

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**KALSİYUM SİLİKAT ESASLI ADSORBAN SENTEZİ VE
UYGULAMALARI**

**Hazırlayan
Elif Şeval İÇYER**

**Danışman
Prof. Dr. Uğur ŞAHİN**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2025
KAYSERİ**

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

KALSİYUM SİLİKAT ESASLI ADSORBAN SENTEZİ VE
UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Elif Şeval İÇYER

Danışman
Prof. Dr. Uğur ŞAHİN

Temmuz 2025
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Elif Şeval İÇYER



“Kalsiyum Silikat Esaslı Adsorban Sentezi ve Uygulamaları” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Elif Şeval İÇYER

Danışman

Prof. Dr. UĞUR ŞAHİN

Analitik Kimya ABD Başkanı

Prof. Dr. İlhan Özer İLHAN

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, çalışmalarımın her safhasında değerli bilgileriyle beni yönlendiren ve maddi manevi her konuda desteğini esirgemeyen sayın hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Uğur ŞAHİN'e,

Çalışmalarında deneyimi ve bilgisiyle her zaman desteklerini gördüğüm sayın hocalarım, Prof. Dr. Serkan ŞAHAN' a, Arş. Gör. Furkan UZCAN' a ve Arş. Gör. Özgür ÖZALP' e,

Labaratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım SeyedTaeed Hosseini Moghaddam' a ve Vuslat SERİN'e,

Hizmetlerinden dolayı Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezine,

Her zaman ilgi ve desteğini yanımda hissettiğim Canım Ailem'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Elif Şeval İÇYER

Temmuz, 2025, KAYSERİ

KALSİYUM SİLİKAT ESASLI ADSORBAN SENTEZİ VE UYGULAMALARI

Elif Şeval İÇYER

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2025
Danışman: Prof. Dr. Uğur ŞAHİN

ÖZET

Hızla gelişen dünyamızda endüstrileşmenin artmasıyla beraber kirlilikler de artmaktadır. Bu kirlilikler kaynaklarımızın yok olmasına ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu çalışmada endüstriyel ortamdan gelen kirli sulardaki bakırın geri kazanımı için Kalsiyum Silikat (Ca_2SiO_4) temelli nano yapıli sentez ile çalışılmıştır. Kalsiyum silikat, kalsiyum oksit ile silikanın çeşitli oranlarda reaksiyonu sonucu meydana gelmektedir. Bu tez çalışmasında geliştirilen yöntem, çalışmada adsorban miktarı ve ortamın pH'ı gibi parametreler taranarak analitlerin optimum geri kazanma verimi belirlendikten sonra gerçek örneklere uygulaması başarıyla gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel ortamdan gelen indigo yıkama suyu ile çalışılarak 1 g Ca_2SiO_4 adsorban sentezi için 2 L indigo yıkama suyunda pH 7 de çalışılmış ve kantitatif geri kazanma sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca CuSO_4 ortamında sentezlenen adsorban ile pH 5 de çalışılmış 10 mL bakır hacminden %98-99 verim elde edilmiştir. Bu çalışmada kalsiyum silikat sentezinin hızlı olması, uygulanabilir olması ve maliyetinin düşük olmasıyla birçok kirleticinin adsorpsiyonunda kritik rol oynayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kalsiyum Silikat Sentezi, Kirleticiler, Adsorban, UV-Vis spektrofotometre

CALCIUM SILICATE BASED ADSORBENT SYNTHESIS AND APPLICATIONS

Elif Şeval İÇYER

Erciyes University, Graduate School Of Natural And Applied

Sciences Master Thesis, July 2025

Supervisor: Prof. Dr. Uğur ŞAHİN

ABSTRACT

In today's rapidly developing world, the increasing pace of industrialization has led to a rise in environmental pollution, contributing to the depletion of natural resources and environmental degradation. This study investigates the recovery of copper from industrial wastewater using calcium silicate (Ca_2SiO_4)-based nanostructured adsorbents. Calcium silicate is produced through the reaction of calcium oxide and silica in various ratios. In this research, parameters such as the amount of adsorbent and the pH of the medium were systematically examined to determine the optimum recovery efficiency of the analytes, after which the developed method was successfully applied to real samples. Working with indigo washing wastewater from an industrial source, 1 g of CaSiO_4 adsorbent was synthesized from 2 L of wastewater at pH 7, yielding quantitative recovery results. Additionally, when the adsorbent was synthesized in a CuSO_4 medium and applied at pH 5 to 10 mL of copper solution, a recovery efficiency of 98–99% was achieved. The rapid synthesis, applicability, and low cost of calcium silicate suggest that it can play a critical role in the adsorption of various pollutants.

Keywords: Calcium Silicate Synthesis, Pollutants, Adsorbent, UV-VIS spectrophotometer

İÇİNDEKİLER

KALSİYUM SİLİKAT ESASLI ADSORBAN SENTEZİ VE UYGULAMALARI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM GENEL BİLGİLER

1.1.ÇEVRE KİRLİLİĞİ	3
1.2.SU KİRLİLİĞİ.....	3
1.3.ADSORPSİYON	4
1.3.1.Adsorban Özellikleri.....	5
1.3.2.Adsorban Çeşitleri	5
1.3.3.Kalsiyum Silikat Çalışmaları.....	6
1.3.4.Kalsiyum Silikat Sentezinin Amacı	8
1.3.5.Kalsiyum Silikat Sentezi	9
1.3.5.1. Kalsiyum silikatın sahip olduğu özellikler aşağıdaki gibidir; 9	
1.3.5.2. Kalsiyum silikatın kullanım alanları;	10

2.BÖLÜM YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. MATERYAL	12
2.2. Nano Kalsiyum Silikat Sentezi (NCaSiL).....	12
2.3. Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler.....	15

2.3.1. AAS İle Elementlerin Kantitatif Tayini	16
2.3.2. Ultraviyole ve Görünür Bölge (UV-GB) Spektroskopisi ile Kantitatif Tayin	17
2.4. Metot.....	18
2.4.1. CuSO ₄ Çalışması	18
2.4.2. Metilen Mavisi Çalışması.....	19
2.4.3. İndigo Yıkama Suyu Çalışması	19

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Bakır(II) İyonlarının NCaSiL 'de Geri Kazanımında pH Taraması	21
3.2. NCaSiL Miktarının Cu(II) Geri Kazanma Üzerine Etkisi	22
3.3. Örnek Miktarının Cu(II) İçeriğinin Geri Kazanmaya Etkisi.....	22
3.5. Metilen Mavisinin Geri Kazanımında NCaSiL Kullanılması.....	24
3.6. İndigo Yıkama Suyundaki İndigonun Geri Kazanımı.....	25

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Tartışma	28
4.2. Sonuç ve Öneriler	29
KAYNAKÇA.....	30
EKLER.....	30
ÖZGEÇMİŞ	39

KISALTMALAR

İ.Y.S: İndigo Yıkama Suyu

AAS: Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi

UV-GB: Ultraviyole-Görünür Bölge Spektroskopisi

M.M: Metilen Mavisi



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1 NCaSiL Cu(II) Geri Kazanımında pH Taraması.....	22
Tablo 3.2 Cu(II) Miktarının Geri Kazanma Verimine Etkisi	23
Tablo 3.3 Cu(II) Miktarının Geri Kazanma Verimine Etkisi	23
Tablo 3.4. Endüstriyel Yıkama Suyunda Arıtma Öncesinde Cu(II) ve Diğer İyonların Geri Kazanım Değerleri	24
Tablo 3. 5. Metilen Mavisinin(MM) Geri Kazanımında Adsorban Miktarı Taraması...	25
Tablo 3.6. İndigo Yıkama Suyunda İndigonun Geri Kazanımında pH Taraması	26
Tablo 3.7. İndigo Yıkama Suyunda İndigo Miktar Taramasında Geri Kazanım Değerleri.....	26

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Katı adsorban yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon ve desorpsiyon	4
Şekil 2. Adsorpsiyon tanımında kullanılan terimlerin şematik olarak gösterimi	6
Şekil 3. Nano Silikat Sentezi.....	9
Şekil 4. Nano silikat tozu	10
Şekil 5. NCaSiL sentezinin süzülme sonrası.....	13
Şekil 6. NCaSiL kurutulması sonrası.....	13
Şekil 7. NCaSiL XRD spektrumu.....	14
Şekil 8. NCaSiL' e ait FESEM görüntüleri verilmiştir.....	14
Şekil 9. Süzme Düzenliğimiz	14
Şekil 10. Stok Çözeltilerimiz.....	16
Şekil 11. Faz Ayrımı	16
Şekil 12. Faz Ayrımı İçin Dinlendirme.....	18
Şekil 13. Metilen Mavisini Süzme İşlemi	18
Şekil 14. Süzme Sonucu.....	19
Şekil 15. İndigo Yıkama Suyu ile NCasiL uygulamasından sonraki Süzüntü suyunun kıyaslaması	20
Şekil 16. Cu(II) zenginleştirilmesi ve ayrılmasındaki basamakları	21

GİRİŞ

İş yerleri, fabrikalar ve büyük sanayi üretim merkezlerinden çıkan ve kullanılmayan maddeleri içeren atıkların tamamı "endüstri artığı" olarak adlandırılır. Bu atıkların doğaya bırakılması ise endüstriyel kirliliği meydana getirir. Başta enerji santralleri ve fabrikalar olmak üzere, birçok sanayi kuruluşu bu kirliliğin kaynağıdır. Asitler, toksik metaller ve deterjanlar gibi endüstriyel kirlilik oluşturan maddeler; akarsulara, göllere, denizlere ve yer altı sularına zarar verir. Doğal sistemlerin arıtma kapasitesini aşan bu atıklar, çevrenin ve insan sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olur. Buhar, gaz veya ince toz şeklinde havaya karışan kirleticiler ise zamanla çökerek ya da asit yağmurları aracılığıyla toprak ve su kaynaklarını kirletir[1, 2].

Metal iyonlarının kimyasal olarak çökebilir formlara dönüştürülmesi esasına dayanan kirlilik içeren atık suların arıtımı, çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilir. Bu yöntemlerden bazıları; kimyasal çökeltme, adsorpsiyon ve iyon değişimidir [3]. Adsorpsiyon, moleküllerin temas ettikleri yüzeyin çekim kuvvetleri sayesinde o yüzey üzerinde tutulması ya da diğer bir ifadeyle, bir maddenin başka bir maddenin yüzeyinde ya da iki fazın kesişim noktasında yoğunluğunun artması sürecidir[4].

Kalsiyum silikat, pek çok alanda kullanım potansiyeline sahip bir malzemedir. Bu alanların başında ise adsorban olarak kullanılabilirliği gelmektedir. Katı-sıvı ayrımını kolaylaştıran geçirgen kek yapısı sayesinde, bu işlem daha verimli hale getirilebilmektedir. Düşük maliyetle üretilebilmesi ve gelişmiş adsorpsiyon kapasitesi, kalsiyum silikatın farklı sektörlerde yaygın şekilde tercih edilmesine olanak tanımaktadır [5-6].

Silis bakımından ülkemiz oldukça zengin kaynaklara sahiptir. Silisyum genellikle tarımsal değeri olmayan, verimsiz arazilerde bulunmakta olup, çıkarılması sırasında ormanlık alanlar ya da doğal çevre açısından değer taşıyan bölgeler zarar görmemektedir. Kalsiyum silikat üretiminde kullanılan temel hammaddelerden biri olan

kalsiyum oksit ise, ülkemizde hem uygun maliyetli hem de kolay erişilebilir bir malzeme olup, yurt genelinde yaygın olarak temin edilebilmektedir [7-8].

Kalsiyum silikatın absorplayıcı özelliğinin; yağların tutulmasından yapı malzemelerine kadar birçok kullanım alanı mevcuttur. Bu çalışmada ise kalsiyum silikatı nano boyutta elde ederek yüzey alanın artması ile beraber absorplayıcı özelliğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1.ÇEVRE KİRLİLİĞİ

İçinde yaşadığımız doğa, kendine özgü fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir. Bu özellikler dikkate alındığında çevre kirliliğini fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlenme olarak sınıflandırabiliriz Çevre; insanların ve diğer canlıların yaşamları boyunca etkileşimde buldukları, fiziksel, kimyasal, biyolojik, ekonomik, sosyal ve kültürel unsurları içeren bir bütündür. Çevre kirliliği ise genellikle hava, su ve toprakta meydana gelen bozulmalar şeklinde kendini gösterir ve bu durum, insan da dahil olmak üzere tüm ekosistemi olumsuz etkiler.

Sanayileşmenin hız kazanması, teknolojik ilerlemeler ve nüfusun artmasıyla birlikte çevre üzerinde oluşan olumsuz etkiler giderek büyümekte, kirlilik düzeyi artış göstermektedir. Gerek kırsal gerekse kentsel alanlarda doğal kaynaklarımız olan toprak, hava ve su; çeşitli sebeplerle kirlenmekte, bu da bitki ve hayvan yaşamını tehdit etmekte ve dolaylı olarak besin zinciri aracılığıyla insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir.

Yaşadığımız doğal çevre; kendine has fiziksel, kimyasal ve biyolojik niteliklere sahiptir. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda, çevre kirliliği fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç ana gruba ayrılarak sınıflandırılabilir [9].

1.2.SU KİRLİLİĞİ

İnsan vücudunun önemli bir bölümü sudan meydana gelir; bu oran %66'nın üzerindedir. Su, yaşamın sürdürülebilmesi için olmazsa olmaz bir unsurdur ve insanlar birkaç gün bile susuz kalamaz. Bazı hastalıklar ise vücuttaki su miktarını azaltarak ciddi sağlık

risklerine neden olabilir. Su, hem kanın hem de doku sıvılarının temel yapı taşıdır ve vücutta gerçekleşen tüm fizyolojik işlevlerde aktif rol oynar.

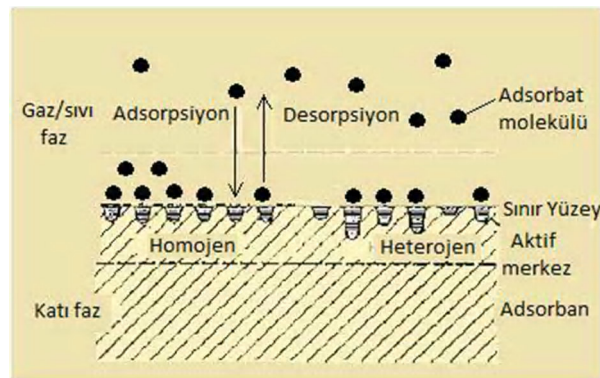
Bu nedenle yaşamsal değere sahip olan suyun, zararlı kimyasal maddelerden ve hastalık yapıcı mikroorganizmalardan arındırılmış biçimde kullanılması son derece gereklidir. Aynı şekilde, kullanım sonrası oluşan atık suların da insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde çevreden uzaklaştırılması sağlık açısından kritik bir öneme sahiptir [10].

Biz bu çalışmamızda endüstriyel ortamda kirlenen suların geri dönüşümü için çeşitli analizler yaparak daha maliyeti düşük, hızlı ve kullanışlı adsorban sentezledik.

1.3.ADSORPSİYON

Çeşitli kullanım alanları bulunan adsorpsiyon işlemi, iki farklı fazı ayıran ara yüzeylerde meydana gelen bir yüzeye tutunma olayına dayanmaktadır. Bu tutunma olayı; gaz-katı, sıvı-katı, gaz-sıvı ya da sıvı-sıvı fazlarının ara yüzeylerinde gerçekleşebilir. Adsorpsiyonun temelinde, yüzeydeki dengesiz kuvvetlerin ortamda bulunan diğer moleküllerle etkileşerek dengelenmesi prensibi yer almaktadır [11].

Adsorpsiyon süreçlerinde, adsorban tutucu fazı oluştururken; yüzeye tutunan madde adsorbat olarak tanımlanır. Gaz veya sıvı çözeltiler içerisinde bulunan kirletici bileşenlerin katı adsorban yüzeyine bağlanarak uzaklaştırılması şeklinde uygulanan bu yöntem, çevresel kirlenmenin azaltılmasında önemli bir rol üstlenmektedir [12,13].



Şekil 1. Katı adsorban yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon ve desorpsiyon

1.3.1.Adsorban Özellikleri

Her ne kadar gözenekli yapıya sahip tüm katı maddeler teorik olarak adsorban olarak kullanılabilir görünse de, endüstriyel ölçekte bir maddenin adsorban olarak tercih edilebilmesi için bazı kriterleri karşılaması gerekmektedir:

- Ekonomik açıdan uygun maliyetli olması,
- Fazla miktarlarda temin edilebilmesi,
- Basit ve düşük maliyetli yöntemlerle üretilebilmesi,
- Fiziksel olarak dayanıklı yapıya sahip olması ve rejenerasyonla defalarca kullanılabilir özellik göstermesi.
- Adsorpsiyon ortamlarında kararlı yapıda olup, ortam çözücüsü ile kimyasal reaksiyona girmemesi,
- Adsorpsiyonu istenilen sıvı ve gazlara karşı adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması,
- Ortamdan uzaklaştırılmak istenen ya da geri kazanımı istenen moleküllere karşı yüksek seçicilikte olması gerekmektedir [14].

1.3.2.Adsorban Çeşitleri

Renk gideriminde adsorpsiyon temelli uygulamalar arasında en yaygın şekilde tercih edilen yöntem, aktif karbon kullanımınıdır [15].

Aktif karbonun adsorban olarak kullanılması boya gideriminde etkili sonuçlar vermiştir; ancak maliyeti yüksektir. Tekstil atık sularının arıtımında ise sabit yataklı kolon sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [16].

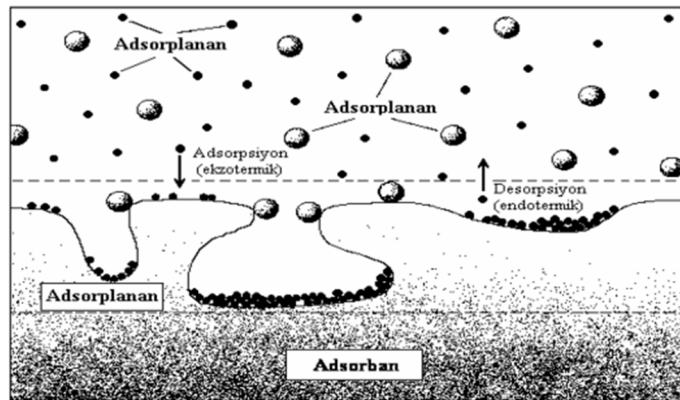
Zeolit, doğal bir kil minerali olup adsorbent olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel atık sulardan renkli ve renksiz organik kirleticilerin giderilmesinde potansiyel adsorbentlerin kullanımı, adsorpsiyon süreçlerinin önemli uygulamalarından biridir. Zeolit yapısındaki kanallar ve değiştirilebilir katyonlar sayesinde iyon değiştirici, adsorbent ve sınırlı miktarda katalizör olarak işlev görmektedir. Doğal zeolitin kimyasal formülü $\text{Na}_6[(\text{AlO}_2)(\text{SiO}_2)_{30}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir. Zeolitin iyon değiştirme kapasitesi 1,8–2,5

miliekivalan/g arasında değişirken, iyon değiştirme yeteneğine sahip diğer kil minerallerine kıyasla 2 ila 4 kat daha yüksek bir kapasite sunmaktadır [17].

Bu yöntemde, boyanın sürekli olarak arıtılması, yoğunlaştırılması ve en önemlisi atık sudan ayrıştırılması mümkün hale gelmektedir. Diğer tekniklere kıyasla en belirgin avantajı ise sistemin sıcaklık değişimlerine, beklenmedik kimyasal ortamlara ve mikrobiyal faaliyetlere karşı dayanıklı olmasıdır [18].

Membran sistemleri kullanıldığında, üzerinde yoğunlaşan maddelerin uzaklaştırılması önemli bir konu olarak ortaya çıkar. Tekstil sektöründe membran teknolojisinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için, hem membran sisteminin hem de membranda biriken maddelerin birlikte arıtılması gerekmektedir. Çünkü sadece membran sistemi tek başına sorunu tamamen çözemez [19].

Bu çalışmada adsorban örneklerinden daha kullanışlı ve ucuz adsorban sentezlemeyi amaçladık. Çalışmamızda tutuculuğu yüksek, geri kazanımı iyi nano boyutta kalsiyum silikat sentezi ile ucuz ve kullanışlı adsorban çalışması yaptık.



Şekil 2. Adsorpsiyon tanımında kullanılan terimlerin şematik olarak gösterimi

1.3.3.Kalsiyum Silikat Çalışmaları

Su doğa ve insanlar için gerekli bir madde olup teknolojinin gelişmesi ile birlikte git gide kirlenmektedir. Bununla birlikte dünyada temiz su kaynakları zamanla yok olmaktadır.

Li ve arkadaşları, uçucu kül ve kireç kullanarak hidrotermal yöntemle kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) sentezlemişlerdir. Reaksiyon koşullarının ürünün kristal yapısı ve morfolojisi üzerindeki etkileri detaylı şekilde incelenmiştir[20].

Wang, D. ve arkadaşları bu çalışmada nano boyutta kalsiyum silikat sentezlenmiş ve çevresel temizlik uygulamalarında kullanılmıştır. Özellikle ağır metallerin gideriminde yüksek adsorpsiyon kapasitesi sergilemiştir [21].

Huang ve ekibi, çelik çürufu kullanarak gözenekli yapıda kalsiyum silikat üretmişlerdir. Elde edilen malzemenin adsorban olarak kullanımı başarılı bulunmuştur [22].

Zhao, Y. ve arkadaşları bu araştırmada, biyomedikal alanda kullanılmak üzere nano boyutta kalsiyum silikat sentezlenmiş ve biyoyumluluğu değerlendirilmiştir. Özellikle kemik dokusu mühendisliği için umut verici sonuçlar elde edilmiştir [23].

Kim, S. ve arkadaşları atık camdan hidrotermal yöntemle kalsiyum silikat elde etmiş ve fosfat gideriminde kullanmıştır. Çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayan bu yöntem yüksek verimlilik göstermiştir [24].

Ding, T. ve arkadaşları bu çalışmada atık sulardaki ağır metallerin uzaklaştırılması amacıyla kalsiyum silikat sentezlenmiştir. Materyalin adsorpsiyon kapasitesi kinetik ve izoterm analizlerle değerlendirilmiştir [25].

Song, H. ve arkadaşları pirinç kabuğu külü kullanılarak çevreci yöntemlerle kalsiyum silikat sentezlenmiş ve yapı malzemesi olarak kullanımı incelenmiştir. Sürdürülebilirlik açısından olumlu sonuçlara ulaşılmıştır [26].

Bizde bu çalışmamızda adsorban özelliği iyi olan kalsiyum silikat sentezledik. Sodyum silikat ile kalsiyum hidroksitin belli oranlarda birleşmesi ile sentezlediğimiz kalsiyum silikatın absorplayıcı özelliğini çeşitli parametreler ile analiz ederek kullanılabilirliğini gözlemledik.

Kalsiyum silikat sentezinin ne kadar iyi bir kir tutucu olduğunu endüstriyel ortamdan getirdiğimiz indigo yıkama suyunu geri dönüştürme işlemi ile birçok kez deneyerek kirli suyu adsorplamasını gözlemledik. Ve bu durumda geri dönüştürülmüş indigo yıkama suyunda %97-99 arası verim elde ettik.

Bu çalışmalar sonucunda çevre kirliliğinin önüne geçmeyi geri dönüşüm ile suyun gelecekteki miktarının azalmasını önlemeyi amaçladık.

1.3.4.Kalsiyum Silikat Sentezinin Amacı

Bu çalışmada nano boyutta ve amorf beyaz toz şeklindeki kalsiyum silikatın üretimi, çalışmaları ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Yunan dilinde “cüce” anlamına gelen “nano” terimi, bir fiziksel büyüklüğün milyarda birini ifade etmektedir. Nanometre, yaklaşık olarak 2-3 atomun yan yana gelerek oluşturduğu uzunluk birimidir. Son dönemlerde yapılan araştırmalar sayesinde nano bilim, yeni ve çeşitli yöntemlerle uygulamalı teknoloji alanına yönelmiştir. Uygulamaya odaklanan bu bilim dalına ise nanoteknoloji adı verilmektedir [15].

Nanoteknoloji, sadece mevcut teknolojilere yenilik kazandırmakla kalmamış, daha önce mümkün görünmeyen araştırma ve teknolojilerin önünü açan bir rehber olmuştur. Birçok farklı bilim dalının disiplinler arası iş birliğiyle gerçekleştirdiği ortak çalışmalar sonucunda, birçok alan üzerinde geniş çapta etkiler yaratmıştır [16].

Adsorban özelliğinden dolayı seçtiğimiz kalsiyum silikatın, çok çeşitli kullanım alanları vardır. Bu çalışmada kalsiyum silikatı nano boyutta elde ederek yüzey alanın arttırmış ve adsorban özelliğinin artması için çalışılmıştır.

Önceki silikat sentezlerini incelediğimizde, kalsiyum silikat üretimi yapmak için öncelikle çeşitli parametreler incelenmiştir. Bu parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz; sodyum silikat ile reaksiyona girdirilen kalsiyum hidroksit mol sayısı, bekletme süresi, çözme suyu miktarı ve karıştırma hızı. Bu analizler 3 parametre şeklinde yapılarak deneyimizde kullanacağımız kalsiyum silikat sentezinin üretimine geçilmiştir.



Şekil 3. Nano Silikat Sentezi

1.3.5.Kalsiyum Silikat Sentezi

Farklı oranlardaki silikanın ve kalsiyum oksidin kimyasal reaksiyonu sonucu kalsiyum silikatlar meydana gelir. Kimyasal formülü Ca_2SiO_4 şeklindedir. Sentetik ve doğal olmak üzere kalsiyum silikatların 2 farklı çeşidi mevcuttur. Hidre amorf veya kristal olarak da kendi içinde farklı gruplara ayrışır. Silikat ile kalsiyum oksitinin 0.8:1 – 1.1:1'e mol oranlı reaksiyonu ile adsorban bir bileşik olan sentetik kalsiyum silikatlar üretilir [17].

Kalsiyum silikat doğada Wollastonite minerali biçimiyle bulunmaktadır [18]. Bu mineralin haricinde ise bazalt kayası da yüksek kalsiyum oksit içeriği sebebiyle alternatif kaynak olarak kabul edilir [19]. Ekonomik olarak üretimi ülkemizde söz konusu değildir.

1.3.5.1. Kalsiyum silikatın sahip olduğu özellikler aşağıdaki gibidir;

- Nem tamponlama kapasiteleri mevcuttur.
- Tuğladan daha yüksek kılcal yapıya sahiptir.
- Kapiller bölgelerde kaba gözenek formu, higroskopik bölgelerde ince gözenek formu gösteren geniş bir gözenek sistemi vardır.
- Milimetreden nanometreye kadar değişen gözenek büyüklüklerine sahiptir.
- Kılcal aktif ve higroskopik davranışı vardır.
- Düşük ısı iletkenliğine sahiptir.

- Ultra hafif bir yapıdadır.
- Mekanik darbe dirençleri yüksektir.
- Petrol kökenli ısı kesiciler kadar termal iletkenliğe sahiptirler [27].



Şekil 4. Nano silikat tozu

1.3.5.2. Kalsiyum silikatın kullanım alanları;

- ✓ Feldspat, kalsit, talk, dolomit, kuvars gibi hammaddeler yerine seramik malzemelerin üretiminde, seramik mamullerin belirli özelliklerinin düzenlenmesinde kullanılır.
- ✓ Tarımda, kalsiyum silikatlar verim artırıcı ve toprak düzenleyici olarak kireçtaşının yerine kullanılır.
- ✓ Mineral özelliği sebebiyle naylon sanayisinde kalıplama ile sağlamlığı ve parlaklığı ile de cam sanayiinde kullanılır.
- ✓ Katkı malzemesi olarak da boya sanayi de kullanılır.
- ✓ Kalsiyum silikat sertlik kazandırıcı olarak da çimento endüstrisinde kullanılır.
- ✓ Dişlerde dolgu malzemesi olarak da kullanımı mevcuttur.
- ✓ Üretimde dolgu malzemesi olarak da kağıt endüstrisinde kullanımı mevcuttur.
- ✓ Opaklığını ve parlaklığını artırmak için baskı kağıtlarında kullanılır.

- ✓ En önemli kullanım alanlarından biri de fosfat giderme uygulamalarıdır.
- ✓ Termoset reçinelerinde değişik boyutlarıyla dolgu maddesi olarak kullanımı mevcuttur.
- ✓ Mineral esaslı yalıtım malzemesi olarak da kullanımı mevcuttur.
- ✓ Doku mühendisliği uygulamalarında kullanımı mevcuttur.
- ✓ Gıda sanayisinde de çözücü ve taşıyıcı olarak kullanımı mevcuttur [28].

Klasik atıksu arıtımının yanında alternatif olabilecek çalışmamız iyi bir adsorban özelliği göstermektedir. Hem hızlı hem güvenilir hemde kullanışlı olan bu çalışmamız indigo yıkama suyundaki karakteristik rengi, güzel adsorplamış çevremize katkıda bulunması için çeşitli parametreler üzerinde çalışılmıştır.

2.BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. MATERYAL

Bu çalışmada sodyum silikat ile kalsiyum hidroksit belli oranlarda karıştırılmış ve nanosilikat sentezlenmiştir. Bu sentez ile endüstriyel ortamdaki kot fabrikalarından gelen indigo yıkama suyunun arıtımı gerçekleştirilmiştir.

2.2. Nano Kalsiyum Silikat Sentezi (NCaSiL)

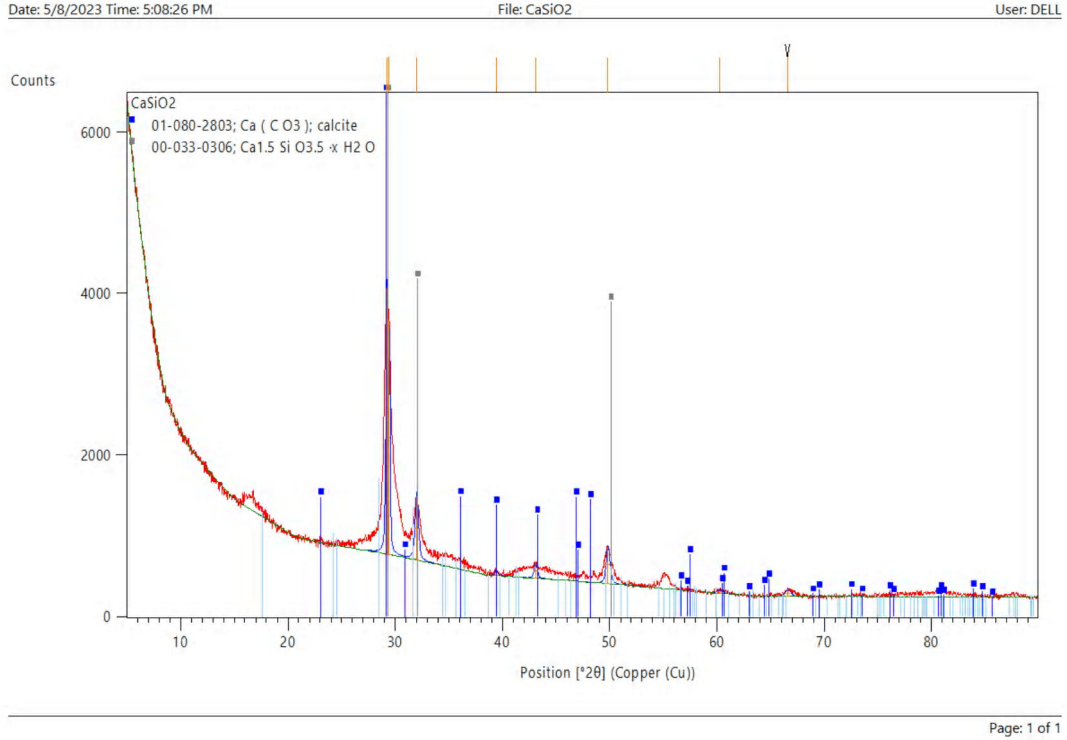
Sentez, [29] göre yapıldı. 15,34 g sodyum silikat tartıldı ve 500 mL'lik plastik bir behere aktarıldı. 250 mL saf suyun bir kısmı ile tartım kabındaki sodyum silikat yıkandı ve geri kalan saf su behere eklendi. Başka bir 1 L'lik plastik behere 5,32 g kalsiyum hidroksit tartıldı ve 250 mL saf su eklenerek manyetik balık yardımıyla karıştırılarak süspansiyon edildi. Bu çözeltiye homojenizasyon için karıştırılarak %32'lik HCl 5,0 mL eklendi ve manyetik karıştırıcı ile iyice karıştırıldı. Ardından sodyum silikat içeren çözelti hızla kalsiyum hidroksit çözeltisine eklendi. Oluşan NCaSiL 30 dakika karıştırılarak bir gece bekletildi. 24 saat sonra NCaSiL vakumlu süzme düzeneği ile mavi band süzgeç kağıdı kullanılarak süzüldü ve fazla kalsiyum, sodyum ve klorür iyonlarını gidermek için suyla yıkandı. Yıkamanın tam olduğunu kontrol için son yıkama suyundan birkaç mL süzüntü alındı ve asidik ortamda gümüş nitrat damlatılarak test yapıldı. Yapının çökmesini ve yüzey alanının azalmasını önlemek için filtre kekinin hacminin iki katı teknik etanol kullanılarak on bir yıkama gerçekleştirildi. Son olarak, NCaSiL 100 °C'de kurutuldu.



Şekil 5. NCaSiL sentezinin süzülme sonrası

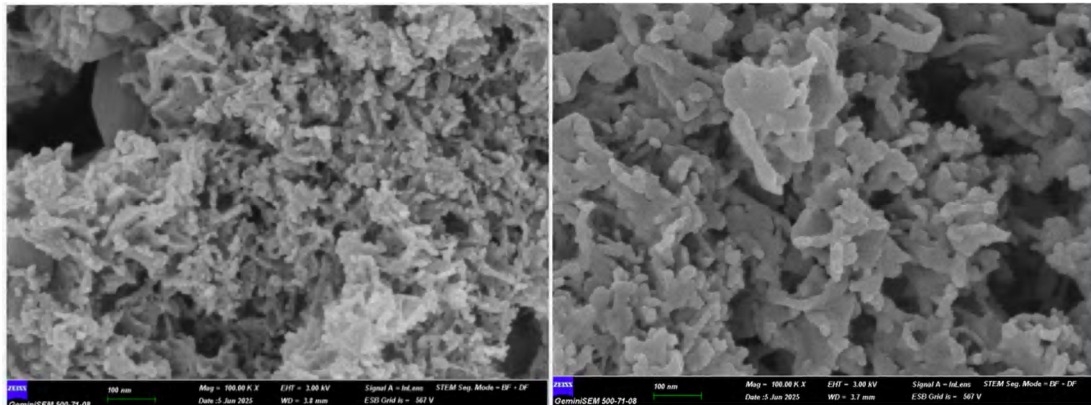


Şekil 6. NCaSiL kurutulması sonrası



Şekil 7. NCaSiL XRD spektrumu

Sentezin süzülmesi ve kurtulması esnasında inert gaz atmosferi sağlanamadığından yapıda havadan gelen karbondioksitinde kalsiyum ile kalsiyum karbonat şeklinde çıktığı görülmüştür. Kurutma sıcaklığı da düşük olduğundan kalsiyum karbonat parçalanmamıştır.



Şekil 8. NCaSiL' e ait FESEM görüntüleri verilmiştir.

Ekler kısmında ise dah büyük ve değişik bölgelerden alınmış FESEM görüntüleri alınmıştır.

Görüntüler incelendiğinde % 80 100 nm ve altı, %20 ise 200 nm ve altıdır. Yani sentez tamamen tek boyutta homojen değildir. Boyut olarak heterojendir.

2.3. Kullanılan Cihazlar ve Malzemeler

- UV-VIS Spektrofotometre (Hitachi)
- Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) Perkin -Elmer
- pH metre NEL marka
- Vakumlu süzme cihazı Heto Master JET
- Isıtıcı ve Karıştırıcı Tabla MS 300 HS
- Mikropipet Socorex
- Etüv (Nüve)
- Filtre Kâğıdı(Mavi bant) Hahne Mühle
- Huni
- Sodyum silikat, Ataman Kimya, %28,5 ağırlık oranında SiO₂,
- Kalsiyum hidroksit, Ca(OH)₂, Merck ,%96 saflıkta
- Bakır sülfat pentahidrat CuSO₄·5H₂O, Merck %99-100,5
- İndigo yıkama suyu
- HCl, Merck, % 32 saflıkta
- Stok 10180 mg L⁻¹ Cu²⁺, Bakır sülfat pentahidrat CuSO₄·5H₂O, dan 10 g tartılarak saf su ile 250 mL' ye tamamlandı.
- 1M Sülfürik Ait

- 1M NaOH
- 1M HCl
- 0,1M Gümüş Nitrat
- %95'lik Etil Alkol Teknik
- Ve cam laboratuvar malzemeleri



Şekil 9. Süzme Düzenegimiz



Şekil 10. Stok Çözeltilerimiz

2.3.1. AAS İle Elementlerin Kantitatif Tayini

Atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), gaz halindeki atomların ışığı soğurma prensibine dayanır. Işığı absorbe eden atomlar, temel enerji seviyelerinden kararsız uyarılmış enerji seviyelerine geçiş yapar ve absorbe edilen ışık miktarı, temel seviyedeki atom sayısı ile doğru orantılıdır. Atomik absorpsiyon spektrometresi, 60'tan fazla metal ve yarı-metal elementin nicel analizinde yüksek duyarlılığa sahip bir tekniktir [30].

Element atomları, etkileşimde buldukları elektromanyetik ışınların yalnızca kendilerine özgü dalga boyundaki bileşenlerini absorbe ederler. Spektroskopik analizlerde elementin bu absorpsiyon bantlarından birisi kullanılır. Genellikle tercih edilen dalga boyu, absorpsiyonunun en yüksek olduğu rezonans dalga boyu adını alır. Bu sayede seçilen dalga boyunda küçük konsantrasyonların bile absorbansları

okunabilir. Analiz ortamında girişim yapan türler varsa, girişimin olmadığı ama absorpsiyon şiddetinin nicel tayini için yeterli olabilecek başka bir absorpsiyon hattı seçilir. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi yöntemi ile bir elementin nicel analizi, konsantrasyonları bilinen standart çözelti serilerinin absorptans değerlerinin, örnek çözeltinin absorptansı ile karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Örnek çözeltiler hazırlanırken, analiz edilen elementin atomlaşma verimini olumsuz etkileyen etkenlerin bulunmadığı, girişimlerin yaşanmadığı ve yeterli absorptans şiddetinin sağlanabileceği uygun bir matriks ortamı sağlanmalıdır. Ayrıca, örnek ve standart çözeltilerin absorptansları, cihaz bileşenleri aynı koşullarda ayarlanarak kesintisiz bir şekilde ölçülmelidir [31].

2.3.2. Ultraviyole ve Görünür Bölge (UV-GB) Spektroskopisi ile Kantitatif Tayin

UV-VIS spektroskopisi, maddenin kimyasal bağları ile ışığın etkileşimi sonucu elektronların uyarılması, fonksiyonel grupların saptanması ve bu grupları içeren bileşiklerin analizinde kullanılır. Işın demeti, hazırlanan örnekten geçerken veya örneğin yüzeyinden yansıtıldıktan sonra şiddetindeki azalma ölçülür. Bu yöntem, genellikle çözelti içindeki moleküller, komplekslerin ve inorganik iyonların belirlenmesinde tercih edilir.

UV-VIS spektroskopisi, elektronik geçişlere dayanan bir spektrum sunar ve 200-400 nm aralığında UV, 400-700 nm aralığında ise görünür bölgesini kapsar. Görünür ışık bölgesinde absorpsiyon yapan bileşikler, absorbe ettikleri rengin tamamlayıcı renginde renklidir. Bu yöntemde absorpsiyon pikleri, elektronların bir enerji seviyesinden daha yüksek bir seviyeye geçişiyle oluşur. Ancak, moleküllerdeki titreşim ve dönme hareketleri sonucunda piklerin keskinliği azalabilir.

Absorpsiyon yapan fonksiyonel grup, yani kromofor, çoğunlukla aynı bölgede absorpsiyon yaparken, molekülün diğer kısımları absorpsiyon göstermez. Bir molekülde birden fazla kromofor bulunması ve bu grupların en az bir çift bağ içermesi durumunda, toplam absorpsiyon değeri bu kromoforların bireysel absorpsiyonlarının toplamına eşit olur; bu durum "toplanabilirlik kuralı" olarak adlandırılır [32].

2.4. Metot

2.4.1. CuSO₄ Çalışması

Sentezi ve karakterizasyonu yapılan NCaSiL'i Cu²⁺ iyonlarının geri kazanma çalışmalarında kullandık. Çalışmalarda 100-1000 mg adsorban NCaSiL kullanıldı. Öncelikle ortam pH'nın geri kazanma verimi üzerine etkileri araştırıldı. Ortam pH'ı 5 olduğunda Bakır iyonları geri kazanma verimi optimum düzeyde olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre geri kazanma veriminin % 95 ve üzerinde olduğu sadece 1000 mg adsorban miktarında elde edilmiştir. Çalışmalarda küçük hacimler de son hacim 45 mL olanlarda vortex ile karıştırma ve çöktürmede ise santrifüj kullanıldı. Ama büyük hacimlerdeki çalışmalarda bath yöntemi kullanıldı. Bir beher içerisinde 1000 mg NCaSiL adsorbantı alınarak üzerine değişik miktarda Bakır(II) iyonları eklenerek son hacim en az 100 mL olacak şekilde seyreltilip manyetik balık ile 10 dakika karıştırılarak pH ölçümü yapıldı ve derişik sülfirik asitle pH: 5 getirilerek 1-2 dakika bekletildikten sonra 10 dakika tekrar karıştırıldıktan sonra 20 dakika dinlenmeye bırakıldı sonra sıvı ve katı faz ayrılıyor, faz ayrımı iyice belirginleşmeye başladıktan sonra mavi bant süzgeç kağıdı yerleştirilmiş porselen buhner hunisinden vakumla çalışan süzme düzeneği ile süzöldükten sonra süzöntü de bakır(II) iyonlarının tayini Atomik Absorbsiyon Spektrometresinde tayin edilmiştir. Bu işleme ait bir fotoğraf aşağıda verilmiştir.



Şekil 11. Faz Ayrımı



Şekil 12. Faz Ayrımı İçin Dinlendirme

2.4.2. Metilen Mavisini Çalışması

NCaSiL ile adsorpsiyon uygulamasından birisi de metilen mavisini ne kadar adsorpladığı çalışması yapıldı. pH: 9 da adsorban miktarı taraması yapıldı. Yine bath yöntemi kullanıldı. Artan miktarlarda adsorbana metilen mavisini stokundan sabit derişimde metilen mavisini ilavesini yapıldı son hacim 100 mL olacak şekilde seyreltildi manyetik balık ile 10 dakika karıştırıldı. 30 dakika bekletildi ve beyaz bant süzgeç kâğıdı ile süzüldü. Aşağıdaki fotoğraf metilen mavisini çalışmasını göstermektedir.



Şekil 13. Metilen Mavisini Süzme İşlemi



Şekil 14. Süzme Sonucu

Önceki çalışmalarda istediğimiz verileri elde ederek gerçek örnek ile çalışma aşamasına geçtik.

2.4.3. İndigo Yıkama Suyu Çalışması

İndigo boya yıkama suyu diğer indigo atıklara göre seyrelme fazla olmadığı için NCaSiL deki adsorpsiyon çalışması araştırılmıştır. pH taraması yapılarak geri kazanma veriminin optimum pH'ı belirlenmiş ve daha sonrasında da adsorban miktarı belirlenmiştir. Optimum pH: 7 ve adsorban miktarı 1000 mg olarak optimize edilmiştir. Zenginleşme sonrası ve öncesinde yıkama suyu UV-VIS spektrometresinde tayin edilmiştir. 1000 mg NCaSiL alınarak üzerine 75 mL indigo yıkama suyu eklendikten sonra ortam pH : 7 ye sülfürik asit ile getirildikten sonra 15 dakika karıştırıldı ve 30 dakika bekletilerek mavi bant süzgeç kağıdı ile vakumda süzüldü. Aşağıdaki fotoğrafta

indigo yıkama suyunun başlangıç ve NCaSiL adsorpsiyonu sonucunda elde edilen renk değişimi görölmektedir.



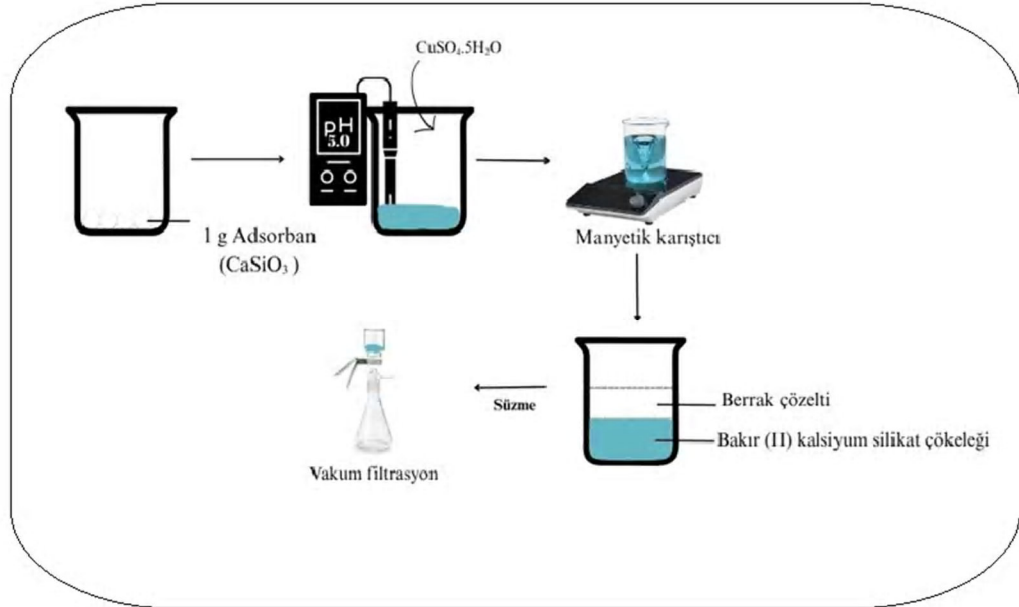
Şekil 15. İndigo Yıkama Suyu ile NCaSiL uygulamasından sonraki Süzüntü suyunun kıyaslaması

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Bakır(II) İyonlarının NCaSiL 'de Geri Kazanımında pH Taraması

Sentezlediğimiz kalsiyum silikatın Bakır(II) iyonlarının geri kazanımında pH etkisi araştırılmıştır. 10180 mg L⁻¹ stok Cu²⁺ çözeltisinden seyreltmek suretiyle ortamda 825 mg L⁻¹ olacak şekilde 90 mL'ye seyreltilen Cu²⁺ içeren çözelti beher içerisinde 1000 mg NCaSiL eklendi ve manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı ve pH metre ile pH taraması yapıldı. pH: 3-7 aralığında çalışıldı. pH taraması yapılırken istediğimiz pH getirme işleminde derişik sülfürik asit kullanılarak hacim değişiminin fazla sapma olmamasına dikkat edildi. Çalışmada her pH'da 3 paralel olacak şekilde model çalışma yapıldı. Tablo 3.1 görüldüğü gibi pH 5.0 'de % 96 ile Cu²⁺ iyonları kantitatif geri kazanma görülmektedir. Cu tayinleri AAS ile yapılmıştır.



Şekil 16. Cu(II) zenginleştirilmesi ve ayrılmasındaki basamakları



Şekil 17. Santrifüjlenmiş Cu(II)



Şekil 18. Süzgeç kağıdında zenginleşen Cu(II)

Tablo 3.1 NCaSiL Cu(II) Geri Kazanımında pH Taraması

Adsorban Miktarı (mg)	Ph	Bulunan (mg L ⁻¹)	% Geri Kazanım
1000	3	769 ±1	93
1000	4	784± 2	95
1000	5	792 ± 4	96
1000	6	770 ± 3	93
1000	7	755 ±5	91

(Tarama da kullanılan Cu²⁺ miktarı: 825 mg L⁻¹)

3.2. NCaSiL Miktarının Cu(II) Geri Kazanma Üzerine Etkisi

100- 1000 aralığında NCaSiL miktarının Cu(II) iyonlarının pH 5.0' de geri kazanım verimini araştırmak için bath yöntemi ile yapılan model çalışmalarda 1000 mg adsorban miktarı ile kantitatif verim elde edilmiştir. Diğerlerinde yeterince geri kazanım verimine ulaşılmamıştır. Bundan sonraki çalışmalarda 1000 mg adsorban ile çalışılmıştır.

3.3. Örnek Miktarının Cu(II) İçeriğinin Geri Kazanmaya Etkisi

NCaSiL adsorbanının Cu(II) nin geri kazanım değerleri üzerinde numune miktarının etkisi araştırıldığında 200-1650 mg L⁻¹ içeren model çözeltiler hazırlandı. Sonuçlar

Tablo 3.2 verilmiştir. Cu(II) için 207-1242 mg L⁻¹ aralığında kantitatif geri kazanma verimleri elde edilmiş olup 1656 mg L⁻¹ de ise geri kazanma yüzdesi %94 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.2 Cu(II) Miktarının Geri Kazanma Verimine Etkisi

1.Adsorban Miktarı(mg)	Eklenen (mg L⁻¹)	Bulunan (mg L⁻¹)	% Geri Kazanım
1000	207	199±2	96
1000	414	410±4	99
1000	828	814±18	98
1000	1242	1192±25	96
1000	1656	1560±24	94

(Ortam pH:5, N:3)

Tablo 3.2 deki çalışmada kullanılan 1.nci adsorban sentezinin dışında sentezlerin tekrarlanabilirliği ve Cu(II) geri kazanma etkisi araştırıldığında yine 2.nci bir NCaSiL sentezlendi ve yine aynı şartlar kullanılarak model Cu(II) geri kazanımında kullanılmıştır. Bu çalışma Tablo 3.3. verilmiştir.

Tablo 3.3 Cu(II) Miktarının Geri Kazanma Verimine Etkisi

2.Adsorban Miktarı(mg)	Eklenen (mg L⁻¹)	Bulunan (mg L⁻¹)	% Geri Kazanım
1000	254	255±1	100
1000	509	506±1	99
1000	763	760±4	100
1000	1018	1016±1	100
1000	1517	1417±8	93

(Ortam pH:5, N:3)

Tablo 3.2. ve 3.3 den de görüldüğü gibi yapılan sentezler dikkatli bir şekilde yapıldığında geri kazanma verimleri hemen hemen aynı olmuştur.

Ayrıca gerçek örnek uygulamasına geçildiğinde Şehirde bulunan bir endüstriyel firmanın ürettikleri hammaddenin yıkanması sonrasında arıtma sistemine gitmeden önce alınan su örneğine sentezlenen NCaSiL uygulaması yapıldığında geri kazanma verimleri aşağıdaki Tablo 3.4. verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi sentezlenen adsorban

Cu(II) iyonu için pH:5 oldukça yüksek geri kazanma verimine sahiptir. Diğer iyonlar içinde geri kazanma verimleri tablodan da görülmektedir.

Tablo 3.4. Endüstriyel Yıkama Suyunda Arıtma Öncesinde Cu(II) ve Diğer İyonların Geri Kazanım Değerleri

Element Adı	Yıkama suyu başlangıç değerleri (mg L ⁻¹)	Yıkama suyunun adsorbanla muamelesi sonrası ortama geçen miktarlar (mg L ⁻¹)	% Geri Kazanım
Cu	722,0±12	16±2	97
Zn	235,0±5	77±6	66
Pb	5,22±0,4	1,27±0,4	75
Cd	12,4± 0,3	8,2±0,3	34
Fe	5,7±0,4	2,05±0,1	64
Co	0,16±0,03	0,03±0,01	81
Ni	0,47±0,04	0,20±0,02	57
Mn	0,22±0,06	0,055±0,02	75
Florür	23,4±0,1	10,5±0,01	55
Klorür	11,000	*	

(Adsorban miktarı: 1000 mg pH: 5.0-5.1, ve N:3)

3.5. Metilen Mavisinin Geri Kazanımında NCaSiL Kullanılması

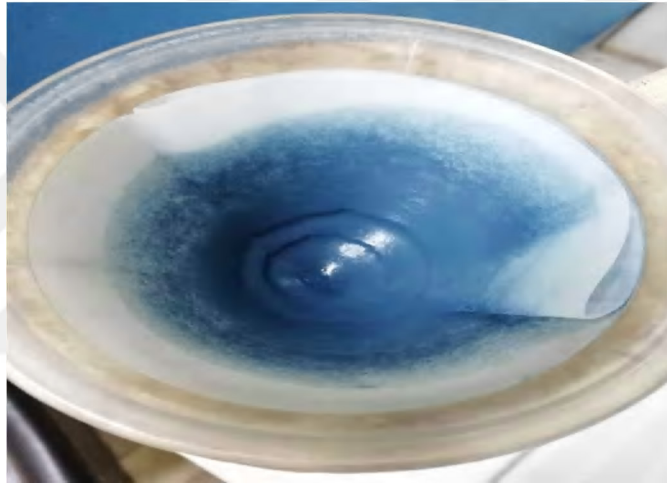
Nano Kalsiyum silikat sentezi ile metilen mavisinin adsorpsiyon çalışması incelendiğinde stok 1043 mg L⁻¹ metilen mavisinden seyreltmeler yaparak model çalışma yapıldı. Metilen mavisini ile yapılan çalışmalar da uygun pH'ın 9.0 olduğu belirlenmişti. Metilen mavisini ile geri kazanma çalışmalarında adsorban miktarı taraması yapılmıştır. Metilen mavisini çalışmalarında Ölçümler UV-VIS ile alınmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 3.4 verilmiştir.

Tablo 3. 5. Metilen Mavisinin(MM) Geri Kazanımında Adsorban Miktarı Taraması

Adsorban Miktarı (mg)	Eklenen MM (mg L ⁻¹)	Bulunan MM (mg L ⁻¹)	% Geri Kazanım
100	20,86	4,10±0,32	20
250	20,86	6,20±0,44	29
500	20,86	13,10±0,16	63
750	20,86	13,56±0,22	64
1000	20,86	19,30± 0,30	93

(ortam pH: 9)

Tablodan görüldüğü gibi 1000 mg adsorban 20 mg L⁻¹ metilen mavisinin geri kazanımında % 93 etkilidir.



Şekil 19. Metilen mavisinin NCaSiL üzerindeki zenginleşmesi ve ayrılması

3.6. İndigo Yıkama Suyundaki İndigonun Geri Kazanımı

İndigo yıkama suyundaki indigo boyanın sentezlenen adsorban üzerinde tutunması yani geri kazanım çalışmalarında adsorban miktarı olarak 1000 mg adsorban kullanılmıştır. Geri kazanım verimi üzerine pH etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla yapay indigo boya çözeltisi kullanmak yerine doğrudan indigo boyaması yapan bir fabrikadan çalışma amaçlı indigo yıkama suyuna geçen indigolu sular üzerinde çalışmalar yapıldı. Başlangıçta indigolu sular içerisindeki indigo derişimleri yükseltgen halde anilinin çözücü olarak kullanılmasıyla 760 nm de UV-VIS spektrofotometre ile kalibrasyon grafiğine göre tayinleri yapıldı. pH etkisi araştırılırken indigo yıkama sularının pH'ı 11.30 şeklindedir, pH tarama yapılırken uygun derişimde indigolu sular alındı ve pH değerleri değiştirilerek son hacimleri 50 mL olacak şekilde saf su ile tamamlandı. Yine hacim değişiminin az olması için derişik sülfürik asitle pH değerleri 11.30' den daha

aşağı değerlere çekildi ve pH metre ile kontrol edildi. Adsorpsiyon için bath yöntemi kullanıldı. Bir beher içerisine 1000 mg adsorban tartılarak aktarıldı ve üzerine indigolu yıkama suyu eklendi, magnetik balık yardımıyla 5 dakika karıştırıldı pH ölçüldü, istenilen pH getirmek için pH metre kontrollü sülfürik asitten damla damla eklenerek hedeflenen pH değerlerine getirildi ve 30 dakika bekledikten sonra mavi bant süzgeç kağıdından süzülerek alta geçen indigo miktarları tayin edildi. İndigolu yıkama suyunun pH'a karşı adsorpsiyon durumu aşağıdaki Tablo 3.5. verilmiştir.

Tablo 3.6. İndigo Yıkama Suyunda İndigonun Geri Kazanımında pH Taraması

Adsorban Miktarı (mg)	pH	Bulunan (mg L ⁻¹)	% Geri Kazanım
1000	9.0	13,4±0,3	96
1000	8.0	13,6±1,0	97
1000	7.0	13,7±1,0	98
1000	6.0	13,7±0,5	98

(Tarama da kullanılan indigo miktarı: 14 mg L⁻¹)

Tablo 3.5 den de görüleceği gibi geri kazanım verimi optimum pH 7.0 olarak belirlenmiştir.

Bu optimizasyondan sonra indigonun artan derişime göre geri kazanım verimi üzerine etkileri çalışıldı. Adsorban miktarı sabit 1000 mg ve pH 7.0 de artan indigo derişimine karşı geri kazanım değerleri çalışıldı ve sonuçlar aşağıdaki Tablo 3.6 verilmiştir.

Tablo 3.7. İndigo Yıkama Suyunda İndigo Miktar Taramasında Geri Kazanım Değerleri

Adsorban Miktarı(mg)	Eklenen (mg L ⁻¹)	Bulunan (mg L ⁻¹)	% Geri Kazanım
1000	14,0	13,6±0,2	97
1000	28,0	26,9±0,2	96
1000	42,0	39,7±1,5	95
1000	56,0	53,5±0,3	96
1000	70,0	66,3±0,7	95
1000	140,0	133,8±0,9	96
1000	280,0	271,6±2,8	97
1000	560,0	526,5±7,8	94

(Tarama da pH: 7,0 ve N:3)



Şekil 20. ve 21. Yıkama suyundaki İndigo Boyanın NCaSiL ile Ayrılması ve Zenginleşmesi

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Tartışma

Kalsiyum silikat ülkemizde ve dünyada maliyeti ucuz, kolay bulunabilen, geri kazanım değeri yüksek ve hızlı analiz süreci olan kimyasal bileşendir.

Bu tez çalışmasında diğer adsorbanlarla kıyasladığımızda maliyeti düşükken yüksek verim elde ettiğimiz kalsiyum silikat çalışmaları önce bazı metal iyonlarını geri kazanma verimleri araştırılmış sonrada kantitatif geri kazanıma sahip iyonlar üzerine yoğunlaşmıştır. Zenginleştirmede kullanılan örneklerin gerçek uygulamasına geçilmiştir. Gerçek örnekle ile çalışılarak onların matriks etkisinin geri kazanım verimini etkilemesini görmek amaçlanmıştır.

Literatür verilerini göz önünde bulundurarak kalsiyum silikat adsorbanında etkili olacak faktörler belirlenmiş ve deneme yanılma yoluyla çevre dostu olmayan ve endüstriyel anlamda kirliliğin önüne geçemeyeceğimiz kısımlar çalışmadan çıkarılmıştır.

Çalışma sonucunda adsorpsiyon özelliği iyi olan pH değerleri, madde miktarı, dinlendirme süresinde yüksek sonuç aldığımız kalsiyum silikat sentezi ile gerçek örnekler çalışılmıştır.

Endüstriyel ortamdan gelen indigo yıkama suyu sentezimiz ile belli formülasyonlarla birleşerek geri kazanım yüzdemizi %98 civarında olduğunu göstermiştir.

4.2. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, kalsiyum silikat sentezinin adsorplama miktarı ve endüstriyel ortamdan gelen kirli sularda geri kazanım çalışmaları ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır

- Basit bir prosesle, normal basınç ve normal sıcaklıkta, nano yapıda kalsiyum silikat üretilebilmektedir.
- Kalsiyum silikat sentezi süzülürken yapılan yıkama işlemi sayesinde içerisindeki tuz ayrımı sağlanmaktadır.
- Kalsiyum silikatın izolasyon ve ısı yalıtımı dışında kullanılabilirlik kullanışlılığı gösterilmiştir.
- Sentezlenen nano kalsiyum silikat etkin şekilde ağır metal adsorpsiyonunda da kullanılabilirliktedir.
- Kalsiyum silikat adsorbanının kullanımı çevre kirliliğinin önüne geçede bir adım olabilecektir.
- Nano boyutta sentezlenen kalsiyum silikat diğeri adsorbanlara kıyasla ucuz oluşu ve kolay sentezi sayesinde güzel bir adsorbandır.

KAYNAKÇA

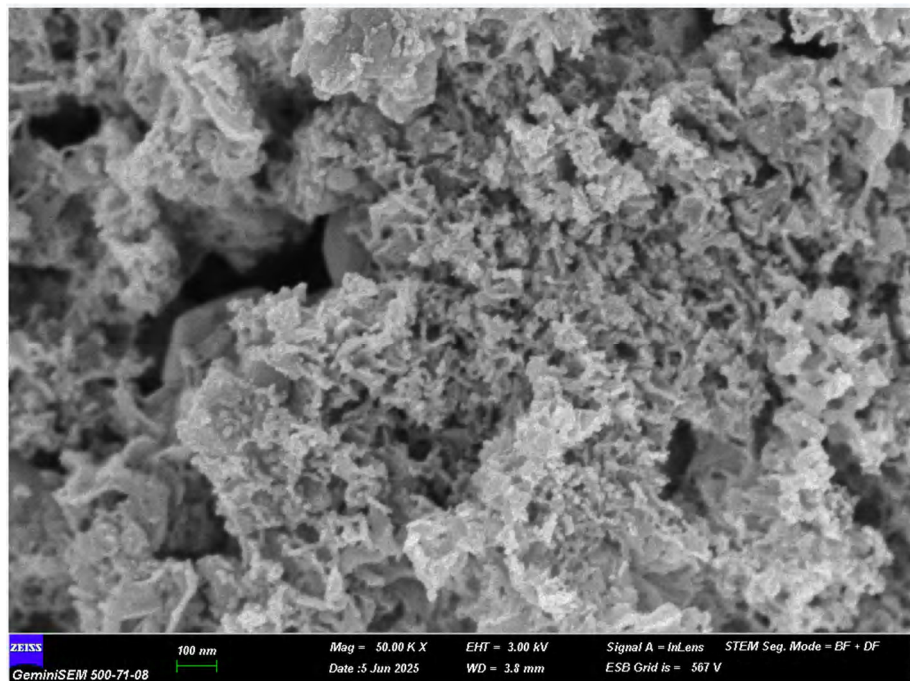
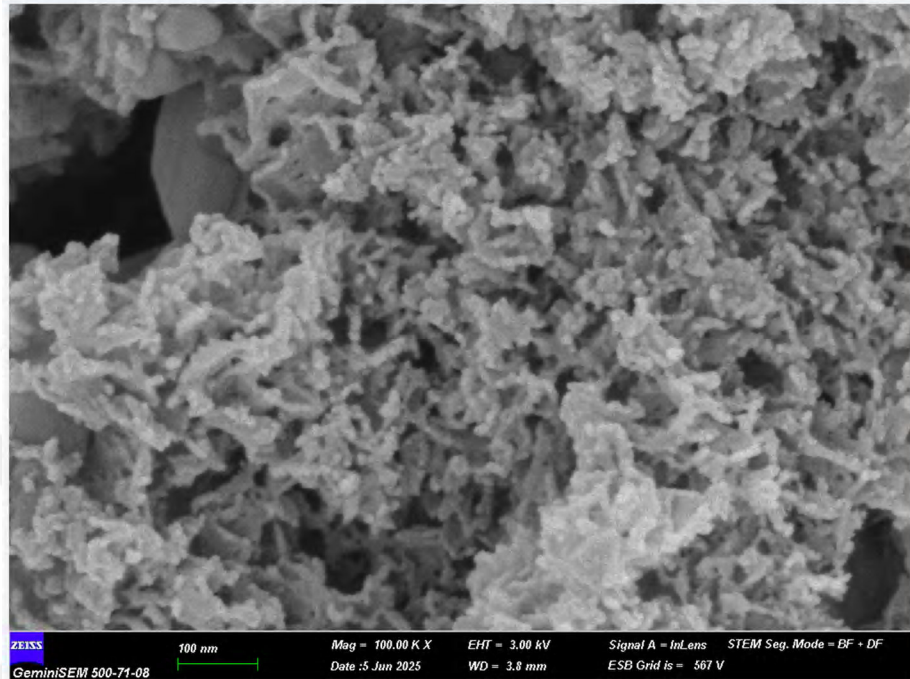
1. Weatherley, L. R. 1997. Adsorption of acid dyes onto granular activated carbon in fixed beds. **Water Research**, **31**(8): 2093–2101.
2. Demir, M. 2002. Anorganik kimya: Mesleki ve teknik öğretim okulları temel ders kitabı Akçağ yayınları. 4. Akşam Sanat Okulu Matbaası.
3. Uysal, M. 2004. Endüstriyel Atık Sulardan Cr(VI)'nın Adsorpsiyon Yöntemiyle Giderilmesi, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Erdoğan, Y. A. 2005. Atıksulardan Çeşitli Adsorbanlarla Arsenik Giderimi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
5. Seramik Hammaddeleri. 2014, September 2. Wollastonit.
[http://seramikhammaddeleri.com/hm_masse/wollastonit.doc](http://seramikhammaddeleri.com/hm_masse/wollastonit.doc)
6. Ito, Y., Kusakawe, T., Ishida, M., Shibata, N., Takada, K. 2005. Oral solid gentamicin preparation using emulsifier and adsorbent. **Journal of Controlled Release**, **105**(1): 23–31.
7. Binici, H., Mustafa, E., Dinçer, A. 2005. Silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların bazı durabilite özellikleri. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **28**(1): 11–21.
8. Topçu, İ. B., Canbaz, M. 2005, Eylül 22–24. Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Atığı Silis Dumanının Hazır Betonda Kullanımı. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya.
9. Çevre Online. 2015. Çevre kirliliği türleri. [<http://cevreonline.com/cevre-kirliligi-turleri/>]
10. Singh, V. P., Yadava, R. N. 2003. Wastewater Treatment and Waste Management. Allied Publishers.
11. Dinçer, A. 2007. Sepiyolit ve Genleşmiş Perlit Üzerine Katyonik Poliakrilamid Adsorpsiyonu, Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Başural, Y. 1996. Çeşitli Adsorbanlarla Fosfat Giderilmesi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
13. Webber, T. N., Chakravarti, R. K. 1974. Pore and solid diffusion models for fixed bed adsorbers. **AIChE Journal**, **20**: 228–238.

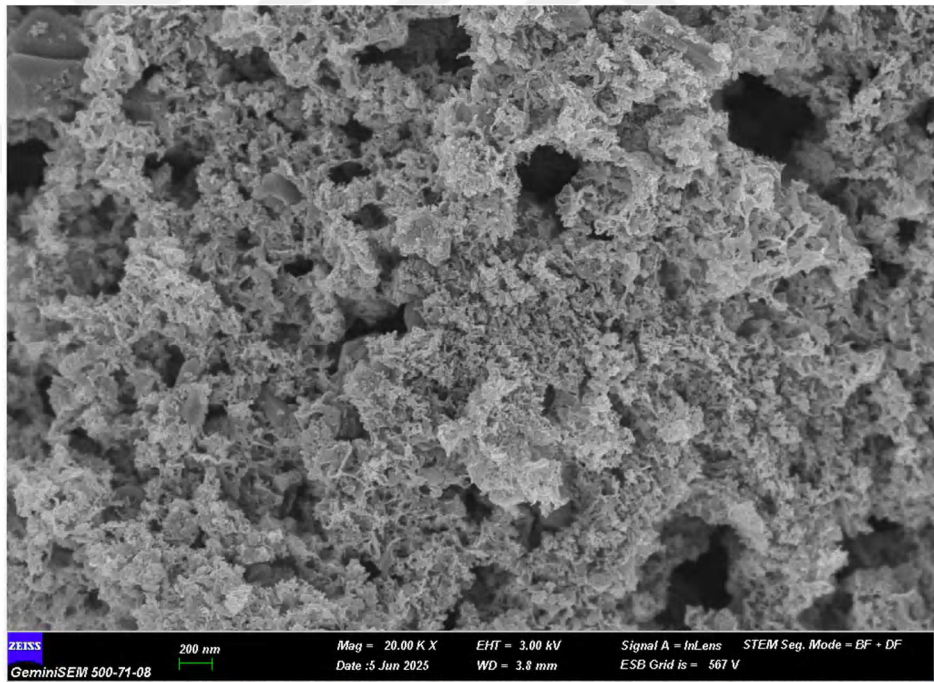
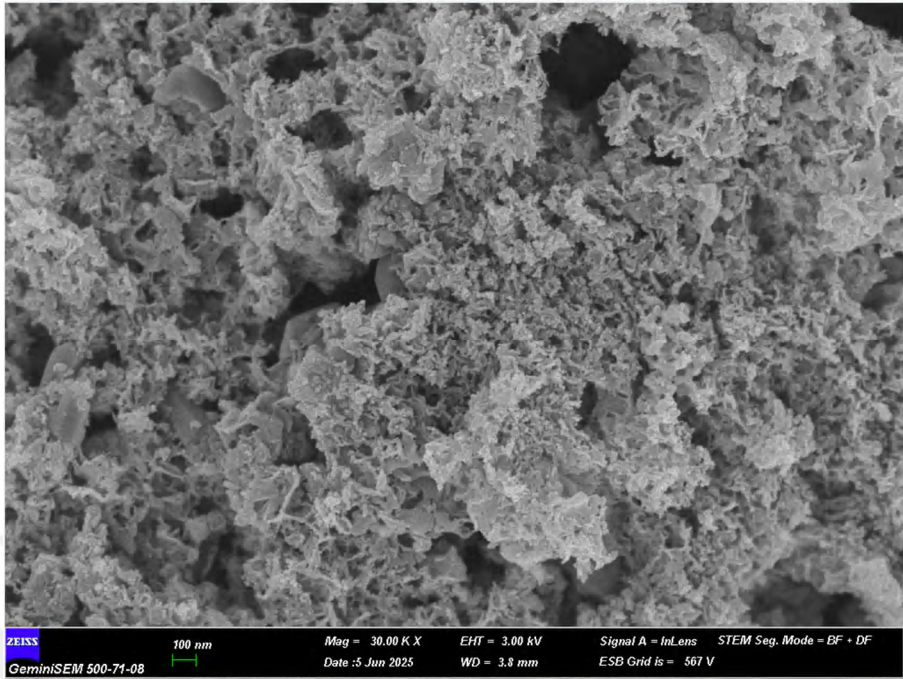
14. Freundlich, H. M. F. 1906. Über die Adsorption in Lösungen. **Zeitschrift für Physikalische Chemie**, **57**: 385–470.
15. Kocaer, O., Alkan, U. 2002. Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **7**(1): 47–55.
16. Weatherley, L. R. 1997. Adsorption of acid dyes onto granular activated carbon in fixed beds. **Water Research**, **31**(8):2093–2101.
17. Armağan, B., Turan, M., Çelik, M. (2003, Eylül). Modifiye Sepiyolit ve Zeolitin Tekstil Endüstrisi Atık Sularında Adsorbant Olarak Kullanılması: Karşılaştırmalı değerlendirme. İTÜ 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 25–31, İstanbul.
18. Kocaer, O., Alkan, U. 2002. Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **7**(1):47–55.
19. Başbüyük, M. 1998. Biological Treatment of A Simulated Textile Wastewater, Doktora tezi, University of Birmingham.
20. Li, Y., Li, W., Li, X., Liu, H. 2016. Hydrothermal synthesis and characterization of calcium silicate hydrate from fly ash and lime. **Journal of Materials Research and Technology**, **7**(3): 254–261.
21. Liu, M., Wang, D., Zhang, F., Yang, J. 2020. Synthesis of nano-calcium silicate and its application in environmental remediation. **Environmental Technology & Innovation**, **20**, 101108.
22. Huang, W., Li, J., Chen, J., Zhai, Y. 2019. Preparation and properties of porous calcium silicate from steel slag and its application as adsorbent. **Journal of Cleaner Production**, **228**. 1037–1045.
23. Zhao, Y., Chen, M., Liu, Z., Wu, L. 2017. Synthesis of calcium silicate nanoparticles and their potential in biomedical applications. **Ceramics International**, **43**(1). 1304–1310.
24. Kim, S., Lee, J., Park, S. 2021. Hydrothermal preparation of calcium silicate from waste glass and its use for phosphate removal. **Waste Management**, **119**: 130–138.

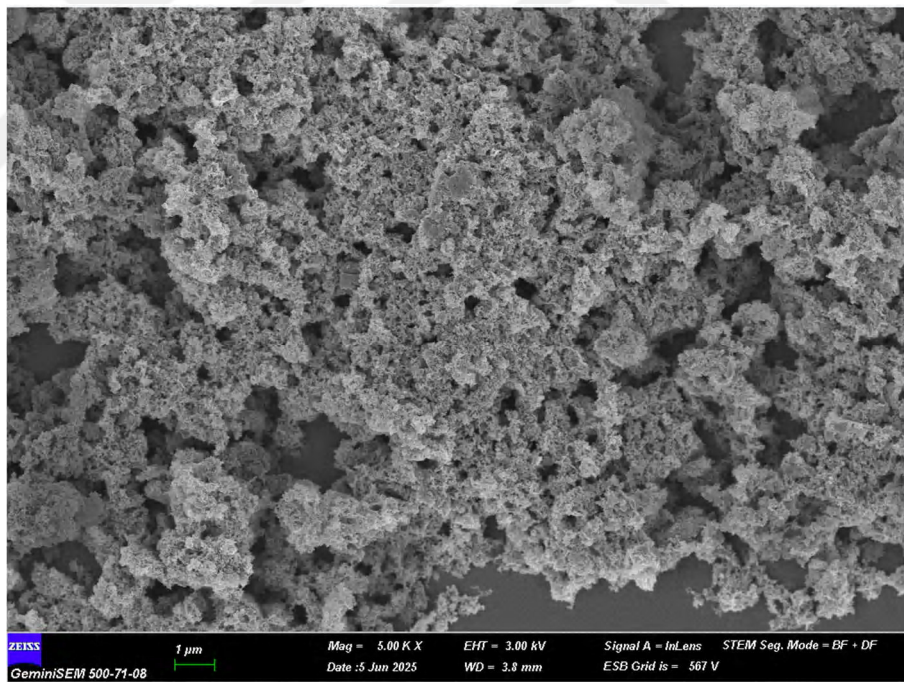
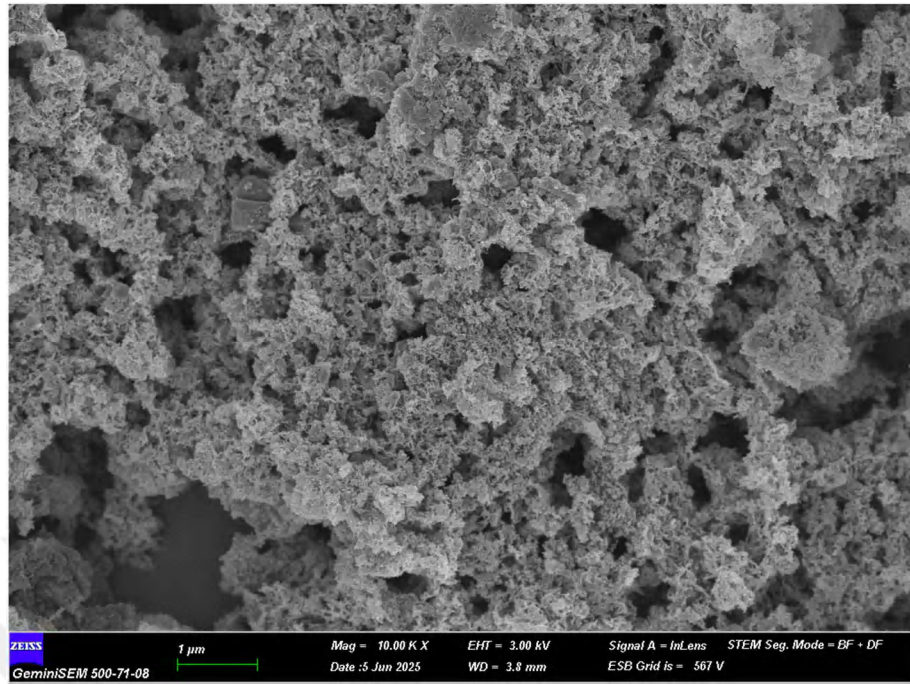
25. Ding, T., Yang, C., Zhao, G., Wang, S. 2015. Synthesis and characterization of calcium silicate for the removal of heavy metals from wastewater. **RSC Advances**, **5**(40): 31775–31784.
26. Song, H., Kim, H., Lee, S. 2022. Eco-friendly synthesis of calcium silicate using rice husk ash for sustainable construction materials. **Sustainable Materials and Technologies**, **31**, e00355.
27. Özbay, E. 2008. Günümüzde nanoteknoloji ve uygulamaları. **Çerçeve Dergisi**, **47**: 54–57.
28. Bayındır, M. (2011, October 23). Nanoteknoloji devrimi geliyor. <http://www.fen.bilkent.edu.tr/~mb/dokumanlar/NanoteknolojiDevrimiGeliyorTED%20Mesale.pdf>
29. Cairns, M. J. 2008. A study of the sorption characteristics of nanostructured calcium silicate, Master's thesis, Victoria University of Wellington.
30. Caner, C. 2021. Manyetik Katı Faz Ekstraksiyonu Metodu ile Bazı Ağır Metal İyonlarının Önderiştirilmesi ve USN-ICP-OES ile tayini, Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
31. Yıldız, H. 2019. Polimer Kompozit Adsorbantı ile Cu (II) İyonlarının Katı Faz Ekstraksiyonu, Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
32. Erdik, E., Obalı, M., Yükseklik, N., Öktemer, A., Pekel, T. 2001. Denel organik kimya Nobel Yayınları, Ankara.

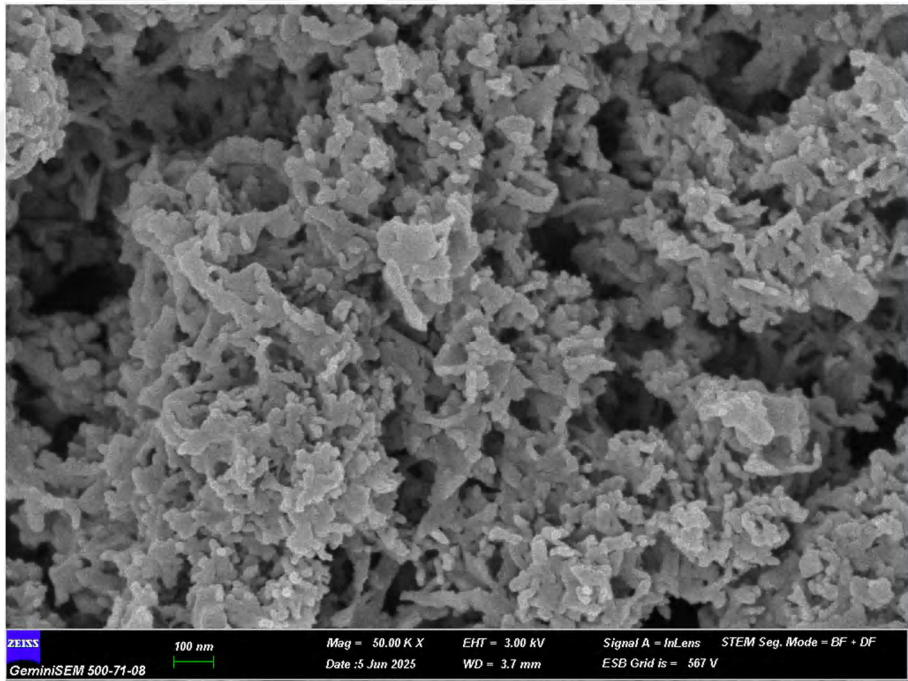
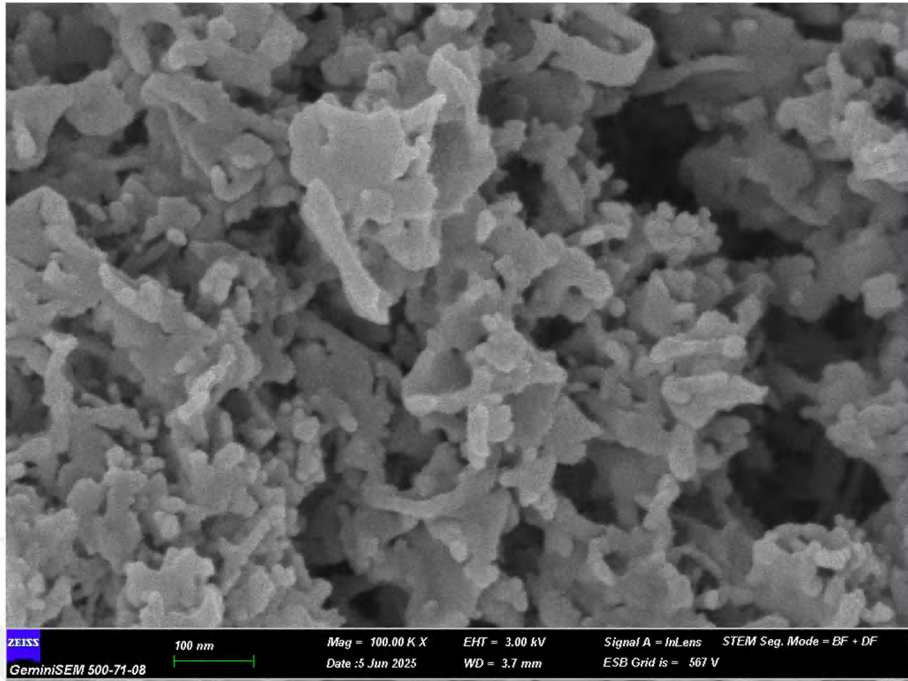
EKLER

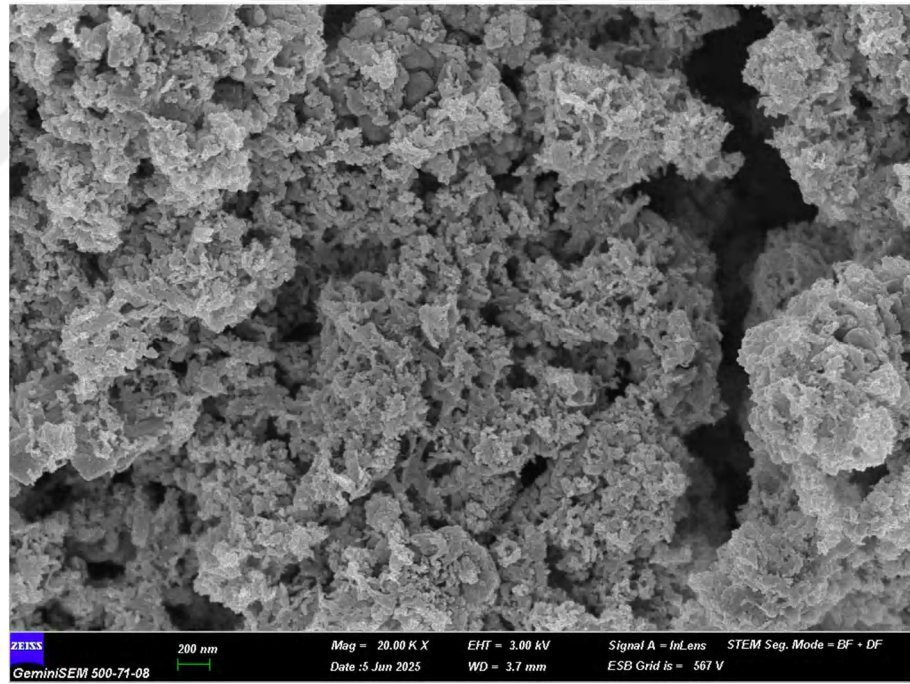
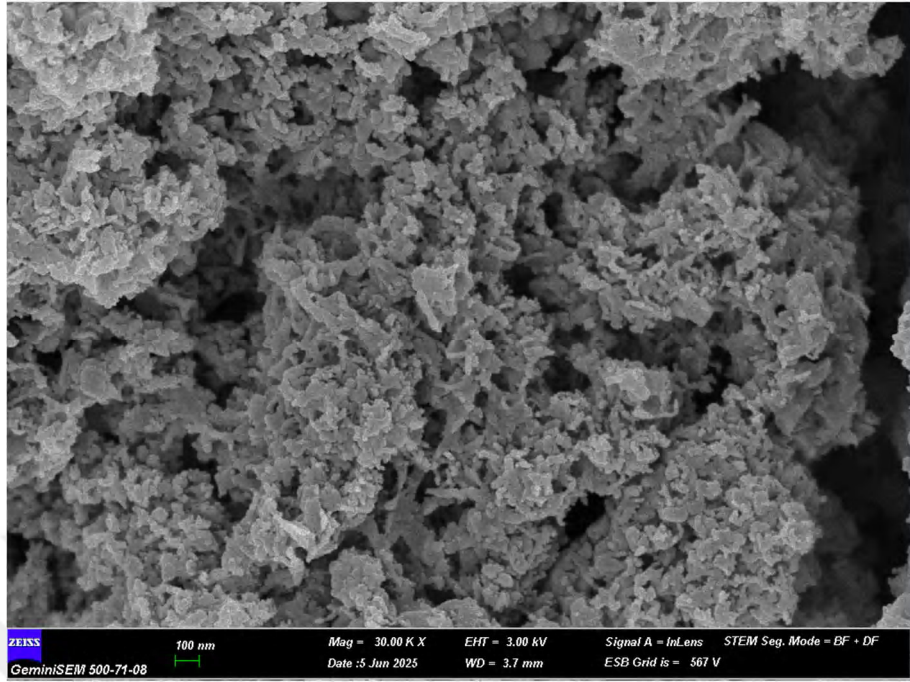
EK 1.

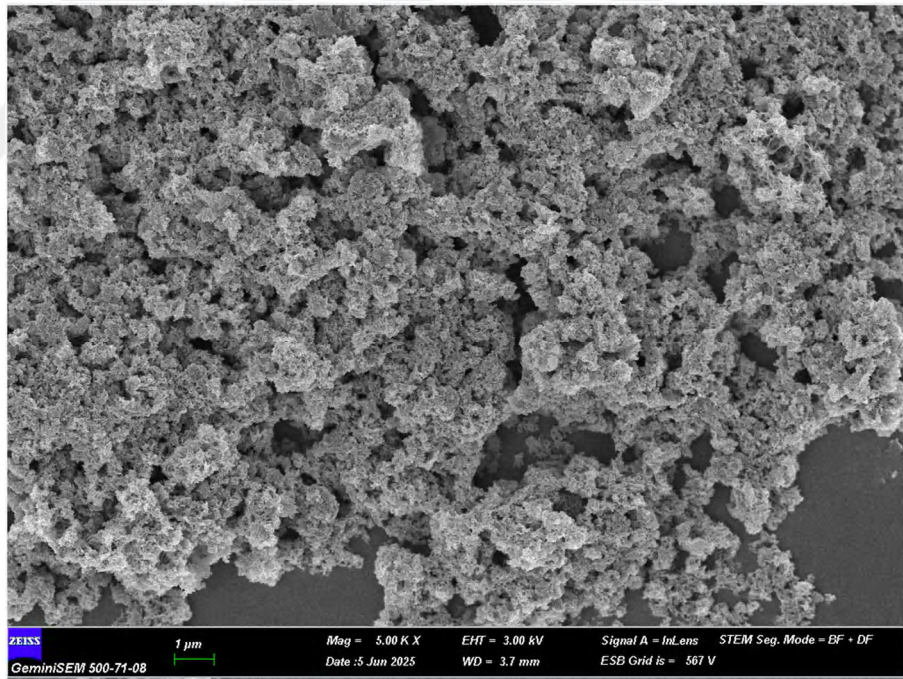
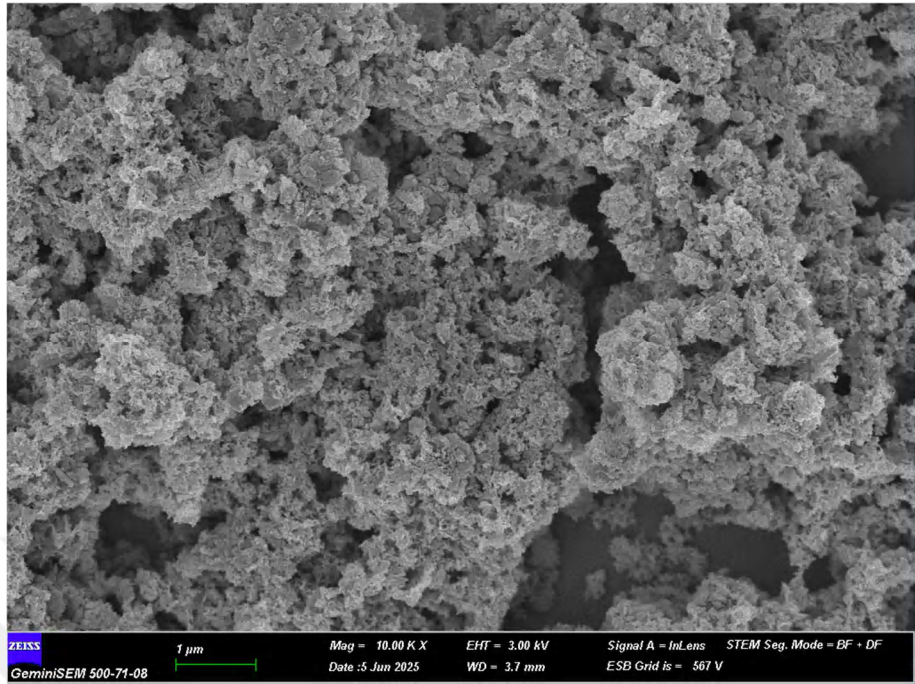












ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Elif Şeval İÇYER
Uyruğu: Türkiye (T.C.)
Doğum Tarihi ve Yeri:
Medeni Durum:
e-mail:
Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Analitik Kimya	2025
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Kimya	2022

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
	-	

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

-