve Tablo 3'te gösterilmiştir. Analiz sonucunda, $2\theta = 14.63^\circ$, 16.14° ve 22.09° açılarında belirgin üç ana pik gözlemlenmiştir. Bu pikler, numunenin hem kristalin hem de amorf yapılar içerdiğini göstermektedir. Özellikle, $2\theta = 22.09^\circ$ 'da gözlemlenen keskin ve yoğun pik, selülozun kristalin yapısının güçlü bir göstergesidir. Bu pik, selülozun I tipi kristal yapısına işaret eder ve numunenin büyük ölçüde kristalin olduğunu ortaya koyar. Diğer yandan, $2\theta = 14.63^\circ$ ve 16.14° 'deki daha geniş ve düşük yoğunluklu pikler, numunenin amorf bölgelere sahip olduğunu gösterir. Bu durum, selülozun karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ve hem düzenli kristal yapılar hem de düzensiz amorf yapılar içerdiğini ortaya koyar. Sonuç olarak, XRD analizi, selülozun hem kristalin hem de amorf bölgeler içerdiğini ve bu yapının fiziksel ve kimyasal özellikler üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu özellikler, selülozun çeşitli endüstriyel ve biyoteknolojik uygulamalarda kullanılabilirliğini etkileyen faktörlerdir.

5.4 Selüloz ve türevlerinin pH testi

Palmiyeden elde edilen selüloz ve türevlerinin pH değerleri, uygulanan kimyasal işlemlerin ardından ürünlerin saflık ve kalitesini değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Deney kapsamında üç farklı örnek incelenmiştir: birinci beherde selüloz, ikinci beherde selüloz asetat ve üçüncü beherde karboksimetil selüloz bulunmaktadır. Her bir örnek, ayrı ayrı distile su içinde çözündürülmüş ve yaklaşık 30 dakika bekletilerek homojen bir dağılım sağlanmıştır. Ardından, pH ölçümleri evrensel pH şeritleriyle gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda, üç örneğin pH değerlerinin yaklaşık olarak 7 olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, selüloz ve türevlerinin işlem sonrası nötr bir pH değerine sahip olduğunu ve asidik veya bazik kalıntılardan büyük ölçüde arındırıldığını göstermektedir. Elde edilen bu değerler, ürünlerin saflık düzeyinin yüksek olduğunu ve ileri kimyasal ve endüstriyel uygulamalar için uygunluğunu doğrulamaktadır.



Şekil 22: pH Testi 1) Selüloz 2) Selüloz asetatı 3)CMC

6. SONUÇ

Bu çalışma, selüloz ve türevlerinin yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilmesi ve bu süreçlerin sürdürülebilirliğine olan katkı açısından büyük bir öneme sahiptir. Akdeniz palmiye gibi yerel ve yaygın bitkilerden elde edilen selüloz, doğaya zarar vermeyen bir süreçle üretilen biyomateriallerdir. Bu durum, çevre dostu ve sürdürülebilir malzemelerin endüstriyel üretiminde önemli bir adım teşkil etmektedir. Çalışmanın sonuçları, elde edilen selüloz ve türevlerinin (selüloz asetat ve karboksimetil selüloz gibi) yüksek saflıkta olduğunu ve kimyasal işlemler sırasında herhangi bir zararlı asidik veya bazik kalıntının büyük ölçüde ortadan kaldırıldığını ortaya koymuştur. Bu da ürünlerin çevre dostu ve güvenli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu malzemelerin fiziksel özellikleri, onları biyomedikal, gıda, kağıt ürünleri ve tekstil endüstrilerinde potansiyel uygulamalar için ideal kılmaktadır. Selüloz türevlerinin çevre dostu özellikleri, bu malzemelerin biyolojik olarak parçalanabilir olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu durum, geleneksel plastiklerin aksine, kullanım ömrü sonunda çevreye zarar vermeyen bir alternatif sunar. Ayrıca, bu ürünlerin üretim sürecinde kullanılan kimyasal yöntemlerin yeşil kimya prensiplerine uygun olarak optimize edilmesi, çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlar. Elde edilen materyallerin etkinliği ve verimliliği, onları yalnızca çevre dostu bir alternatif olarak değil, aynı zamanda endüstriyel uygulamalar açısından da işlevsel kılmaktadır. Özellikle filtre kağıdı, gıda ambalajları veya tekstil sektöründe kullanımları, bu malzemelerin geniş bir uygulama alanına sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, biyomateriallerin sürdürülebilir üretimi ve çevre dostu alternatiflerin endüstriyel alandaki etkin kullanımı açısından önemli bir katkı sunmaktadır. Ayrıca, bu araştırma, gelecekteki çalışmalara yön verecek temel bir kaynak oluşturmaktadır, çünkü elde edilen ürünlerin çevreye duyarlı ve sürdürülebilir özellikleri, onların daha geniş bir ticari ve endüstriyel uygulama alanı bulmasına olanak tanıyacaktır.

7. KAYANAKLAR

- Al-Hoqbani, A. A., Abdel-Halim, E. S., & Al-Deyab, S. S. (2014).** "Extraction of palm tree cellulose and its functionalization via graft copolymerization". *International Journal of Biological Macromolecules*, 70, 275-283.
- Alhamzani, A., & Habib, M. A. (2021). "Preparation of cellulose nanocrystals from date palm tree leaflets (*Phoenix dactylifera* L.) via repeated chemical treatments". *Cellulose Chemistry and Technology*, 55(1-2), 33-39.
- Alhamzani, A., & Habib, M. A. (2022). "Isolation and Characterization of Cellulose Nanocrystals from Date Palm Waste". *ACS Omega*, 7(29).
- Alhamzani, A., Habib, M. A., Al-Mutabagani, L. A., & Al-Mutairi, A. A. (2023). "Isolation of cellulose nanofibers from date-palm tree leaflets (*Phoenix dactylifera* L.) by ball-milling technique". *Journal of Applied Sciences*, 22(5), 241-247.
- Alhamzani, A., & Habib, M. A. (2024). "A novel source of lignin from date palm leaves as a reinforcing agent for fabrication of carboxymethyl cellulose-based active food packaging film". *Journal of Applied Polymer Science*, 19, 334–346.
- Alhamzani, A., & Habib, M. A. (2023). "Extraction and characterization of cellulose from Broccoli stems as a new biopolymer source for producing carboxymethyl cellulose films". *International Journal of Food Science*.
- Alhamzani, A., Habib, M. A., Al-Mutabagani, L. A., & Al-Mutairi, A. A. (2022). "Preparation of carboxymethyl cellulose (CMC) derived from palm fiber waste: Effect of ozone pretreatment on CMC properties". *Journal of Applied Polymer Science*, 140(31).
- Alhamzani, A., Raza, M., & Banat, F. (2021). "Isolation and characterization of alpha and nanocrystalline cellulose from date palm (*Phoenix dactylifera* L.) trunk mesh". *Materials Today: Proceedings*, 10, 1856–1860.
- Amani, H., Amir, H., & Talebnia, F. (n.d.). "Cellulose extraction and investigation of carboxymethyl cellulose production from some agricultural wastes". *Research Article*, Faculty of Chemical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, I.R. Iran.
- Battisti, R., Hafemann, E., Claumann, C. A., & Machado, R. A. F. (2018). "Synthesis and characterization of cellulose acetate from royal palm tree agroindustrial waste". *Polymer Engineering and Science*, December 2018.
- Boran, S. (2016). "Mechanical, morphological, and thermal properties of nutshell and microcrystalline cellulose filled high-density polyethylene composites". *BioResources*, 11(1), 1741-1752.

- Casey, J. P. (1960). *Selüloz, Kağıt Kimyası ve Teknolojisi (Cilt I)*. Interscience Publishers, Inc., New York.
- Clemons, C. (2002). "Wood-plastic composites in The United States: The interfacing of two industries". *Forest Products Journal*, 2, 10-18.
- Dallel, M. (2012). "Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (*Stipa tenacissima* L) : Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil". Thèse de doctorat, Université de Haute-Alsace.
- Eren, M. H. (2004). *Endüstriye Organik Kimya II (1. Deney Grubu)*. Deney raporu, Rejenere Selüloz Lifleri ve Üretimi (4 No'lu deney). 15-22 Nisan 2004.
- Galiwango, E., Abdel Rahman, N. S., Al-Marzouqi, A. H., Abu-Omar, M. M., & Khaleel, A. A. (2019). "Isolation and characterization of cellulose and α -cellulose from date palm biomass waste". *Heliyon*.
- Hon, D. N. S., & Shiraishi, N. (2001). *Wood and Cellulose Chemistry*. Marcel Dekker, New York and Basel.
- Hocine, T. (2013). *Acetate de cellulose, synthese, proprietes et applications*. Mémoire de Master, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen.
- Johar, N., Ahmad, I., & Dufresne, A. (2012). "Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk". *Industrial Crops and Products*, 37(1), 93–99.
- Kaewprachu, P., Jaisan, C., Rawdkuen, S., Tongdeesontorn, W., & Klunklin, W. (2022). "Carboxymethyl cellulose from Young Palmyra palm fruit husk: Synthesis, characterization, and film properties". *Food Hydrocolloids*, 124(Part A), 107277.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1967). "Cellulose". *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4, 593-683.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. P., & Bohn, A. (2005). "Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material". *Angewandte Chemie International Edition*, 44, 3358-3393.
- Kurtuluş, M. (2010). "Lignoselülozik materyallerden termokatalitik işlemle suda çözündürülen polisakkaritlerin moleküler yapılarının incelenmesi". *Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, Adana, 104 s.
- Njuguna, J., Wambua, P., Pielichowski, K., Kayvantash, K. (2011). "Natural fibre-reinforced polymer composites and nanocomposites for automotive applications". S. Kalia et al. (eds), *Cellulose Fibers: Bio-and Nano-Polymer Composites*, Springer, New York, p. 661-700.

- Pujokaroni, A. S., & Ichiura, H. (2023). "Preparation of carboxymethyl cellulose (CMC) derived from palm fiber waste: Effect of ozone pretreatment on CMC properties". *Journal of Applied Polymer Science*, 140(31).
- Raza, M., Abu-Jdayil, B., Banat, F., & Al-Marzouqi, A. H. (2021). "Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from date palm waste". *ACS Omega*, 7(29).
- Raza, M., Mustafa, J., Al-Marzouqi, A. H., & Abu-Jdayil, B. (2023). "Isolation and characterization of cellulose from date palm waste using rejected brine solution".
- Raza, M., Abu-Jdayil, B., Banat, F., & Al-Marzouqi, A. H. (2022, July 14). "Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from date palm waste". *Materials Today: Proceedings*.
- Rusdin, A., Baharuddin, M., Sappewali, , Harun, R., Yunita, V. A., & Firnanely. (2023). "Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose (CMC) from palm leaf fronds (Borassus flabellifer)". *International Journal of Science and Healthcare Research*, 8(4), 242. ISSN: 2455-7587.
- Santos, P.A., Giriolli, J.C., Amarasekera, J., Moraes, G. (2008). "Natural fibers plastic composites in automotive applications". *SPE Automotive Composites Conference & Exhibition*, Troy, MI, USA, p. 1-9.
- Seventekin, N., Öktem, T., & Karahan, A. (2006).
- Siro, I. & Plackett, D. (2010). "Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review". *Cellulose*, 17, 459.
- Solikhin, A., Hadi, Y.S., Massijaya, M.Y., & Nikmatin, S. (2019). "Nanostructural, Chemical, and Thermal Changes of Oil Palm Empty Fruit Bunch Cellulose Nanofibers Pretreated with Different Solvent Extractions". *Waste and Biomass Valorization*, April 2019, Volume 10, Issue 4, pp 953–965.
- Suriyatem, R., Noikang, N., Kankam, T., Jantanasakulwong, K., Leksawasdi, N., Phimolsiripol, Y., Insomphun, C., Seesuriyachan, P., Chaityaso, T., Jantrawut, P., Sommano, S. R., Ngo, T. M. P., & Rachtanapun, P. (2020). "Physical properties of carboxymethyl cellulose from palm bunch and bagasse agricultural wastes: Effect of delignification with hydrogen peroxide". *Polymers (Basel)*, 12(7), 1505.
- Vatansever, A. (2015). "Poli(Bütıl Akrlat-Metil Metakrlat) Nanokompozitlerin Film Özelliklerinin İncelenmesi Ve Boya Bağlayıcısı Olarak Kullanımı". *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği Programı Doktora Tezi*.
- Wikipedia contributors. (n.d.). "Arecaceae". Wikipedia, The Free Encyclopedia.

- Yıldırım, N. (2018). "Nanoteknoloji Ve Geleceğin Çevreci Polimeri Nanoselüloz". *Ormancılık Araştırma Dergisi Turkish Journal of Forestry Research*, 5:2, 185-195.
- Ott, E. (1946). *Cellulose and Cellulose Derivatives*. High Polymers, Interscience Publishers, Inc., New York.



ÖZGEÇMİŞ

Farah FİLİFLİ (DARWISH KHABBAZ), 10.02.1999 tarihinde Suriye'nin İdlib şehrinde doğdu. Ortaöğrenimini Suriye'de tamamladı. 2014 yılında ülkede yaşanan savaş nedeniyle Türkiye'ye göç ederek eğitimine "ikinci vatani" olarak gördüğü Türkiye'de devam etti. 2019 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı ve 2022 yılında mezun oldu. Ardından, aynı üniversitede 2022 yılında başladığı yüksek lisans eğitimini 2025 yılında başarıyla tamamladı.

