T.C.

*İstanbul*

YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

# ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ 316L ÇELİK MALZEMENİN BAKIR NANOPARTİKÜLLER İLE KAPLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Firdevs DURANLI**

Tez Danışmanı

**Doç. Dr. Sezen CANIM ATEŞ**

İSTANBUL

Eylül 2023

**T.C.**

**İstanbul**

**YENİ YÜZYIL ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

## Kabul ve Onay

Biyomedikal Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Savunma Tarihi:** 20.09.2023

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Sezen CANIM ATEŞ

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi _____

## Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Serap DERMAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Sezen CANIM ATEŞ

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Şakir ALTINSOY

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi _____

## Etik Beyanı

İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

● Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

● Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

● Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

● Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,

● Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

20/09/2023

Firdevs DURANLI

# Teşekkür

Lisansüstü eğitimim ve tez sürecim boyunca göstermiş olduğu ilgi, verdiği emek, zaman, akademik gelişimim için sarf etmiş olduğu çaba ve imkanlar ile desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen danışman hocam Doç. Dr. Sezen CANIM ATEŞ hocama, bana olan güveni ile her zaman destekçim olan emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Şakir ALTINSOY hocama, desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen tez sürecim boyunca her zaman yardımcı olan Arş. Gör. Fatma Zehra KÖSE ve Arş. Gör. Rezzan YARDIMCI hocalarıma,

Hayatım boyunca maddi manevi her zaman yanımda olan bana olan güvenlerini hissederek daima gurur duyduğum haklarını ödemeyeceğim biricik aileme,

Bu süreçte beni sürekli motive eden, ümit veren, üzüntümü, sevincimi benimle paylaşan yanımda olduğunu her zaman hissettiren nişanlım Alperen TOPALOĞLU'na,

Tez sürecim boyunca bana sunmuş olduğu imkanlar ve göstermiş olduğu anlayış ile müdürüm Nejdet ŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

# İçindekiler

**Kabul ve Onay** ---- **i**
**Etik Beyanı** ---- **ii**
**Teşekkür** ---- **iii**
**İçindekiler** ---- **iv**
**Sembol ve Kısaltma Listesi** ---- **vi**
**Şekil ve Grafik Listesi** ---- **vii**
**Özet** ---- **ix**
**Abstract** ---- **x**
**1. GİRİŞ** ---- **1**
**2. GENEL BİLGİLER** ---- **3**
2.1. Biyomalzemeler ---- 3
2.2. Biyomalzemelerin Özellikleri ---- 3
2.3. Biyomalzeme Çeşitleri ---- 5
2.4. Paslanmaz Çelikler ---- 12
2.5. Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanları ---- 14
2.6. Paslanmaz Çeliklerin Avantajları ---- 14
2.7. 316L Paslanmaz Çelik ---- 15
2.8. Yüzey Kaplama ---- 16
2.9. Isıl İşlem ---- 20
2.10. Demirli Metallerin Isıl İşlemi ---- 21
2.11. Defne Yaprağı ---- 23
2.12. Yeşil Sentez Yöntemi ---- 23
2.13. Literatürdeki Benzer Çalışmalar ---- 24
**3. MALZEME VE YÖNTEM** ---- **26**
3.1. Kullanılan Materyalin Özellikleri ---- 26
3.2. İş Parçasının İşlenmesi ---- 26
3.3. Isıl İşlem ---- 27
3.4. Sertlik Ölçümü ---- 29
3.5. Kaplama Malzemesinin Hazırlanması ---- 30
3.5.1. Defne Yaprağı Tozunun Hazırlanması ---- 30
3.5.2. Bakır Sülfat Çözeltisinin Hazırlanması ---- 30
3.5.3. CuO Defne Yaprağı Ekstratının Hazırlanması ---- 31
3.6. İş Parçasının Kaplanması ---- 33

3.6. Karakterizasyon Çalışmaları ---------- 34
3.6.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü ---------- 35
3.6.2. Antibakteriyel Aktivite Çalışması ---------- 36
3.6.3. SEM Analizi ---------- 37
**4. BULGULAR ---------- 38**
4.1. Sertlik Ölçümü ---------- 38
4.2. Zetasizer Ölçümü ---------- 39
4.3. Yüzey pürüzlülük ölçümü ---------- 41
4.4. Antibakteriyel Aktivite Çalışması ---------- 42
4.5. SEM Analizi ---------- 44
**5. SONUÇLAR ---------- 47**
5.1. Genel Sonuçlar ---------- 47
5.2. Öneriler ---------- 48
**5. KAYNAKÇA ---------- 49**

# Sembol ve Kısaltma Listesi

| | | |
|---|---|---|
| **Ag** | **:** | Gümüş |
| **$AL_2O_3$** | **:** | Alümina zirkonya |
| **Cr** | **:** | Krom |
| **CNF** | **:** | Nanofibril selüloz |
| **Co** | **:** | Kobalt |
| **CVD** | **:** | Chemical vapor deposition |
| **Fe** | **:** | Demir |
| **HCA** | **:** | Hidroksi karbona apatit |
| **PVD** | **:** | Physial vapor deposition |
| **MHA** | **:** | Mueller-Hinton agar |
| **Mn** | **:** | Manganez |
| **N** | **:** | Azot |
| **Ni** | **:** | Nikel |
| **SEM** | **:** | Taramalı Elektron Mikroskobu |
| **Ti** | **:** | Titanyum |
| **$ZrO_2$** | **:** | Zirkonyum dioksit |
| **ZnONPs** | **:** | Çinko oksit nanopartikülleri |

# Şekil ve Grafik Listesi

**Şekil 2. 1:** Biyomalzeme türleri [19] ..... 5
**Şekil 2. 2:** Kimyasal buhar çöktürme (CVD) yöntemi [60]..... 17
**Şekil 2. 3:** Fiziksel buhar biriktirmesi yöntemi..... 18
**Şekil 2. 4:** Sol-jel yöntemi ..... 19
**Şekil 2. 5:** Damlatarak kaplama yöntemi..... 20
**Şekil 2. 6:** Defne Yaprağı ..... 23
**Şekil 3. 1:** Malzemenin tornalama işlemleri aşamasında kullanılan CNC tezgahı ..... 27
**Şekil 3. 2:** 316L malzemesinin CNC işleminden sonraki hali..... 27
**Şekil 3. 3:** Isıl işlem uygulama aşamaları ..... 28
**Şekil 3. 4:** Isıl işlem uygulamasında kullanılan vakum fırını ..... 28
**Şekil 3. 5:** Sertlik ölçümü için kullanılan cihaz..... 29
**Şekil 3. 6:** Öğütülmüş defne yaprağı ..... 30
**Şekil 3. 7:** Bakır Sülfat çözeltisi ..... 30
**Şekil 3. 8:** Su banyosundaki bakır sülfat çözeltisine büret ile defne ekstratı eklenmesi .... 31
**Şekil 3. 9:** Nanopartiküllerine ayrılması için etüve bırakılan özütler..... 32
**Şekil 3. 10:** Nüve NF800 santrifüj cihazı ..... 32
**Şekil 3. 11:** Zetasizer cihazı..... 32
**Şekil 3. 12:** İş parçasının kaplama aşamaları..... 33
**Şekil 3. 13:** Mtops Ms300 Hs ısıtıcılı manteyik karıştırıcı..... 34
**Şekil 3. 14:** Alp Cl serisi dik tip otoklav cihazı..... 34
**Şekil 3. 15:** Yüzey pürüzlülük ölçümü ..... 35
**Şekil 3. 16:** WiseCube etüv cihazı..... 37
**Şekil 3. 17:** SEM analiz cihazı..... 37
**Şekil 4. 1:** Sertlik ölçüm ortalamaları……..39
**Şekil 4. 2:** ZetaSizer Raw Correlation Data Grafiği ..... 40
**Şekil 4. 3:** ZetaSizer Intensity Grafiği ..... 40
**Şekil 4. 4:** Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri..... 41
**Şekil 4. 5:** Yüzey pürüzlülük sertifikası..... 42
**Şekil 4. 6:** (a) Kontrol tek kaplamalı, (b) Kontrol çift kaplamalı, (c) Yağ tek kaplamalı, (d) Yağ çift kat kaplamalı, (e) Hava tek kat kaplamalı, (f) Hava çift kat kaplamalı, (g) Su tek kaplamalı, (h) Su çift kaplamalı 24. saatte antibakteriyel aktivite çalışması sonuçları ..... 43
**Şekil 4. 7:** Farklı büyütmelerde defne yaprağı Cu nanopartikülleri SEM görüntüsü ..... 44
**Şekil 4. 8:** Tek kat kaplamalı Cu SEM görüntüsü ..... 45
**Şekil 4. 9:** Çift kat kaplamalı Cu SEM görüntüsü ..... 45

# Tablolar Listesi

**Tablo 2. 1:** Malzeme ve doku cevapları ..... 7
**Tablo 2. 2:** Biyomedikal uygulamalar için kullanılan polimerler ..... 8
**Tablo 2. 3:** Metalik biyomalzemelere ait yoğunluk değerleri ..... 10
**Tablo 2. 4:** Ti esaslı metalik biyomalzemelerin, mekanik özellikleri ve klinik uygulamaları 12
**Tablo 2. 5:** Biyomedikal cihazlarda kullanılan bazı paslanmaz çelik türleri ..... 14
**Tablo 3. 1:** Çalışmada kullanılan 316L paslanmaz çelik malzemesinin bileşimi (% şeklinde)……26
**Tablo 3. 2:** Isıl işlemin uygulama detayları ..... 29
**Tablo 3. 3:** Yüzey pürüzlülük ölçümünde tercih edilen cihazın özellikleri ..... 35
**Tablo 4. 1:** Sertlik ortalaması değerleri…….38
**Tablo 4. 2:** ZetaSizer Intensity Tablosu ..... ……40
**Tablo 4. 3:** Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ..... 41

# Özet

**Firdevs DURANLI**

## Isıl İşlem Görmüş 316L Çelik Malzemenin Bakır Nanopartiküller İle Kaplanması ve Karakterizasyonu

**İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sezen CANIM ATEŞ**

**Eylül 2023, 66 sayfa**

Paslanmaz çelikler birçok farklı sektörde tercih edilmektedir. Bu sektörler içerisinde en yaygın kullanım alanına sahip olanlardan biri de medikal sektördür. Medikal alanlarda tercih edilecek olan paslanmaz çeliklere; çalışılacak ortama uyumlu hale getirilebilmeleri, dayanıklılıklarının arttırılması ya da yüzey özelliklerinin değiştirilmesi için çeşitli işlemler uygulanabilir. Bu işlemlerden biri kaplama işlemidir kaplama işlemi ile materyallerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında 316L paslanmaz çeliğin özelliklerinin değiştirilmesi ve geliştirilmesi için ısıl işlem ve damlatma ile kaplama yöntemi tercih edilmiştir. Yeşil sentez yöntemi kullanılarak Cu nanopartikülleri elde edilmiş ve elde edilen nanopartiküller farklı soğutmalar uygulanarak ısıl işlemleri gerçekleşmiş olan 316L paslanmaz çelik numuneleri üzerine damlatarak kaplama yöntemi uygulanmıştır. Kaplama işleminin ardından hazırlanan numunelere yüzey pürüzlülüğü, SEM analizi, antibakteriyel aktivite çalışması uygulanmıştır.

Numuneler üzerinde yüzey pürüzlülük analizi yapılmış olup bu analizin sonucunda tek kaplamalı numunenin yüzey pürüzlülük oranının çift kaplamalı ve kaplamasız numunelere kıyasla daha düşük olduğu söylenebilmektedir. SEM mikrograflarına bakıldığında damlatarak kaplama yöntemi ile çift kaplama yapılan numunelerdeki çatlakların derin ve çok sayıda olduğu gözlemlenirken tek kaplamalı numunelerde ise çatlakların daha az sayıda ve derinliklerinin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Antibakteriyel aktivite çalışmasında ise ısıl işlem aşamasında çeşitli soğutma işlemlerinden geçirilen numunelerin hiçbirinde antibakteriyel özellik görülmediği ve bakteri aktivasyonun yüksek olduğu saptanmıştır.

***Anahtar Kelimeler:*** *Cu, defne yaprağı, yeşil sentez, yüzey kaplama, antibakteriyel.*

# Abstract

## Coating and Characterization of Heat-Treated 316L Steel Material with Copper Nanoparticles



**Firdevs DURANLI**

**Istanbul Yeni Yuzyil University, Science and Engineering Institute**

**Master Thesis, Biomedical Engineering Department**

**Supervisor: Doç. Sezen CANIM ATEŞ**



**September 2023, 66 Pages**



Stainless steels are preferred in many different sectors. Among these sectors, one of the most widely used is the medical sector. Stainless steels, which will be preferred in medical fields; Various processes can be applied to make them compatible with the environment in which they will be worked, to increase their durability or to change their surface properties. One of these processes is the coating process. The aim of the coating process is to develop and improve the surface properties of the materials.

In this thesis study, heat treatment and drip coating method were preferred to change and improve the properties of 316L stainless steel. Cu nanoparticles were obtained using the green synthesis method and the drop coating method was applied to the obtained nanoparticles on 316L stainless steel samples, which were heat treated by applying different cooling. Surface roughness, SEM analysis and antibacterial activity studies were applied to the samples prepared after the coating process.

Surface roughness analysis was performed on the samples, and as a result of this analysis, it can be said that the surface roughness rate of the single-coated sample is lower compared to the double-coated and uncoated samples. When looking at the SEM micrographs, it was observed that the cracks in the samples double-coated by the drop coating method were deep and numerous, while in the single-coated samples, the cracks were fewer and their depth was less. In the antibacterial activity study, it was determined that none of the samples subjected to various cooling processes during the heat treatment stage had antibacterial properties and bacterial activation was high.



***Keywords:*** *Cu, leave of Daphne, green synthesis, surface coating, antibacterial.*

# 1. GİRİŞ

Biyomalzemeler, vücutta görevini yerine getiremeyen doku, organ veya uzuvlara destek sağlayarak doku, organ ve uzuvların işlevlerini yerine getirmeleri için kullanılan medikal ürünlerdir. Teknolojinin ilerlemesi ile bilim insanlarının en çok üzerinde çalıştıkları konulardan biri de bu malzemelerin geliştirilmesidir. Hayat standartlarının artması ve gereksinim duyulan ürünlerin elde edilmesinde teknolojinin önemli bir yeri vardır [1].Teknolojinin gelişmesi ile medikal sektörde çeşitli kullanım alanı olan implantlar, biyomateryaller gibi birçok ürün de gelişim göstermiştir. Dünya nüfusundaki artış ile bu teknolojilere olan ihtiyaç daha da artmıştır. Biyomalzeme çeşitleri oldukça büyük bir yelpazeye sahiptir. Bu çeşitlilikte metalik biyomalzemeler kırılma toklukları ve mekanik dayanımlarının yüksek olması nedeniyle yük etkisinde olan uygulama alanlarında daha sık tercih edilmektedir [2,3]. Metalik biyomalzemelerin üretiminde en sık kullanılan ürünler paslanmaz çelik, Ti alaşımları ve Co alaşımlarıdır. Biyomedikal alanında tercih edilen tek paslanmaz çelik ise 316L paslanmaz çeliktir [4]. Sadece biyomedikal alanında değil endüstri alanında da oldukça fazla kullanım alanına sahip olan paslanmaz çeliğin birçok avantajı vardır. Bunlar çeşitli sıcaklıklarda kullanılabilmeleri, kolay şekil verilebilmeleri, yüksek korozyon dayanımı paslanmaz çeliklerin kullanımındaki avantajlar içerisindedir. Diğer biyomateryallere kıyasla maliyeti yüksektir. Buna rağmen geri dönüştürülebilir olması, ömürlerinin uzun olması gibi sebeplerden dolayı sıkça tercih edilir. Paslanmaz çeliklerde kendi aralarında beş grupta incelenir. Bunlar; Östenitik, Ferritik, Çift fazlı (Dubleks), Martensitik, ve Çökelmeyle sertleştirilmiş paslanmaz çelikler şeklindedir [5]. Bu beş grup içerisinde en sık kullanılan ise östenitik paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyona karşı direnci oldukça yüksektir ve kolay şekillendirilme özelliğine sahiptir [6,7]. Korozyon dirençlerinin yüksek olmasına rağmen materyallerin korozyona karşı davranışlarını değiştirmek amacıyla ısıl işlem uygulanabilir. Materyallere yeni özellikler kazandırılması veya kendi özelliklerinin değiştirilerek kullanım alanlarında avantaj sağlaması amacıyla ısıl işlem oldukça önemlidir.

Isıl işlem adı verilen işlem katı bir yapıya sahip materyalin ısıtma ve soğutma işlemleri yapılarak özelliklerinin değiştirilmesidir. Bu işlem kontrollü yapılması gereken bir işlemdir. İşlemde ısıtma ve soğutma işlemleri yapılan materyalin atomik yapısı bu işlemler ile hareket kazanır atomların arasındaki bu hareketlilik ile bir yayılım meydana gelir. Bu işlem ile materyale direncini arttırma, dayanım yüksekliği, sertliğini arttırma gibi özellikler

kazandırılmış olur. Bu materyallerin üretilmesinin yanı sıra kullanım alanlarında fayda sağlayabilmesi için ihtiyaç duyulan yüzey özelliklerinin de bu materyallere sağlanması gerekir. Bu işlem ise yüzey kaplama olarak adlandırılır. Yüzey kaplama işlemlerinde kaplama yapılacak olan malzemeler fiziksel ya da kimyasal yollarla elde edilen nano ya da mikropartiküller olabileceği gibi yeşil sentez yöntemi kullanılarak elde edilen nano ya da mikropartiküllerde olabilir. Yeşil sentez yöntemi diğer yöntemlere kıyasla çok daha avantajlıdır. Maliyet düşüktür, daha düşük enerji kullanılır, doğa dostudur, çevreye zararsızdır. Bunun gibi avantajlara sahiptir ve kaplamalarda sıklıkla tercih edilir. Metal materyaller yüzey kaplama yöntemlerine göre yedi gruba ayrılır. Bunlar kimyasal buhar çöktürme (CVD), fiziksel buhar biriktirmesi (PVD), sol jel yöntemi, döndürerek kaplama, daldırarak kaplama, püskürterek kaplama ve damlatarak kaplama şeklindedir. Damlatılarak kaplama yöntemine bakılacak olursa dört aşamadan meydana gelir bunlar ise temizleme, damlatma, kurutma ve filmin oluşması şeklindedir. Düşük maliyetli bir kaplama yöntemidir bu da avantajlarından biridir. Bunun gibi çeşitli alanlarda kullanılacak olan ürünlerin istenilen özelliklere sahip olması için çeşitli işlemler gerekebilir. Bu çalışmada 316L paslanmaz çelik numunelerine ısıl işlem uygulanıp hava, yağ ve su gibi farklı soğutma ortamlarında soğutulmuştur. Doğa dostu olan yeşil sentez yöntemi ile defne yaprağından Cu nanopartikülleri elde edilmiş olup damlatma kaplama yöntemi kullanılarak 316L çelik numuneleri kaplanmıştır. Kaplanan numunelerin, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, sertlik ölçümü, SEM analizi ve antibakeriyel tesleri yapılmıştır. Mevcut sonuçlar literatür ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

# 2. GENEL BİLGİLER

## 2.1. Biyomalzemeler

Biyomalzemeler, doku ya da organ fonksiyonlarının tedavisinde, geliştirilmesinde ve yerine kullanılmasında tercih edilen biyolojik sistemler ile etkileşime giren malzemelerdir. Doku ya da organların tedavisinde ya da bu doku ve organları desteklemek amacıyla kullanılan biyomalzemeler, sürekli ya da belirli zaman aralıklarında vücutta bulunan vücut sıvıları ile temasta bulunurlar. Bu biyomalzemeler, tıp alanında aktif olarak kullanıldıkları gibi biyoteknoloji alanında da kullanılmaktadırlar [8]. Biyomalzemelerin kullanımı oldukça eskilere dayanır. Bunlara örnek verilecek olunursa 1880 senesinde fildişi protezler kullanılmıştır ve Mısır mumyalarında görülen yapay göz, burun ve dişlere rastlanılmıştır. Diş hekimliği bölümünde altının kullanımı ise, 2000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Milattan önceye kadar dayanan bir diğer örnek ise bronz ve bakır kemik protezleridir [9,10].

Günümüzde, yaşlı nüfusundaki artış, yaşam standartlarındaki değişiklikler gibi farklı faktörler sebebiyle biyomalzemelere olan talepte yoğunluklar olmuştur. Bu talep artışı ile uygulamalar sonucunda dejenerasyon, alerji ve enfeksiyon gibi birtakım sorunları da birlikte getirmiştir. Bu sebeple, biyomalzemelerin değerlendirilmesi ve seçimi son derece önemlidir [11]. Biyomalzemelerde olması gereken bazı temel özellikler mevcuttur. Bunlar mekanik dayanım (çekme, basma, eğme, yorulma), kimyasal dayanım ve biyouyumluluk, biyoinertlik, biyoaktiflik gibi özelliklerdir [12]. Biyomalzemeler kendi aralarında sınıflara ayrılır.

## 2.2. Biyomalzemelerin Özellikleri

Biyomalzemeler canlı dokular üzerinde kullanıldığından dolayı doku ile biyomalzemenin uyum içerisinde olması için gerekli olan bazı özellikler vardır. Özellikle metal biyomalzemelerden beklenen bazı temel özellikler şu şekildedir [13].

- Statik dayanımı, yorulma dayancı ve aşınma direnci uygulama için yeterli olmalıdır.
- Alerjik herhangi bir duruma neden olmamalı, toksik bileşen oluşturmamalı, steril olmalı ve kanserojen madde bulundurmamalıdır.
- Fizyolojik ortamda korozif olmamalıdır.
- Uygulandığı alan içerisinde dokuyla, kemikle veya vücut sıvılarıyla reaksiyona girmemelidir.
- Görüntülenebilmelidir.
- Uzun ömürlü olmalı, uzun süre performansını korumalıdır.
- Seri üretime elverişli olmalıdır.

**Biyouyumluluk**

Biyomalzemenin uygulanacak olan vücut ya da dokunun biyomalzemeyi kabul etme özelliğine o malzemenin biyouyumluluğu denmektedir. Uygulanacak olan biyomalzemenin uygulanacak olan doku ve organlara istenilen tepkiyi verebilme yeteneğidir [14]. Biyouyumluluk iki türde meydana gelir bunlar yüzeysel ve yapısal biyouyumluluk şeklindedir. Yapısal biyouyumluluk, uygulanan doku ve organlarına, mekaniksel davranışına uyumudur; yüzeysel biyouyumluluk ise fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan uygulanan dokuya olan uygunluğudur [15].

**Aşınma direnci**

Aşınma, iki farklı malzemenin birbirleri ile fiziksel etkileşimi ile sürtünme meydana gelmesi sonucu bu malzemelerin yüzeylerinden küçük parçacıkların yüzeyden kopmasıdır. Tüm biyomalzemelerde gözlemlenebilen olası bir durumdur. Aşınma direnci yüzeyler arasında farklılık gösterebilir ve aşınma direnci ne kadar yüksek olduğu o biyomalzemenin uzun ömürlü olduğu anlamına gelmektedir [15].

**Toksik bileşen oluşturmama**

Toksik canlı organizmalarda gözlemlenen zehir anlamına gelmektedir. Doku, organ ya da vücut sıvıları ile temas etmesi sonucu toksik bileşen oluşturma etkisi mevcuttur. Kullanılan biyomalzemelerin toksik bileşen oluşturmaması biyouyumluluğu ve biyofonksiyonelliği arttırması için önemli bir durumdur. Malzemelerin toksik bileşen meydana getirip getirmemesi toksik bileşene maruz kalma şekli, maruz kalma süresi, fiziksel formu, bireyin yapısı, sağlık durumu gibi faktörlere bağlı değişkenlik göstermektedir [16].

**Biyoaktivite**

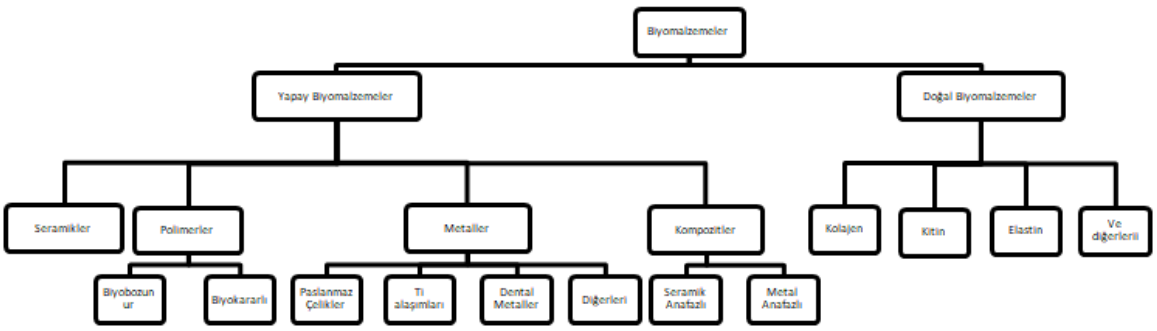
Biyoaktiviteye biyolojik aktivasyon da denmektedir. Biyolojik aktivasyon, malzemenin biyolojik alan ile teması esnasında malzeme ile biyolojik alan arasında gerçekleşen bağ oluşumudur. Biyoaktivitesi yüksek olan biyoseramikler insan vücudu içerisinde bulunmakta olan kollajen doku lifleri ile aktivasyona girerek hidroksi karbona apatit (HCA) meydana getirirler. Doku, organ veya vücut ile biyomalzemenin ara yüzeyinde meydana gelen tabaka, bağlanmanın gerçekleştiğini göstermektedir [17].

**Mekanik özellikler**

Biyomalzemenin uygulanan dokuya ve uygulanacak bölgeye göre değişkenlik gösteren mekanik özellikleri mevcuttur. Bu mekanik özellikler işlenilebilirlik, sertlik , elastik modülü ve uzama miktarı, çekme ve basma mukavemetleri gibi özelliklerdir. Bu mekanik etkilerinden dolayı biyomalzemelerin hasara uğrayarak işlevini yerine getirememesi, bu malzemenin biyomekanik olarak uygunsuz olduğunu ifade etmektedir [15].

## 2.3. Biyomalzeme Çeşitleri

Biyomalzemeler, vücuttaki doku ya da organların işlevini arttıracak nitelikte ya da yerine kullanılabilecek düzeyde olmalıdır. Aynı zamanda vücut sıvıları ile temas halinde komplikasyon oluşturmayacak özelliklerde olması gerektiğinden dolayı kullanılacak doku ya da organ öncesinde iyice incelenmeli ve bölgeye uygun özelliklerdeki biyomalzemeler tercih edilmelidir. Tercih edilebilecek biyomalzemeler arasında metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler yer almaktadır [18]. Şekil 2.1.'de biyomalzemelerin sınıflandırılması gösterilmektedir.




**Şekil 2. 1:** Biyomalzeme türleri [19]

### 2.3.1. Biyoseramikler

Seramiklerin ilk keşfi yıllar öncesine dayanmaktadır. Bu serüven ateşin keşfi ile başlamıştır. Ardından, topluluklardaki göçebe avcılıktan yerleşik tarımsal yaşama geçişteki en büyük faktörlerden biri de kilden çanak çömlek elde edilmesidir. Seramiklerin insanların hayatlarında meydana getirdiği diğer büyük gelişme ise vücudun zarar gören veya işlevini yitiren organlarının geliştirilmesinde, yeniden yapılandırılması veya yerini almasında özel tasarımlı seramiklerin geliştirilmesi ve kullanımıdır. Bu gibi amaçlarla kullanılmış ya da kullanılmakta olan seramiklere "biyoseramikler" denir. İnorganik malzemelerin önemli bir bölümünde yer almaktadır. Sağlık sektöründe çok çeşitli kullanımları mevcuttur [20]. Biyoseramikler, biyoinert seramikler (alumina, zirkonya, kalsiyum sülfat, pyrolitik karbon) ve biyoaktif seramikler (β-trikalsiyum fosfat, silika bazlı ya da kalsiyum bazlı biyocamlar) olarak iki grupta incelenir. Biyoinert seramiklerde yer alan alümina ($Al_2O_3$), toksik özellik göstermemesiyle birlikte aynı zamanda yüksek kimyasal kararlılığa da sahiptir [20]. Sürtünme katsayısındaki düşüşte aşınmada azalma sağlar bu durumda kalça replasmanında kullanımına elveriş sağlar ve kullanımını yaygınlaştırır. Zirkonya ($ZrO_2$), alüminadan daha dayanıklı, daha yoğun ve aynı zamanda daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesinde elverişlidir. Zirkonya, total kalça implantlarındaki yüzeylerde kullanılmasıyla birlikte kemik çimentosunun bazı formülasyonlarında toz halinde de kullanılmaktadır. Alüminadan farklı olarak seramik-seramik eklemlemelerde zirkonya tercih edilmemelidir [21]. Biyoaktif seramikler canlı doku ile birleşme gösteren özelliğe sahiptirler. İdeal bir biyoseramiğin en önemli özellikleri kemiğin yeniden şekillenmesi, implant içine büyüme ve entegrasyonunu teşvik etmesidir. Biyoaktif biyoseramikler iki genel kategoriye ayrılır bunlar kalsiyum esaslı seramikler (kalsiyum fosfat, kalsiyum sülfat ve hidroksiapatit gibi) ve biyocamlardır [21]. Kemik yapısına benzerliği ile en popüler olan Hidroksiapatit'tir. Biyoaktif camların imal edilmesinde, silika, alüminyum, magnezyum, kalsiyum oksit, sodyum oksit ve fosfor oksidin karışımları kullanılmaktadır. Biyoaktif camlar iki çeşittir. Biri silikat camlar, diğeri kalsiyum fosfat bazlı camlardır. Biyoaktif camların avantajları, kemik ile arasında kuvvetli bir kimyasal bağ oluşturması ve mukavemetli olmasıdır [22]. Sağlık sektöründeki kullanım alanları arasında gözlük camları, teşhis cihazları, termometreler, doku kültür kapları ve endoskopide kullanılan fiber optikler de örnek verilebilir. Ayrıca dişçilikte dolgu malzemesi şeklinde de yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Dişçilikte doku malzemesi olarak kullanılan seramiklere "diş seramikleri" ismi verilmektedir. İnsanlarda yaş ilerledikçe biyoseramiklere olan ihtiyaç artış göstermektedir. Bunun nedeni ise kemik yoğunluğu ve dayanımının azalması ve bununla birlikte osteoblastların kemik üretiminde ve kemikte meydana gelen mikro düzeydeki

çatlakların kapatılmasındaki üretkenliğinin azalmasıdır. Biyoseramiklerin dezavantajları ise bazı klinik uygulamalardaki yavaş ilerleyen çatlaklar, düşük mekanik dayanımı, kırılgan yapıya sahip olmaları ve işlenmelerinin zor olmasıdır [23]. Çoğunlukla bütün biyomedikal alanındaki uygulamalarda uygun bir malzeme bulunabilir. İmplant-doku arasındaki dokunun vermiş olduğu cevap doku bağlanması mekanizması olarak ifade edilir. İmplant türlerinde kullanılan seramikler ile bunlara verilen doku cevapları Tablo 2.1'de yer almaktadır.

**Tablo 2. 1:** Malzeme ve doku cevapları

| **İmplant Türü** | **Doku Cevabı** |
|---|---|
| Gözeneksiz yoğun ve inert seramikler | Çok ince fibröz doku oluşumu (morfolojik sabitleme) |
| Gözenekli inert seramikler | Gözenek içerisinde doku büyümesi (biyolojik sabitleme) |
| HA ile kaplanmış metaller, biyoaktif seramikler | Doku implant ara yüzey bağlanması (biyoaktif sabitleme) |
| Resorbe edilebilir seramikler | Emilme |

### 2.3.2. Biyopolimerler

Polimerler, monomer yapıların bir araya gelmesiyle oluşan büyük moleküllü kimyasal yapılardır. Sağlık sektöründe çeşitli kullanım alanlarına sahiptir bu sebeple de önemli bir malzemedir. Polimerler farklı şekillerde sınıflandırılırlar bunların içerisinde molekül ve monomer yapıları, imal edildikleri tepkime türü ve fiziksel özellikleri yer almaktadır. Sağlık sektöründe biyomalzeme olarak kullanılan biyopolimerler, meydana getirildikleri yapılara göre sentetik ve doğal polimerler olarak iki gruba ayrılır. Her canlının kendi organizmasında oluşturduğu yapılara, doğal polimerler ismi verilmektedir. Sentetik polimerler ise elastomerler ve plastikler şeklinde iki çeşittir. Kimyasal bozunmalara karşı elastomerlerler yüksek dayanıma sahiptirler. Yaygın olarak kullanılan elastomer türü ise stiren-bütadien kauçuğudur. Elastomer grubunda tercih edilen biyopolimerler, üzerindeki baskı kuvveti ortadan kaldırıldığında başlangıç haline geri dönerler. Bir diğer polimer çeşidi olan plastikler ise termosetler ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılırlar. Termosetler, tersinmez bozunuma sahiptirdir. Polimer sektöründe en popüler olan  ve aynı zamanda en çok tercih edilen termoset epoksi reçinedir. Termoplastikler, tersinir bozunur özelliğe sahiptirler. Tekrar şekil

verilip tekrar kullanılabilen plastik çeşitidir. Biyomalzeme olarak kullanılan poliolefinler, termoplastikler, teflon (florlu hidrokarbon), polimetil metakrilat, polivinil klorür ve polikarbonat termoplastik ürünlerdir [24]. Biyopolimerlerin kullanım alanlarına kalça ve bilek protezleri, damar ve işitme protezleri, sert doku protezleri, göz lensleri, yapay kalp, diyaliz cihazı ve parçaları, ameliyat ipi, şırınga ve kan torbaları örnek verilebilmektedir [25,26]. Tablo 2.2'de biyomedikal uygulama alanlarında tercih edilen polimerler yer almaktadır.

**Tablo 2. 2:** Biyomedikal uygulamalar için kullanılan polimerler

| **Uygulama** | **Polimer** |
|---|---|
| Ortopedik İmplantlar | Çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen |
| Parmak Eklemleri | Silikon |
| Dikişler | Polilaktik ve poliglikolik asit |
| Trakea Tüpleri | Silikon, akrilik, naylon |
| Kalp Pili | Asetal, polietilen, poliüretan, polyester |
| Kan Damarları | Politetrafloretilen, PVC |
| Gastrointestinal Segmanlar | Naylon, PVC, silikonlar |
| Yüz Protezleri | Polidimetilsiloksan, poliüretan, PVC |
| Kemik Çimentosu | Polimetilmetakrilat |

### 2.3.3. Biyokompozitler

Kompozitler çok fazlı malzemelerdir. Tek başına kullanıldıklarında meydana gelmeyecek özelliklerin elde edilebilmesi için farklı bileşendeki malzemelerin yapay yollarla kombinasyonu ile elde edilir [28]. Farklı bileşendeki bu malzemeler farklı kimyasal özelliklere sahip malzemelerdir ve en az iki malzemenin kombinasyonu olmalıdır. Ortaya çıkan kompozit malzeme üstün mekanik özelliklere sahip biyomalzemedir. Bundan dolayı da diğer biyomalzemeler ile karşılaştırıldıklarında daha fazla avantaja sahiptir. Bir kompozit malzeme eğer hem metalik hemde seramik özellikler gösteriyorsa metalik tokluk ve termal özelliklere sahip olabilir. Bu malzemelerde en önemli iki etkene bakılacak olursa bunlar; kompozit yapıyı meydana getiren her iki bileşeninde biyouyumluluk özelliğine sahip olması ve canlı dokusu ile uyumlu yapıya sahip olması şeklindedir. Kullanım alanlarında ise diş

dolgu kompozitler, kemik çimentoları, gözenekli yapıdaki ortopedik implantlar yer almaktadır [29].

### 2.3.4. Biyometaller

Biyomalzemeler içerisinde yaygın olarak tercih edilen materyallerdir. Yaygın olarak tercih edilmelerinin en büyük nedenleri; dayanımlarının yüksek olması, kolay şekillendirilmeleri ve aşınma ve kırılmalara karşı dayanıklı olmalarıdır [30]. Metalik biyomalzemeler, üstün mekanik özelliklere sahip biyomalzemelerdir bunun nedenleri ise kristal kafes yapılarına sahip olmaları ve atomlararası sağlam metalik bağlarının olmasıdır. İlk alaşım 1938 yılında üretilmiş olan " Sherman- Vanadyum Çeliğidir" insan vücudunda kullanılmak üzere üretilmiştir. Plaka ve vida olarak kemik kırıklarında tercih edilmiştir. Fakat bu alaşım vücut içerisinde korozyona uğradığından dolayı sağlık açısından riskli durumlar yaratması sonucunda 1960 ' lardan sonra kullanılmamıştır [31]. Tokluk, yüksek mukavemet ve süneklik gibi fiziksel özellikleri sebebiyle biyouyumlu metal alaşımları eklem ve kemik implantlarında sıklıkla tercih edilmektedir. Mekanik özellikleri iyi olan ve korozyon dayanımı fazla olan metalik biyomalzemeler, kalça, diz, omurga implantları ile kırılan yapıların sabitlenmesi amacıyla kullanılan plaka, vida, çivi gibi araçların yapımında kullanılır [12].

Metalik biyomalzemelerin kullanım alanları çok geniş bir yelpazededir. Örneğin; ortopedik uygulamalarda eklem protezi olarak, çene ve yüz cerrahisinde, diş implantlarında, kalp kapakçıklarında, kateter malzemesi olarak, bel kemiği enstrümantasyonlarında, vida gibi metal parçalarda, vida pullarında, çivilerde, tellerinde, kalça kırıklarında kullanılan plaklarda, anatomik ve açılı plaklarda yaygın olarak tercih edilmektedir [31,32]. Metal protezlerin biyouyumlulukları çok önemlidir çünkü insan vücudu akışkan, çözünmüş oksijen, protein, klorür ve hidroksit gibi iyonlardan zengin bir ortamdır [33,34]. Bu ortam da metallerin bulundukları ortamda istenmeyen kimyasal reaksiyonlara girmeleri için uygundur. Bu kimyasal reaksiyonlara korozyon adı verilmektedir. Korozyon malzemelerin zayıflamasına neden olmaktadır, en önemlisi de korozyon ürünleri hücrelere zarar verebilirler. Bu yüzden *in-vivo* kullanılacak metal protezlerin, test edilmeleri gereklidir [35,36]. Tablo 2.3'de biyomalzeme türlerinden olan metalik biyomalzemelere ait yoğunluk değerleri bulunmaktadır.

**Tablo 2. 3:** Metalik biyomalzemelere ait yoğunluk değerleri

| Malzeme | Yoğunluk (gr/cm$^3$) |
|---|---|
| Ti ve Alaşımları | 4.5 |
| 316 Paslanmaz Çelik | 7.9 |
| CoCrMo | 8.3 |
| CoNiCrMo | 9.2 |
| NiTi | 6.7 |

## Kobalt ve Alaşımları

Kobalt-krom alaşımlarıdır. Temelde iki çeşit alaşımı mevcuttur bunlar kobalt-krom-molibden alaşımı ve kobalt-nikel-krom-molibden alaşımıdır. Kobalt-krom-molibden alaşımının kullanım alanlarında ise dişçilik ve yapay eklemlerin üretimi yer almaktadır. Dişçilik alanında uzun yıllardır tercih edilmektedir fakat yapay eklemlerin üretiminde son zamanlarda tercih edilmeye başlanmıştır. Bir diğer çeşidi olan kobalt-nikelkrom-molibden alaşımı ise daha yeni tercih edilen bir malzemedir. Diz ve kalça gibi fazla yük binen eklemlerde ve protezlerde tercih edilmektedir. Bu tür bileşimler temel olarak %65 kobalt ve geri kalanı kromdan meydana gelmektedir. Molibden eklenmesinin nedeni ise daha iyi tanecik yapısı elde edebilmektir. Yapısında kobalt bulunan alaşımların elastik modülü, paslanmaz çeliğinkine oranla daha yüksektir [23].

## Dental Amalgam

Amalgam adı verilen malzeme; bakır, gümüş, kalay ve çinkodan meydana gelen alaşımın civa ile karıştırılması sonucu meydana gelir. Sert ve dayanıklı bir yapıya sahiptir. Civa, oda sıcaklığında sıvı halde bulunur diğer metal malzemeler ile reaksiyona girmesinin sonucunda, plastik kütle şeklini alır. Bu özelliği diş dolgu maddesi olarak kullanılmasına imkan sağlar. Dezavantajlarında ise estetik olmaması ve civa içermesi yer almaktadır. Son zamanlarda amalgamın içerisinde bulunan civanın doğa ve çevre için zararlı bir atık olması göz önünde bulundurularak pek çok avrupa ülkesinde kullanımı oldukça büyük ölçüde kısıtlanmıştır. Ancak, diş dolgusunda kullanılan amalgamdaki civanın toksik etkisi kanıtlanmış değildir [23].

**Altın**

Altın ve alaşımları kararlılıklarının yüksek olması, korozyon dirençlerinin yüksek olması ve uzun kullanım ömürlerine sahip olmaları nedeniyle diş tedavilerinde oldukça yararlı metallerdir. Alaşımları, saf altına kıyasla daha iyi mekanik özelliklere sahiptir bu nedenle dökme işlemine tabi tutulurlar. Alaşımlarının içeriğinde %75 veya daha fazla altın bulunurken geri kalan kısmını soy metaller oluşturur. İçerisinde bulunan soy metallerden bakır ve platin dayanımı arttırma özelliği göstermektedir. Fakat bu metaller %4'ten fazla olacak şekilde alaşıma eklenirse, alaşımın erime sıcaklığını arttırır bu da alaşımın işlenmesini zorlaştırmaktadır. Alaşıma çinko ilave edilmesi erime sıcaklığını düşürmeye yardımcı olur. Eğer alaşım %83'ten fazla altın içeriyorsa daha yumuşak bir yapıya sahiptir ve fazla yük dayanıklı değildir daha çok dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir. Eğer alaşım daha az altın içeriyorsa daha sert bir yapıya sahiptir ve yüke karşı dayanıklılığı daha fazladır. Bu da kaplama malzemesi olarak kullanılmalarına olanak sağlar [23].

**Nikel-Titanyum Alaşımları**

Nikel-titanyum alaşımlarının en önemli özelliği deforme olduklarında ısı ile ilk şekillerine dönebilme özelliğine sahip olmalarıdır. Bu önemli özelliklerine "şekil hafıza etkisi" adı verilmektedir. Bu alaşımların şekil hafıza etkisi adı verilen özelliği ilk olarak Buehler ve arkadaşları tarafından gözlemlenmiştir [37]. Bu alaşımların kullanım alanlarında diş köprüleri, ortopedik protezlerin, yapay kalp için kaslar ve kafatası içerisindeki damar bağlantıları yer almaktadır [38].

**Titanyum ve Titanyum Alaşımları**

Titanyum ve titanyum alaşımları fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından üstün özelliklere sahiptir. 1930'lu yılların sonlarında biyomalzeme olarak tercih edilmiştir. 316L paslanmaz çelik ve kobalt alaşımlarına kıyasla daha hafif bir yapıya sahiptir. Oda sıcaklığındaki yapısı sıkı dizilmiş hekzagonal kafes yapısındadır. Korozyona karşı dirençli bir biyometaryeldir. Titanyum metaryelinin işlenmesi ve elde edilmesi oldukça zordur bu nedenle oldukça özel alanlarda kullanılmaktadır. Titanyum ve titanyum alaşımlarının kullanım alanlarında protez eklem, cerrahi splint, damar stentler ve bağlayıcıları, dental implant, kuron köprü ve parsiyel protezler yer almaktadır [23,39]. Tablo 2.4'te metalik biyomalzeme türlerinden olan titanyum ve titanyum alaşımları esaslı malzemelerin klinik uygulamaları ve mekanik özellikleri yer almaktadır.

**Tablo 2. 4:** Ti esaslı metalik biyomalzemelerin, mekanik özellikleri ve klinik uygulamaları

| **Alaşım Türü** | **Elastisite Modülü, GPa** | **Akma Dayanımı, MPa** | **Çekme Dayanımı, MPa** | **Uzama, %** | **Uygulama Alanı** |
|---|---|---|---|---|---|
| Ti | 102-110 | 170-480 | 240-550 | 15-24 | Dental implantlar, maksillofasiyel ve kraniyofasiyel implantlar |
| Ti6Al4V | 110 | 860 | 930 | 10-15 | Kalça ve diz için total eklem replasmanı artroplastisi |
| Ti6Al7Nb | 105 | 795 | 860 | 10 | Femoral kalça çubukları, kırık fiksasyonu plakaları, spinal bileşenler, tırnaklar, vidalar ve teller |
| Ti13Nb13Zr | 79-84 | 836-908 | 973-1037 | 10-16 | Ortopedik implantlar |

## 2.4. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. İlk olarak 1913 senesinde Harry Brearley tarafından tüfek namluları için çeşitli metallerin bir araya getirilmesi gibi deneylerin yapılması ile keşfedilmiştir. Paslanmaz çelikler; mekanik ve dayanım üstünlüklerinden, uygulanma kabiliyetlerinden ve biyouyumlu özellik gösterdiklerinden dolayı oldukça sık tercih edilmektedir. Uygulanma şekilleri ve uygulanma sektörleri oldukça çeşitlidir. Uygulama alanlarına örnek verilecek olursa sağlık sektörü, pişirme gereçleri, uzay araçları, mobilya gibi oldukça geniş bir yelpazedir [41]. "Çelik" ifadesine bakılacak olursa malzemenin demir temelli olduğunu yansıtırken, "paslanmaz" ifadesi ise sıradan çeliklerden daha özellikli üstün olduğunu ifade etmektedir. Bu üstün özellik ise çelikler için riskli ortamlarda lekelenme, paslanma veya aşınma olmamasıdır. Bu üstün özellik olan paslanmaz özelliği için çelik alaşımına krom elementi katılmalıdır. Paslanmaz çelik alaşımlarının ilk üretilenleri içerisinde en %10,5 krom mevcuttur. Yüzeylerinde ince ve yoğun şekilde kromoksit tabakası mevcuttur bu da çeliğin korozyona olan direncini arttırmakta ve dayanımını yükseltmekte aynı zamanda oksidasyonu önlemeyi sağlamaktadır. Aynı zamanda korozyona daha elverişli ortamlarda paslanmayı ve korozyonu önlemek için daha yüksek oranlarda Cr içerikleri ile birlikte karbon, nikel ve molibden de eklenmelidir. Bu sayede uzun

süre bozulmadan korunabilmektedir. Bununla birlikte paslanmaz çeliklerin bir diğer özellikleri ise yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerinin diğer çeliklere göre daha iyi performans göstermesidir. Diğer metaller ile karşılaştırıldığında ısıya olan dayanıklılıkları ve yüksek sıcaklıklar altındaki mukavemet ve sertlikleri daha iyidir [42,43]. Paslanmaz çelikler mikro yapılarına göre gruplara ayrılmıştır [41,44]. Bunlar;

- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Dubleks paslanmaz çelikler
- Çökeltmeyle setleştirilmiş paslanmaz çelikler
- Mn-N katkılandırılmış östenitik paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler

**Ferritik Paslanmaz Çelikler:** İlk geliştirilen paslanmaz çelik türlerindendir. Bu nedenle de endüstri alanında oldukça sık tercih edilirler. Manyetik özellik sergilerler bu özellik alaşım içerisinde bulunan karbon miktarına göre değişkenlik göstermektedir. Soğuk veya sıcak haddelenebilme özelliği vardır. Normal durumlarında tokluk değerleri, süneklik değerleri ve korozyon dirençleri maksimumdadır. Korozyona karşı dirençleri diğer martenzitik kromlu paslanmaz çeliklere göre daha yüksektir. Bu çelikler içerisinde pahalı ve önemli bir malzeme olan nikel içermezler [45].

**Martenzitik Paslanmaz Çelikler:** Yapılarında %11,5 oranından fazla krom bulunduran, yüksek sıcaklıklar altında östenitliği artan bir çelik türüdür. Bu çelikler ortalama 1000 C'de tamamen östenitik özellik göstermektedir.

**Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler:** Korozyon dirençleri düşüktür. Bu sebeple de endüstri de kullanıma elverişli değildir. Akma mukavemeti diğer paslanmaz çelik türlerine göre daha yüksektir. Fakat akma mukavemeti ve korozyona olan direncinin geliştirilmesi gerekmektedir [46].

**Çökelme Yolu İle Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler:** Bakır, niyobyum, molibden, alüminyum ve titanyum gibi alaşım elementleri bulunduran ve bu elementlerin birinin ya da birkaçının çökelme sertleşmesi gösterdiği paslanmaz çelik grubudur. Aynı zamanda yapılarında Fe-Cr-Ni bulunan bir paslanmaz çelik türüdür. Bu çelik türü kolay işlenebilme özelliğine sahiptir. Mekanik özelliklerinin istenilen özelliklere getirilmesi için ısıl işlem uygulamasına uygundur. [46,47].

## 2.5. Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanları

Çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olan paslanmaz çelikler özellikle ikinci dünya savaşının ardından gelişmekte olan endüstri ile birlikte boru hatlarında, enerji santrallerinde, taşıt üretiminde kullanımları artış göstermiştir [48]. Kimya sanayi alanında ise buhar kazanlarında, endüstriyel mutfak alanlarında, gıda üretim tesislerinde, nakil depolarında, mimari alanlarda dış cephe kaplamalarında kullanılmaktaydı [47]. Biyomedikal mühendisliği alanında ise biyomekanik ve biyouyumluluk özelliklerinin elverişli olması nedeniyle paslanmaz çelik, titanyum ve kobalt-krom-molibden alaşımı çokça tercih edilmekteydi [30, 49, 50]. Biyomedikal mühendisliği alanında kullanım alanı yelpazesi oldukça zengindir. Ortopedi, kardiyovasküler, diş hekimliği, cerrahi gibi alanlarda kullanılan implantların büyük bir kısmında paslanmaz çelik tercih edilmektedir. Paslanmaz çeliğin kemik implantı olarak kullanımı 1920 yıllarında klinik alanındaki kullanımı ile genişlemiştir [49]. Hem kalıcı implant olarak, hem de geçici implant olarak kullanım alanı bulmuştur ve yaygın olarak kullanılmaktadır [51]. Paslanmaz çelik sıklıkla tercih edilen diğer iki metal ile kıyaslandığında daha düşük maliyete sahiptir ve halen sıklıkla tercih edilmektedir [52]. Tablo 2.5'de çeşitli alanlarda kullanımı olan ekipmanların yapısındaki paslanmaz çelik çeşitleri verilmiştir.

**Tablo 2. 5:** Biyomedikal cihazlarda kullanılan bazı paslanmaz çelik türleri

| **Paslanmaz Çelik Türü** | **Cr İçeriğinde Değişiklikler (%)** | **Tıbbi Uygulamaları** |
|---|---|---|
| Martensitik paslanmaz çelik | 10,5-18 | Diş frezleri, mine keskileri, ortodontik penseler ve neşterler |
| Ferritik paslanmaz çelik | 11-30 | Kılavuz pimleri, bağlantı elemanları |
| Östenitik paslanmaz çelik | 16-26 | Kalça implantları, diz implantları, kılavuz pimleri |

## 2.6. Paslanmaz Çeliklerin Avantajları

Paslanmaz çelikler sıklıkla tercih edilmekte olan biyomalzeme türüdür. Tercih edilmelerindeki en büyük nedenler ise şu şekildedir. Kolay imal edilir, mekanik dayanıklılığı yüksektir, yüksek ve düşük sıcaklıklar gibi çeşitli sıcaklıklarda dayanımları yüksektir, korozyona karşı dayanıklıkları yüksektir, kullanım süreleri yüksektir, hijyen özellikleri ve yüzey görünümleri elverişlidir.

**Paslanmaz Çeliklerin Üretim Kolaylığı:** Neredeyse tamamı kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme, kesme ve talaşlı imalat işlemleri ile rahatça şekil alabilmektedir.

**Mekanik Dayanıklılık:** Paslanmaz çeliklerin bazı çeşitlerinde ısıl işlemler ile yüksek dayanım özelliği kazandırmak mümkündür.

**Yüksek ve Düşük Sıcaklıklara Dayanım:** Paslanmaz çeliklerin bazı çeşitlerinde çok yüksek sıcaklıklarda bile malzemenin mekanik dayanım yeteneğinde herhangi bir düşüş meydana gelmez ve herhangi bir gevrekleşme görülmez.

**Korozyon Karşı Dayanıklık:** Paslanmaz çeliklerin hepsinde korozyona karşı yüksek dayanım yeteneği görülmektedir. Düşük alaşımlı paslanmaz çelik türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı paslanmaz çelik türleri ise asit içeren ortamlara dahi dayanıklılık göstermektedir. Paslanmaz çeliklerin aynı zamanda yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanımı mümkündür.

**Yüzey Görünümü:** Paslanmaz çelikler oldukça çeşitli yüzey kalitelerinde üretilebilmektedir. Yüzeylerin görünümü, kalitesi, bakımı kolay olduğundan uzun süre korunabilir yapıdadır.

**Hijyen:** Kolay temizlenebilir bir özelliktedir. Bu özelliği ile hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayisinde kullanımına imkan verir [54].

**Kullanılabilme Süresi:** Sık tercih edilmesine imkan sağlayan bu avantajlı özellikler göz önüne alındığında ve kullanım süresi dikkate alındığında oldukça ekonomik malzemelerdir [54].

## 2.7. 316L Paslanmaz Çelik

316 kalite östenitik paslanmaz çelik grubunda bulunan 316L, özellik olarak metal özelliklerini bulundurmaktadır. Fakat bu özelliklere ek olarak da taneler arası korozyon dayanımı ve gerilmeli korozyon çatlağına dayanımı oldukça yüksektir. Bunlarla birlikte kombinasyon sağlama yeteneği ve mekanik özellikleri oldukça üstündür. Paslanmaz çelik ailesinde yer alan 316L biyouygulamalarda yaygın şekilde kullanılmaktadır [45]. 1950 yıllarında üretilmiştir, 316 paslanmaz çeliğin karbon miktarının % 0,08'den maksimum % 0,03'e azaltılması ile üretilmiştir. Bu şekilde korozyona olan direnci arttırılmıştır [55]. 316L ifadesindeki “L” ingilizceki düşük anlamındaki “low” kelimesinden gelmektedir [56]. Düşük karbonu ifade etmektedir bu düşük karbon yüzeyde krom-karbür çökelmesinin meydana gelmesini düşük kılar bu sayede de korozyon direnci yükselmiş olur.

## 2.8. Yüzey Kaplama

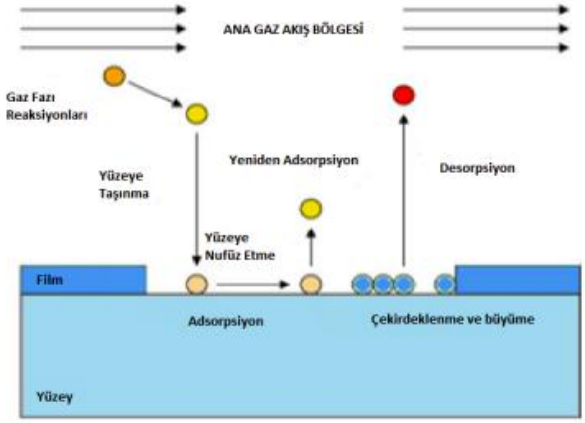
Yüzey kaplama çeşitleri iki gruba ayrılır. Bunlar metal kaplamalar ve metal olmayanlar kaplamalar şeklindedir.

### 2.8.1. Metal kaplamalar

Metal kaplamaların birkaç farklı uygulama yöntemi mevcuttur. Bunlar sıcak daldırma, mekanik kaplama difüzyon ve elektrokaplama şeklindedir. Korozyon direnci yüksek olduğundan dolayı yaygın olarak kullanılan kaplama türlerinden biri de çinko veya alüminyum kaplamalardır. Bir diğer yaygın kullanılan kaplama yöntemi sıvı metal daldırma yöntemidir bu yöntem çeliğin kurşun, alüminyum, çinko, kalay veya kadmiyum ile kaplanması yöntemidir. Korozyon direnci yüksek olduğundan dolayı atmosfere doğrudan maruz kalan ortamlarda tercih edilen kaplama malzemesi çinkodur. Örneğin; çatı malzemeleri, tel ve kablolar, levhalar ve boruların kaplamasında çinko tercih edilmektedir. Bazı durumlarda kadmiyum 18 kaplama kullanıldığında görülmektedir fakat kadmiyum 18 korozyona karşı çinko kadar iyi sonuç vermez. Krom kaplama yöntemi ise genellikle makine parçalarında, sıhhi tesisat aletlerinde, otomotiv parçalarında tercih edilen korozyon ve aşınma direncini arttırarak görünümülerini değiştiren bir kaplama yöntemidir. Nikel kaplama da asıl olarak gümüş, altın, krom kaplamaların altındaki uygulanan katman olarak uygulanan kaplama yöntemidir. Nikel de korozyona karşı dayanıklıdır fakat atmosfere maruz kaldığında zamanla matlaşma gözlemlenir. Bakır kaplama, çinko dökümlere uygulanan krom ve nikel kaplamanın altında uygulanmaktadır [57,58]. Günümüzde ihtiyaç duyduğumuz malzemeleri üretmekle birlikte bu malzemelerin endüstri alanında fayda gösterebilmesi için sahip olmaları gereken yüzey özelliklerini kazandırmak amacıyla malzemenin özelliklerinin geliştirilmesi ve yüzey kalitesinin arttırılabilmesi için oluşturulması gereken ince filmlerde malzeme bilimi ve malzeme mühendisliği etkin olmaktadır. Bu ince filmlerin elde edilmesinde birçok çeşitli kaplama tekniği kullanılmaktadır. Bu kaplama tekniklerinde sıklıkla tercih edilenler fiziksel buharın biriktirilmesi (PVD), kimyasal buhar çöktürme (CVD), sol-jel yöntemi, döndürerek kaplama, daldırarak kaplama ve püskürtme kaplama ve damlatarak kaplamadır [59].

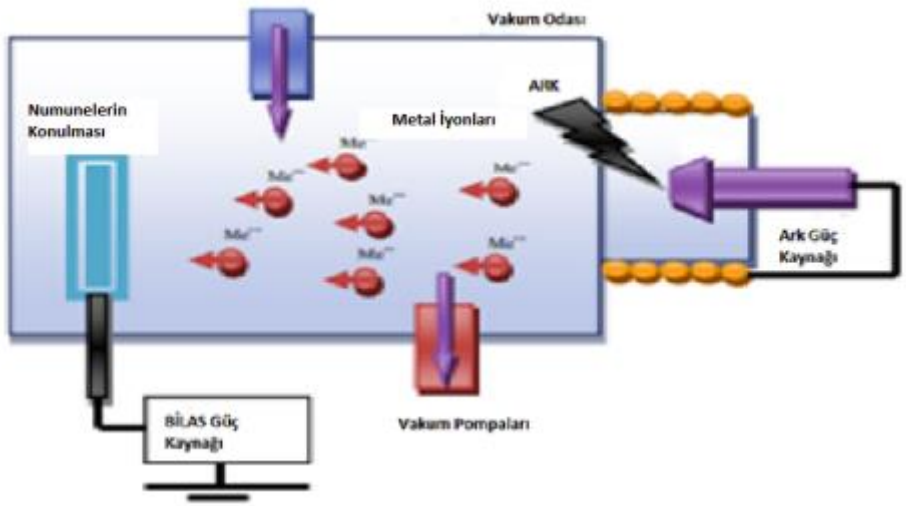
**Kimyasal buhar çöktürme (CVD):** Sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. Bu malzeme üretim teknolojisi gaz bileşikler içerisindeki kimyasal reaksiyon prosesi olan bir teknolojidir. Yüksek saflıkta tozların üretilmesinde tercih edilebildiği gibi ince film kaplamalarının da üretiminde de tercih edilebilmektedir. Bu teknoloji de ürün yüzey üzerinde ince bir film şeklinde

biriktirilir. Kimyasal buhar çöktürme yönteminin ince bir film şeklinde biriktirilmesinin en büyük avantajı ise alt yüzey ile senkronize olarak biriktirmeyi yüksek saflıkta yapmaya olanak sağlamasıdır. Kaplama esnasındaki ana malzeme ve yardımcı malzemelerin meydana getirdiği gaz şeklindeki bileşik uygun sıcaklık altında kimyasal olarak ayrışmaya uğrar. Gaz şeklindeki yardımcı malzemeler dışa atılır. Kaplamanın ana malzemesi ise yüzey üzerinde yoğuşur. Gereken sıcaklığın (1000˚C) olması nedeniyle genellikle seramik esaslı malzemelerde tercih edilmektedir [60,61]. Bu yöntemin gösterimi Şekil 2.2'de verilmiştir.



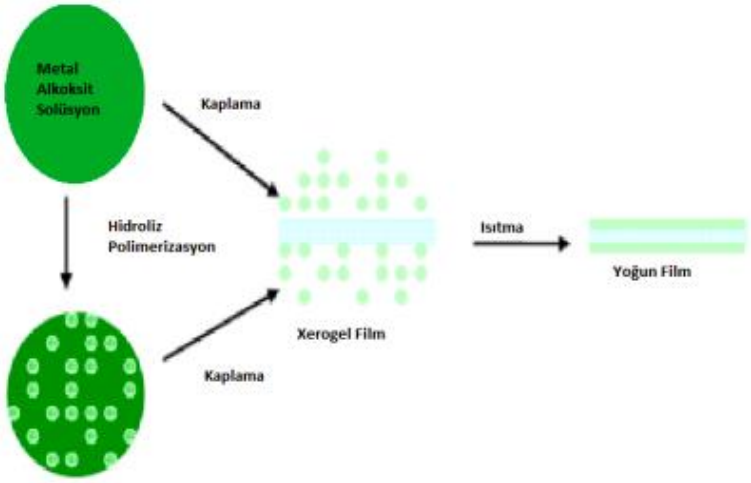

**Şekil 2. 2:** Kimyasal buhar çöktürme (CVD) yöntemi [60].

**Fiziksel buhar biriktirmesi (PVD):** Uygulama işleminin kolay gerçekleşmesi, tabandaki malzemenin mikro yapısında herhangi bir zarara neden olmaması, ölçüsel olarak tolerans değişikliğine gereksinim duyulmaması durumlarından dolayı fiziksel buhar biriktirmesi yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir [62]. Bu yöntemin uygulanması yüksek vakuma maruz bırakılan malzemenin buharlaştırılarak ya da sıçratılma ile atomların yüzey üzerinden kopartılması ve kaplamanın yapılmak istendiği yüzeye atomsal ya da iyonsal olarak biriktirilmesi şeklindedir. Metal bazlı olan sert yapıya sahip kaplamaların üretilmesinde tercih edilen bir yoldur. Bu yöntemin gerçekleşmesi için yüksek vakuma ihtiyaç vardır bu sebeple üretim esnasında vakum odaları tercih edilmektedir [63]. Şekil 2.3'de fiziksel buharın biriktirilmesi yöntemi anlatılmıştır.




**Şekil 2. 3:** Fiziksel buhar biriktirmesi yöntemi

**Sol-Jel Yöntemi:** Bu kaplama yönteminin avantajlarına bakılacak olursa saf ve homojen yapıdaki filmlerin düşük sıcaklıklarda hazırlanabilmeleri, enerji tasarrufu yapılabilmesi, farklı geometrik şekillere sahip malzemelerin homojen biçimde kaplanabilmesi, herhangi bir kirliliğe neden olmaması söylenebilir. Kimyasallar arasında bir sıkıntı olmadığı takdirde bu yöntem tehlike arz etmez. Bu yöntem gözenekli bir yapı elde edilmesine olanak sağlar bu sayede kırılma riski düşük filmler elde edilebilir. Aynı zamanda malzemenin geometrisi ile sınırlı olmayan çok katmanlı kaplama yapmaya elverişlidir. Bu yöntemin dezavantajlarına bakılacak olursa malzeme kaybı fazladır. Bu da maliyeti yükseltir. Kullanılan filmlerin üzerinde karbon kalıntısı kalabilir ayrıca tercih edilen kimyasal sağlık açısından zararlı olabilir. Bir diğer dezavantajı ise uzun süren bir kaplama yöntemi olmasıdır. Uygulama alanları oldukça geniştir [64]. Şekil 2.4'de sol-jel yöntemi verilmiştir.




**Şekil 2. 4:** Sol-jel yöntemi

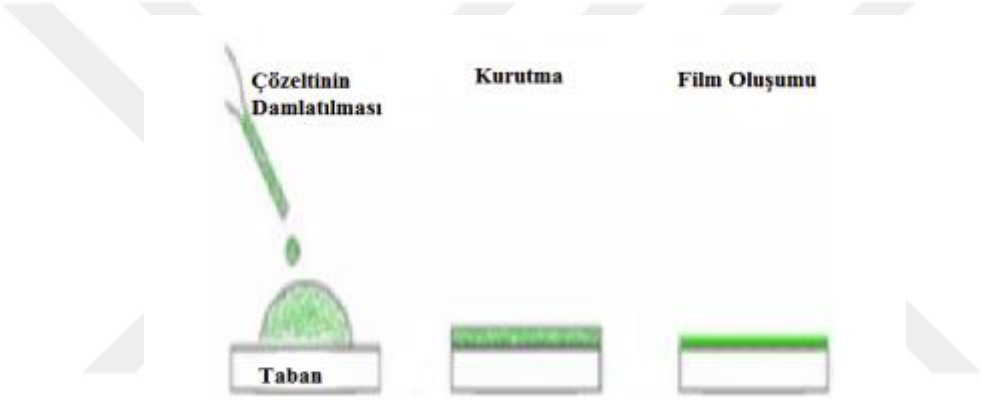
**Döndürerek kaplama metodu:** Farklı alanlarda sıklıkla tercih edilen bir kaplama yöntemidir. Düzgün bir şekilde ve eşit olarak kaplanması en büyük avantajıdır. Çözeltinin alt tabakanın yüzeyine düz bir şekilde damlayarak kaplanması ve sonrasında tek tip tabaka oluşturmak için döndürülmesi ile meydana gelmektedir. Döndürülmesi sayesinde kaplanan filmin kalınlığı yüzey üzerinde tamemn homojen ve eşit şekilde olur. Film yüzeyinin kalınlığı solün vizkositesi değişmedikçe değişmez. Filmin kalınlığının değişkenlik gösterdiği faktörler ise döndürme süresi, döndürme hızı, viskozitesi şeklindedir [65].

**Daldırarak kaplama yöntemi:** Altlık olarak kullanılan malzemenin hazırlanan çözeltiye belli bir hız ile daldırılması ve aynı şekilde belli bir hız ile geri çekilmesi şeklinde gerçekleşir. Bu yöntem çoğunlukla saydam katmanlar oluşturmak için kullanılır. Bu işlem beş basamakta gerçekleşir bunlar; daldırma, yukarı çekme, kaplama, süzülme ve buharlaşma şeklindedir. Tüm alt yüzeyde homojen bir kaplama elde edilebilmektedir. Tercih edilmesinin en büyük nedenlerinden biri ise kontrol edilebilir ve düzgün bir kalınlık elde etmek için elverişli bir kaplama yöntemi olmasıdır [65].

**Püskürterek kaplama yöntemi:** Bu yöntem elde edilmek istenen filmler için hazırlanmış olan sulu çözeltilerin karışım haline getirilerek sıcak alt malzeme üzerine azot gazı veya hava aracılığıyla püskürtülmesi şeklindedir. İnce bir film yüzeyi oluşturmak istenen yöntemler arasında en kolay ve en ucuz şekilde elde edilen yöntemdir. Avantajları; basit olması, ekonomik olması, müdahaleye olanak sağlaması, vakum odasına gereksinim olmaması, üretim basamaklarının takip edilebilir olması sayılabilir. Alt malzemenin sıcaklığı,

püskürtülen malzemenin oranı ve film yüzeyinin kalınlığı kalitesini etkileyen faktörler arasındadır. Ayrıca püskürtme cihazının başlığının genişliği, içerisindeki saf su miktarı, püskürtülen çözelti ile püskürtülen yüzey arasındaki mesafe de kalite için oldukça önemlidir [66].

**Damlatarak kaplama:** Bu yöntemde ilk olarak alt malzeme kimyasallar ile temizlenir ardından istenen filme göre damlatılacak çözeltinin miktarı belirlenir. Sonrasında kaplamak istenen çözelti belirlenen uygun oranlarda alt yüzeye damlatılır. Kısaca bu yöntem temizleme, damlatma, kurutma ve filmin oluşması şeklinde dört basamaktan meydana gelir. En büyük avantajlarından biri maliyetinin düşük olmasıdır. Çözeltinin içerisinde yeterince çözünmemiş parçacıkların gözlemlenmesi tozların alt yüzeye yapışması gibi durumlarda dezavantajlarıdır [60]. Şekil 2.5'de damlatarak yöntemi verilmiştir.




**Şekil 2. 5:** Damlatarak kaplama yöntemi

### 2.8.2. Metal olmayan kaplamalar

Esas amacı materyallerin yüzeyini korumak, görüntülerini daha iyi bir hale getirmektir. Organik ürünler içeren boyalar kullanılır bu boyalar yüzeyin üst tabakasında koruma amacı sağlayan bir film oluşturur ve bu film tabakası herhangi bir soyulma ve çatlama meydana gelmediği sürece materyali korozyona karşı korumuş olur [57,68].

## 2.9. Isıl İşlem

Metal malzemelerde bu malzemelerin talep edilen fiziksel özelliklere sahip olması için kullanılan işleme ısıl işlem adı verilmektedir. Isıl işlem sıralı ve kontrollü ısıtma ve soğutma işlemlerinden meydana gelir. Isıl işlem yapılırken asıl amaç metal malzemenin kullanılacak olan alan veya çalışma için fiziksel ve yapısal olarak özelliklerini daha iyiye getirmektedir [69]. Isıl işlem beş süreçten meydana gelmektedir. Bu işlemler sırasıyla sertleştirme, yüzey

sertleştirme, tavlama, normalleştirme ve temperleme şeklindedir. Bu beş süreçte metal malzemede farklı sonuçlara sebep olmaktadır. Fakat hepsi üç temele bağlanmaktadır. Bunlar ise ısıtma, daldırma ve soğutma şeklindedir [70].

### 2.9.1. Isıtma

Isıl işlemde ilk adım ısıtma işlemidir. Alaşımların birçoğunun sıcaklığı belli bir noktaya geldikten sonra yapıları değişmeye başlamaktadır. Alaşımların oda sıcaklığındaki durumları katı çözelti, mekanik karışım ya da katı çözelti ve mekanik karışımın bileşkesi şeklinde olabilmektedir [71]. Örneklerle bakılacak olursa mekanik karışım betona benzer. Beton nasıl kum ile çakılın çimento ile karıştırılmasından meydana geliyorsa bu karışımda kum ile çakıl görünür madde olarak nitelendirilirken çimento ise matris yapı olarak nitelendirilir. Mekanik karışımlı alaşımlarda da bileşikler ve elementler görünür madde olarak nitelendirilirken bunlar baz metal matrisi ile tutulur [72]. Katı çözelti alaşımlarda ise iki ya da daha çok metalin biri öbürüne emilip çözelti meydana geldiğinde olur [73]. Kimyasal yapının böyle değiştirilmesi tanecik yapısında ve aynı zamanda tanecik boyutunda belli değişkenliklere sebep olmaktadır [74].

### 2.9.2. Bekletme (Tutma)

Talep edilen fiziksel özelliklere sahip olması için gerekli ısıya getirilen metal malzemeler metal malzemenin her kısmı eşit şekilde ısıtılana kadar sabit sıcaklıkta kalmalıdır. Buna tutma ya da bekletme işlemi adı verilmektedir. Metal malzemenin ağırlığı ne kadar fazla ise bekletme işlemi o kadar uzun sürmelidir [75].

### 2.9.3. Soğutma

Üçüncü aşama ise soğutma işlemidir. Soğutma işlemi belli bir süre sabit sıcaklıkta bekletilen metal malzemenin soğutulması kısmıdır. Bu kısımda da metal malzemenin kimyasal yapısı değişkenlik gösterebilir, aynı şekilde kalabilir ya da eski orijinal haline geri dönebilir. Bu olayların her biri öngörülebilir olaylardır. Bu sebeple metal malzemelerin yapılarına uygun şekilde işlemlerin yapılması gerekmektedir [76].

## 2.10. Demirli Metallerin Isıl İşlemi

Isıl işlemlerin tümü ısıtma ve soğutma temelini içerir. Demirli metallerde de ısıl işlem genel hatları ile sertleştirme, temperleme, tavlama, normalleştirme ve yüzey sertleştirme şeklindedir [77].

**Sertleştirme:** Bu işlem ilk olarak belli sıcaklığa kadar ısıtılan malzemelerin sonrasında yağ, su ya da tuzlu su gibi sıvılara daldırılarak hızlı şekilde soğutulmasına dayanır. Çelik malzemelerin sertleştirilmesi istendiğinde hızlı soğutma işlemi tercih edilmektedir. Sertleştirme işleminde metalin dayanımı ve sertliği artar fakat bununla birlikte metalin gevrekliğinde de artış görülmektedir [78].

**Temperleme:** Çelik malzemeler diğer malzemelere oranla daha serttir ve ısıl işlemler ile sertliği daha da arttırıldığında gevrekliği çok artar. Metal malzemeler hızlı soğutma işlemlerinde yüksek iç gerilmeler yaşarlar. Bu nedenle iç gerilimi azaltma ve meydana gelen gevrekliği minimuma indirmek amacıyla temperleme işlemi yapılır. Temperleme işlemi metal malzemenin uygun sıcaklığa getirilmesinin ardından soğumaya bırakılmasıdır. Bu işlem esnasında metal malzemenin yapısında soğutma hızının bir önemi yoktur bu sebeple de metal malzemenin durgun hava koşullarında soğuması beklenir. Bu işlemde tercih edilen sıcaklıklar normalde sertleşme için tercih edilen sıcaklıklardan çok daha düşük sıcaklıklardır. Çünkü sıcaklık ne kadar yüksek olursa metalin yapısı o kadar yumuşak olur [79].

**Tavlama**: Tavlama işleminin amacı metal malzemelerin yapılarını yumuşatmak, daha sünek hale getirmek ve iç gerilimlerini azaltmaktır. Bu işlem yapılırken metal malzeme ilk olarak uygun sıcaklığa kadar ısıtılır ardından belli bir süre aynı sıcaklıkta tutulduktan sonra tekrar oda sıcaklığına gelecek şekilde soğutulur bu işleme tavlama işlemi denmektedir. Özellikle metal malzemelerde uygun sıcaklığa geldikten sonra soğutulma işleminin hızı oldukça değişkenlik göstermektedir. Örneğin çelik malzemelerde yumuşaklığın maksimuma getirilmesi için soğutulma işleminin oldukça yavaş yapılması gerekmektedir [80].

**Normalleştirme**: Demirli metallerde kullanılan bu yöntem dövme, işleme veya kaynakalama gibi işlemlerden sonra meydana gelen iç gerilimi azaltmasında kullanılan bir işlemdir. Bu işlemin yapıldığı çelikler diğer tavlanan çeliklere kıyasla daha güçlü ve daha serttir. Bu sebeple darbe etkisinde kalacak metallerde ve dış etkilere maruz kalacak olan metallerde direnci arttırmak için sıklıkla tercih edilir. Bu işlem yapılırken metaller ilk olarak istenilen sıcaklığa kadar ısıtılır, eşit bir şekilde ısıtılmış olana kadar beklenir ve ardından durgun hava koşullarında soğutulması sağlanır [81].

**Yüzey Sertleştirme:** Özellikle kamlar, dişliler gibi aşınmaya direnç gösteren yüzeyler için sıklıkla tercih edilen bir ısıl işlemdir. Yüzey sertleştirme işlemlerinde en genel kullanılanlar nitrürleme ve kambürlemedir. Bu işlem gerçekleştirilirken adi karbon çeliği gibi düşük karbonlu bir çelik veya kat sıvı gaz gibi çeliğin yüzeyine daha fazla miktarda karbon

birikimine neden olan malzemenin varlığı ile belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve ardından malzemenin hızlı şekilde soğutulması ile dış kabuk yüzeyi sertleşir, malzemenin içi ise yumuşak fakat gayet sağlam dayanıklı şekilde kalır [82].

## 2.11. Defne Yaprağı

Defne yaprağı familya olarak *Lauraceae* familyasında *Laurus* cinsine aittir. Ağırlıklı olarak Akdeniz bölgesinde ve Afrika'nın güney sahil kesimlerinde görülmektedir. Çeşitli kullanım alanına sahiptir. Kullanım alanlarına; gıda sektörü, geleneksel tıp, kozmetik sektörü, kimya sektörü örnek verilebilir. Yüksek kan şekerinin, enfeksiyonun, mide ve bağırsak hastalıklarının tedavisinde de tercih edilmektedir. [68]. Yapıları oval, sert, kenar kısımları köşeli, kısa saplı ve genellikle dalgalı şeklindedir. Yaprak yapıları ise genellikle 7.5-10 cm uzunluğunda ve en olarak 2-5 cm genişliğinde görülür. Yapısında esansiyal yağlar mevcuttur bu da kendine has bir kokusu olmasını sağlar. Renk olarak yeşilimsi renklere sahiptir. İçeriğinde bulunan yüksek orandaki laurik asit ve eterik yağlar sayesinde sabun üretiminde ve ilaç sanayisinde kullanıma elverişlidir [83]. Şekil 2.6'da defne yaprağı görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 2. 6:** Defne Yaprağı

## 2.12. Yeşil Sentez Yöntemi

Nanopartikül ve mikropartikül sentezlerinde son dönemde sıklıkla tercih edilmeye başlanan hızla gelişen yöntemlerden biri de yeşil sentez yöntemidir bu yönteme biyosentez de denilmektedir. Nanopartikül ve mikropartikül sentezleri gerçekleştirilirken bazı kimyasal ve fiziksel yöntemler ile bir arada gerçekleştirilmektedir. Fakat bu yöntemler enerji anlamında yüksek enerji gerektiren yöntemlerdir. Buna karşın yeşil sentez yöntemi ise maliyeti düşük ve doğa dostu bir yöntemdir. Bu sebeplerden dolayı da daha avantajlıdır. Bu avantajları kimyasal

ve fiziksel yöntemler için alternatif olarak dikkat çekmesine neden olmuştur. Biyolojik sentezlerde mantarlar, bitkiler, mikroorganizmalar, algler kullanılmaktadır. Bunlar arasında en sıklıkla tercih edileni ise bitkilerdir. Bunun nedenleri ise bitkilerin sentezlenmesinin daha hızlı olması ve diğerlerine oranla daha kararlı olmalarıdır. Ayrıca üretilen nanopartikül ve mikropartiküllerin şekil ve boyutları diğerlerine oranla daha çeşitlilik göstermektedir [84]. Nanopartikül sentezlerinde de birçok farklı malzeme tercih edilmesine rağmen sıklıkla tercih edileni bitki ekstratı kullanımıdır. Bunun nedenleri;

• Kolay kullanım

• Güvenli kullanım

• Düşük maliyet

• Basit işlem

• Yüksek hız

• Çevre dostu

• Daha kararlı

• Boyut ve şekillerde daha iyi kontrol

• Büyük ölçekli sentezlere uygunluk

şeklindedir [85]. Yeşil sentez yöntemi kullanılara nanopartikül elde edilirken tercih edilen bitkinin yaprak, sap, kök, meyve, lateks, kabuk gibi çeşitli kısımları kullanılabilir [86].

## 2.13. Literatürdeki Benzer Çalışmalar

Amini (2016) yürüttükleri çalışmada antimikrobiyal ambalaj kolloidal gümüş nanopartiküllerin nanofibril selüloz (CNF) ile harmanlanması bunun ardından hibrit kaplamanın çeşitli alt kağıt tabakaların üzerine tabaka şeklinde çökeltilmesi işlemleri ile hazırlanmıştır. Kullanılan bu CNF / Ag kaplı kağıtlar ardından taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi ile incelenmişlerdir. Bu analiz ile beraber dayanım özellikleri ile antimikrobiyal aktiviteleri de incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda SEM analizi sonucundaki mikrograflar incelendiğinde CNF yüzeyinde Ag nanoparçacıklarının birikim meydana getirdiği ve yoğun bir tabaka meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçla birlikte bir diğer

gözlemlenen sonuç ise CNF / Ag kaplaması ile yapılan antibakteriyel aktivite testi sonucunda *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel özellik gösterdiği gözlemlenmiştir [87].

Ahmed ve ark. (2016) yürüttükleri çalışmada, indica yaprağı ekstratı tercih edilerek yeşil sentez yöntemi ile gümüş nanoparçacıklar elde etmiştir. Kullanılan yeşil sentez yöntemi için doğa dostu olduğu, düşük maliyetli ve verimli bir yol olduğu kanıtlanmıştır. Elde edilen gümüş nanopartiküllerin antibakteriyel aktivite testine bakıldığında hem *E. coli* hem de *S. aureus*'a karşı antibakteriyel özellik gösterdiği söylenebilir [88].

Tuğçe ve ark. (2023) yürüttükleri çalışmada nanopartikül elde edilmesinde yeşil sentez yönteminin oldukça önemli bir yere sahip olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte fotosentetik canlılar grubunda yer alan mikroalgler de sentezledikleri hücre içi ve hücre dışı metabolitler sayesinde yeşil nanopartikül sentezi için oldukça önemlidir [89].

Erdoğan ve ark. (2019) yürüttükleri çalışmada enginar yaprağı ekstratından çinko oksit nanopartikülleri (ZnONPs) elde etmişlerdir. Elde edilen ZnONPs nanopartiküllerinin doğrulanması ve karakterizasyonu için çeşitli analziler yapılmıştır. SEM analizinde partikül boyutu 276-309 nm şeklinde ölçülmüş, ZnONPs'nin zeta-sizer analizinde partikül büyüklüğü 137,8 nm ve partikül yükü -6,34 MeV şeklinde saptanmıştır. Yapılan antibakteriyel aktivite çalışmasında testinde ise *E. coli* bakterileri ile çalışmalar yürütülmüştür ve bu çalışmalar sonucunda sentezlenen nanopartiküllerin bakteriyel aktivitelerinde azalma gözlemlenmiştir. ZnONPs HT-29 kolon kanseri hücreleri üzerinde incelendiğinde 10 µg/mL'den daha yüksek konsantrasyonlarda sitotoksik etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen ZnONPs nanopartikülleri için yeni ilaç formülasyonu için ilaç taşıyıcı istem olarak kullanıma elverişli olduğu, düşük maliyetli olduğu söylenebilmektedir [90].

# 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında 316L östenitik paslanmaz çeliktir tercih edilmiştir. Bu malzeme İstanbul'da yer alan Birçelik Paslanmaz Çelik Tic. A. Ş. firmasından elde edilmiştir. Malzemelerin imalatı ise İstanbul İkitelli Organize Sanayi Sitesinde yer alan Bor Kesici Takım ve Makine San. Tic. Ltd. Şti.'de meydana gelmiştir. Malzemelere uygulanan ısıl işlemler İstanbul İkitelli Organize Sanayi Sitesinde bulunan Censaş Isıl İşlem San. Ve Tic. Ltd. Şti. 'de gerçekleşmiştir. Aynı zamanda 316L paslanmaz çelik üzerine uygulanan ısıl işlem uygulamasında çeşitli soğutma ortamları kullanılarak bu soğutma ortamlarının malzemenin üzerindeki sertlik ve malzemenin mikroyapısı üzerinde nasıl etkiler meydana getirdiği bu tez çalışmasında incelenmiştir. Çalışma sonucunda ortaya çıkan analiz sonuçları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

## 3.1. Kullanılan Materyalin Özellikleri

Tez çalışmasında ASTM standart numarası ise A276 şeklinde olan 30 mm çapında 316L östenitik paslanmaz çelikler kullanılmış olup bu çelik çubuklar Birçelik Paslanmaz Çelik Tic. A. Ş.'den temin edilmiştir. Kullanılan 316L östenitik paslanmaz çeliğe ait yüzey çatlak testi ve ultrasonik iç çatlak testleri uygulanmış ve bunlar rapor şeklinde bildirilmiştir. Ayrıca kullanılan malzemenin temin edildiği firma tarafından aktarılan bilgilere istinaden kalite belgesindeki kimyasal bileşimleri aşağıdaki Tablo 3.1'de yer almaktadır.

| Element | C | Mn | Si | Cr | Ni | Cu | N | P | S | Mo | Fe, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 316L | 0,017 | 1,29 | 0,416 | 16,60 | 10,06 | 0,427 | 0,037 | 0,031 | 0,023 | 2,503 | Kalan |

**Tablo 3. 1:** Çalışmada kullanılan 316L paslanmaz çelik malzemesinin bileşimi (% şeklinde)

## 3.2. İş Parçasının İşlenmesi

Tez çalışmasında kullanılan östenitik paslanmaz çeliklere ortogol yüzey tornolama işlemi yapılmış olup bu işlem YouJi Makine Sanayi Ltd. Şti. tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu işlem X ve Z eksenli 300 RPM devirde, 550 mm işleme kursuna sahip CNC makinesinde gerçekleşmiştir. Şekil 3.1'de CNC işleminin gerçekleştiği tezgah verilmiştir. Malzemeye yapılan işlemlerde kullanılan kesme sıvısı ise %95 su ile %5 ESTRA 320 metal işleme sıvısı karıştırılarak elde edilen bir sıvıdır. Bu malzemelerin kesiminde kesme hızı 50 m/dak, ilerleme hızı 0,10 mm/dev ve kesme derinliği ise 0,4 mm şeklindedir. Şekil3.2'de ise malzemenin CNC tornolama uygulaması sonrasındaki hali mevcuttur.



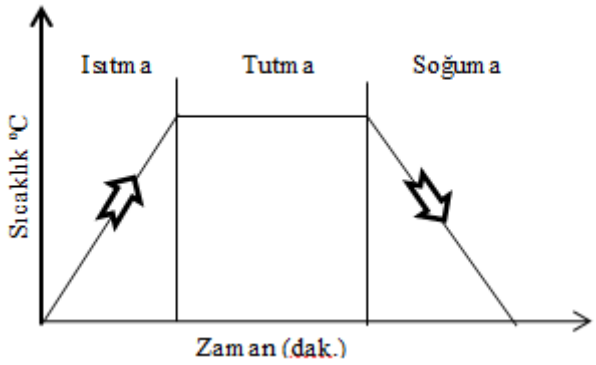
**Şekil 3. 1:** Malzemenin tornalama işlemleri aşamasında kullanılan CNC tezgahı



**Şekil 3. 2:** 316L malzemesinin CNC işleminden sonraki hali

## 3.3. Isıl İşlem

316L östenitik paslanmaz çelikler biyomedikal sektöründe kullanılacaksa malzemenin sertliğini ve dayanıklılığını arttırmak adına malzemelere ısıl işlem uygulaması yapılır. Bu çalışmada kullanılan 316L östenitik çeliklerin ısıl işlemi Censaş Isıl İşlem firmasında vakum fırınlarında gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem bir diğer adıyla tavlama işlemi üç aşamada yapılır. Şekil 3.3'de ısıl işlemin uygulanma aşamaları gösterilmiştir. Şekil 3.4'de ısıl işlemin ısıtma aşamasının gerçekleştiği vakum fırınının görüntüsü verilmiştir. Tablo 3.2'de ise gerçekleştirilen ısıl işlem uygulamasının detayları bulunmaktadır. Isıl işlemin soğutma aşaması ise üç farklı şekilde yapılmıştır. Bunlar hava, su ve yağ olmak üzere üç ortamda soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir.




**Şekil 3. 3:** Isıl işlem uygulama aşamaları




**Şekil 3. 4:** Isıl işlem uygulamasında kullanılan vakum fırını

**Tablo 3. 2:** Isıl işlemin uygulama detayları

| Malzeme | Numune Sayısı | Sıcaklık | Bekleme Süresi | Soğutma Ortamı |
|---|---|---|---|---|
| 316L | 5 | 1100 ℃ | 20 dak. | Su |
| | | | | Yağ |
| | | | | Hava |

## 3.4. Sertlik Ölçümü

Çalışmada kullanılan malzemenin sertlik ölçümü için Rockwell HRB sertlik ölçüm testi yapılmış olup bu işlem için İstanbul İkitelli bölgesinde bulunan Teknolab Teknoloji Laboratuvar Hizmetleri firmasından destek alınmıştır. Kullanılan cihaz İnnovatest markasına ait olan Versuz 750 CCD modelidir. Şekil 3.5'te sertlik ölçüm işleminde kullanılan cihaz gösterilmiştir. Bu ölçüm esnasında ölçümü yapılacak olan numunelerin her birinin üç değişik alanından ölçümler yapılıp ardından ortalaması alınmıştır.



**Şekil 3. 5:** Sertlik ölçümü için kullanılan cihaz

## 3.5. Kaplama Malzemesinin Hazırlanması

### 3.5.1. Defne Yaprağı Tozunun Hazırlanması

Defne yaprağı ekstratı elde edilmiş ve bu elde edilen defne yaprağı ekstratı ise Cu nanopartikül sentezi için indirgeyici ajan olarak kullanılmıştır. Defne yaprağı ekstratı elde edilmek için aktardan temin edilen defne yaprağı kuruları kullanılmıştır ilk olarak toz haline gelene kadar öğütülmüştür. Elde edilen öğütülmüş toz hassas terazi ile tartılarak 80 gram kullanılmıştır üzerine ise 400 mL saf su eklenerek $60°C$'de 80 rpm hızda 20 dakika manyetik karıştırıcı üzerinde tutulmuştur. Ardından oda sıcaklığına geldiğinde süzgeç kağıdı vasıtasıyla süzülmüştür. Şekil 3.6'da kuru defne yapraklarının öğütülme işleminden sonraki hali verilmiştir.



**Şekil 3. 6:** Öğütülmüş defne yaprağı

### 3.5.2. Bakır Sülfat Çözeltisinin Hazırlanması

Bakır Sülfat çözeltisinin hazırlanması için ise 25 gram Bakır Sülfat 475 mL saf su içerisinde çözülene kadar karıştırılmıştır. Şekil 3.7'de bakır sülfatın saf su ile karıştırılma işlemi gösterilmiştir.



**Şekil 3. 7:** Bakır Sülfat çözeltisi

### 3.5.3. CuO Defne Yaprağı Ekstratının Hazırlanması

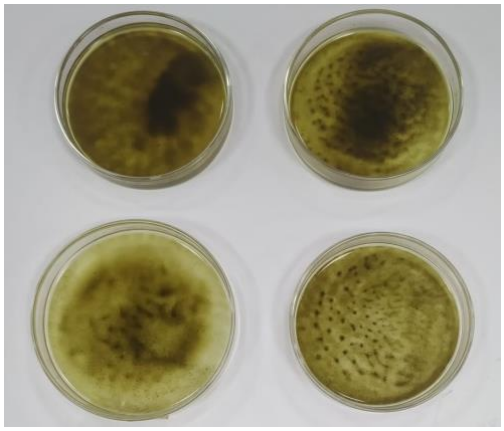
Bakır nanopartiküllerinin elde edilmesi sentezlenmesi için elde edilen bakır sülfat çözeltisi uygun boyutlarda temiz behere alınmış ve ardından su banyosuna sabitlenmiştir. Su banyosuna alınan bakır sülfat çözeltisi üzerine büret yardımı ile defne yaprağı özütü oldukça yavaş bir şekilde eklenmiştir. Bu işlem $80°C$'de 2,5 saat sürdükten sonra oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Şekil 3.8'deki görselde su banyoasuna sabitlenen bakır sülfat çözeltisine büret ile defne yaprağı ekstratı eklenmesi gösterilmiştir.



**Şekil 3. 8:** Su banyosundaki bakır sülfat çözeltisine büret ile defne ekstratı eklenmesi

### 3.5.4. Nanopartiküllerinin Ayrılması

Soğutularak oda sıcaklığına gelen karışım santrifüj işlemi için santrifüj tüplerine alındı ve 10.000 rpm'de 15 dakika santrifüj işlemi gerçekleşti. Santrifüj işlemi için Nüve NF800 santrifüj cihazı kullanılmış olup Şekil 3.10'de verilmiştir. Santrifüj işleminden sonra süzüntü atılarak yıkama işlemi gerçekleştirildi bu işlem üç kez tekrarlanmasının ardından son kez dördüncü olarak 15 dakikalığına tekrar santrfüje konulan karışım bu kez etanol ile yıkanarak santrifüj edildi ve süzüntüsü atılarak petri kaplarına alındı. Sonrasında 70 C°'de 15 saat etüve konularak kuruması ile nanopartikül elde edilmiştir. Şekil 3.9'da nanopartiküllerine ayrılması için etüve bırakılan özütlerin petri kabındaki görüntüleri verilmiştir. Elde edilen partiküllerin boyutları Yıldız Teknik Üniversitesi bünyesinde yer alan Malvern Instruments markasına ait Zetasizer cihazı ile ölçülmüş olup mikro düzeyde olduğu sonucu elde edilmiştir. Kullanılan Zetasizer cihazının görseli de Şekil 3.11'de verilmiştir.



**Şekil 3. 9:** Nanopartiküllerine ayrılması için etüve bırakılan özütler



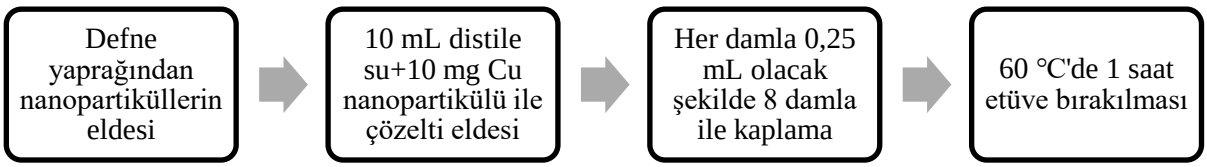

**Şekil 3. 10:** Nüve NF800 santrifüj cihazı



**Şekil 3. 11:** Zetasizer cihazı

## 3.6. İş Parçasının Kaplanması

Kaplama yöntemleri içerisinden iş parçası metal olduğundan dolayı metallerde kaplama yöntemleri arasında yer alan damlatarak kaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ilk aşama kaplama yapılacak olan alt malzemenin kimyasallar yardımıyla temizlenmesidir. Ardından kaplama yapılacak materyalin kalınlığı dikkate alınarak uygun ölçülerde yüzeye damlatılır. Özet olarak bu kaplama yöntemi temizleme, damlatma, kurutma ve filmin meydana gelmesi şeklindedir. Sterilizasyon amacıyla kullanılan otoklav cihazı İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi bünyesinde bulunan Alp Cl serisi dik tip otoklav cihazı olup Şekil 3.14'de verilmiştir. Defne yaprağından elde edilen Cu nanopartiküllerinden 10 mg alınarak, 10 mL distile su ile birlikte manyetik karıştırıcıda 1000 rpm 60℃'de çözünmesi sağlandı. Manyetik karıştırıcı olarak Mtops marka Ms300 Hs ısıtıcılı manteyik karıştırıcı kullanılmış olup Şekil 3.13'de verilmiştir. Çözünmelerinin ardından her bir iş parçası 8 damla ve herbir damla 0,25ml olacak şekilde toplamda 2ml nanopartikül çözeltisi ile kaplandı. Kaplanan iş parçaları 60℃'de 1 saat kalacak şekilde etüve bırakıldı. Etüvden alınan materyallere aynı işlemler tekrarlanarak ikinci kaplama yapıldı ve kuruması için tekrar etüve bırakıldı. Bunların sonucunda materyallere çift kaplama işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.12'de iş parçasının kaplamaları aşamalar halinde verilmiştir.




**Şekil 3. 12:** İş parçasının kaplama aşamaları




**Şekil 3. 13:** Mtops Ms300 Hs ısıtıcılı manteyik karıştırıcı




**Şekil 3. 14:** Alp Cl serisi dik tip otoklav cihazı

## 3.6. Karakterizasyon Çalışmaları

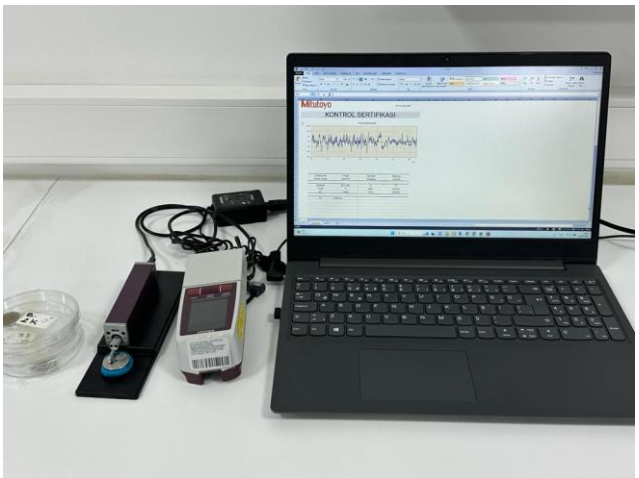
Bu tez çalışmasında, 316L paslanmaz çelik materyaller işlenmesinin ardından yeşil sentez yöntemi ile elde edilen bakır nanopartiküller ile damlatılarak kaplama yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Bunun sonucunda yüzey pürüzlülük ölçümleri, Zetasizer analizleri, antibakyeriyellik ölçümleri, SEM analizi ölçümlerine bakılarak karakterizasyon çalışmaları yürütülmüştür.

### 3.6.1. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Kaplamaların yorumlanabilmesi için en önemli aşamalardan biri de yüzey pürüzlülüğü analizidir. Bu çalışmada kaplanmış materyallerin yüzey pürüzlülük analizlerinin yapılması için kullanılan analiz cihazı Mitutoyo marka Surftest SJ210 model cihaz olup "Surface Roughnees Tester SJ-210/310/410" programı tercih edilmiştir. Bu işlem yapılırken kontrol numunesi ile diğer tek kaplamalı ve çift kaplamalı numuneler kaplama kalınlıklarına göre gruplara ayrılmış bu şekilde ölçümleri yapılmasının ardından yüzey pürüzlülük için elde edilen değerlerin ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Ölçüm için kullanılan bu cihaza ait olan özellikler Tablo 3.3'de sırasıyla verilmiştir. Bu analiz işlemi yapılırken öncelikle işlenen numune özel bir macun vasıtasıyla ölçüm yapılacak olan ölçüm tablası üzerine sabitlenir. Yüzey pürüzlülük analizinin yapıldığı cihaz Şekil 3.15'de verilmiştir.

**Tablo 3. 3:** Yüzey pürüzlülük ölçümünde tercih edilen cihazın özellikleri

| **Model** | **MitutoyoSurftest SJ-210** |
|---|---|
| Ölçme Hızı, mm/s mm | 0,25, 0,5, 0,75 |
| Ölçme Kuvveti, Mn | 0,75 |
| Uç Malzemesi | Elmas |
| Kesme Uzunluğu (λc), | 0,08, 0,25, 0,8, 2,5 |
| Değerlendirme Uzunluğu, mm | 0,3-16 aralığında |




**Şekil 3. 15:** Yüzey pürüzlülük ölçümü

### 3.6.2. Antibakteriyel Aktivite Çalışması

Bu çalışmadaki antibakteriyel aktivite çalışmasında katı besiyeri tercih edilmiş olup bu besiyeri için 38 gr Mueller-Hinton Agar (MHA) ile 1000 mL distile suyun ilave edilip manyetik karıştırıca karıştırılmasının ardından ağzı hafif açık olacak şekilde otoklava 2 saat süre ile 120 ℃'de bırakılmasının ardından petri kaplarına dökülmesi ile elde edilir. Petri kaplarına dökülen besiyerleri kısa sürede katılaşır ve katılaşmasının ardından 4℃'de muhafaza edilebilir.

Bu çalışmanın antibakteriyel aktivite çalışmasında *Escherichia coli (E.coli)* suşları kullanılmıştır. Hazırlanan besiyerleri üzerine su, hava, yağ gibi farklı ısıl işlemlerden geçirilen numuneler ile kontrol numunesi olmak üzere hepsi için bakteri suşundan ekim işlemi yapılmıştır. Bu işlemler steril ortamda gerçekleşmiş olup numuneler de işlemden önce otoklavlama işlemi ile 2 saat süre ile 120 ℃'de steril edilmiştir. Ekim işlemi yapılırken 10µL bakteri suşundan alınıp petri kabı içerisindeki katı besiyeri üzerine ekim işlemi yapılmasının ardından besiyeri üzerine numune steril koşullara uygun şekilde bırakılmıştır. Toplamda 8 numune incelenmiştir.

Bu numuneler;

- Su ile soğutma işlemi yapılan tek kaplamalı
- Su ile soğutma işlemi yapılan çift kaplamalı
- Hava ile soğutma işlemi yapılan tek kaplamalı
- Hava ile soğutma işlemi yapılan çift kaplamalı
- Kontrol numunesi tek kaplamalı
- Kontrol numunesi çift kaplamalı
- Yağ ile soğutma işlemi yapılan tek kaplamalı
- Yağ ile soğutma işlemi yapılan çift kaplamalı

şeklindedir. Bütün numuneler için sırasıyla bu işlemlerin gerçekleşmesinin ardından petri kapları 37 ℃'deki etüvde 24 saat bırakılmıştır. Bu işlemde kullanılan etüv WiseCube marka olup görseli Şekil 3.16'de verilmiştir.




**Şekil 3. 16:** WiseCube etüv cihazı

### 3.6.3. SEM Analizi

Numunelerin kaplanması için kullanılan Cu nanopartiküllerin ve bu nanopartiküller ile tek ve çift katlı damlatma ile kaplama yöntemi uygulanan 316L paslanmaz çelik numunelerinin yüzey morfolojilerinin incelenmesi Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı bünyesinde yer alan Zeiss EVO LS10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Bu analiz işlemi yapılırken karbon iletken çift taraflı bant yüzeyine numuneler yapıştırılmıştır. SEM analizinde analizi yapılacak olan numuneler üzerine yüksek enerjiye sahip elektron demetleri gönderilir ve numune yüzeyinden çeşitli sinyallerin alınmasına dayalı bir işlemdir [91]. Bu çalışmada kullanılan SEM analiz cihazı Şekil 3.17'de verilmiştir.




**Şekil 3. 17:** SEM analiz cihazı

# 4. BULGULAR

Bu kısımda çeşitli kullanım alanına sahip olan 316L paslanmaz çelik ve yeşil sentez yöntemi ile defne yaprağından elde edilen Cu nanopartiküllerinin 316L paslanmaz çelik üzerine tek ve çift kaplanmasının ardından elde edilen numuneler üzerine yapılan testlerin sonuçları yer almaktadır. Bu test sonuçları ile birlikte bu sonuçların değerlendirilmesi, bu sonuçlara neden olan etkenler ve sebepleri de ele alınmıştır. Değerlendirmeler, test ve analizler ise yüzey pürüzlülüğü testi, sertlik ölçümü, zetasizer partikül boyut ölçümü testi, antibakteriyel aktivite çalışması ve SEM analizleridir.

## 4.1. Sertlik Ölçümü

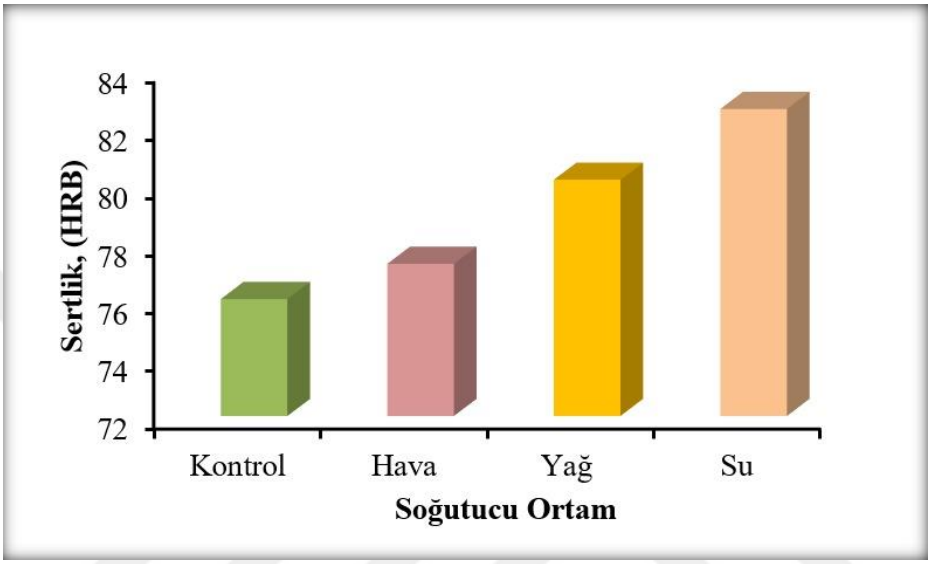
Sertlik ölçüm testi materyallerde aşınma ile başlangıcı olan bölgesel olarak deformasyona karşı materyalin uygulamış olduğu direncin bir ölçütüdür. Çoğunlukla farklı materyallerin sertlik ölçüleri de farklılık göstermektedir. Örnek verilecek olursa Berilyum ve titanyum gibi materyaller sert materyaller olarak bilinir ve diğer plastikler ve yumuşak metallere oranla daha sert bir yapıya sahiptir. Belli bir kuvvet altında katı materyallerin gösterdiği davranış farklılık gösterir bu sebepten sertlik ölçümü girim sertliği, çizilme sertliği ve geri sekme sertliği gibi farklı kategörilerde ölçülebilmektedir. Bu çalışmada hava, yağ, su ve kontrol şeklinde farklı soğutma yöntemlerine ait numunelerin üç farklı noktasından sertlik ölçümleri yapılmıştır ve bu ölçümler neticesinde ortalamalar alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlarla ilgili sertlik ortalaması tablosu Tablo 4.1'de yer almaktadır.

**Tablo 4. 1:** Sertlik ortalaması değerleri

| Deney No | Malzeme | **Soğutma Ortamı, Sertlik (HRB)** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Kontrol | Hava | Yağ | Su |
| 1 | 316L | 78,2 | 78,5 | 79,5 | 81,8 |
| 2 | | 78,5 | 78,9 | 79,8 | 81,3 |
| 3 | | 78,3 | 79,0 | 79,3 | 81,0 |
| 4 | | 78,3 | 78,8 | 79,5 | 81,7 |
| 5 | | 78,0 | 79,1 | 79,6 | 81,2 |
| Ort. | | 78,2 | 78,8 | 79,5 | 81,4 |
| Standart Sapma | | 0,164317 | 0,207364 | 0,163299 | 0,303315 |

Şekil 4.1'de ise daha detaylı değerlendirilmesi amacıyla sertlik ölçümlerinin ortalamalarının grafiği verilmiştir. Veriler incelendiğinde hava, yağ, su ve kontrol numunelerinin sertlik ölçümlerinin ortalamalarına bakıldığında 77,27 HRB, 80,18 HRB, 82,63 HRB, 76,05 (HRB)

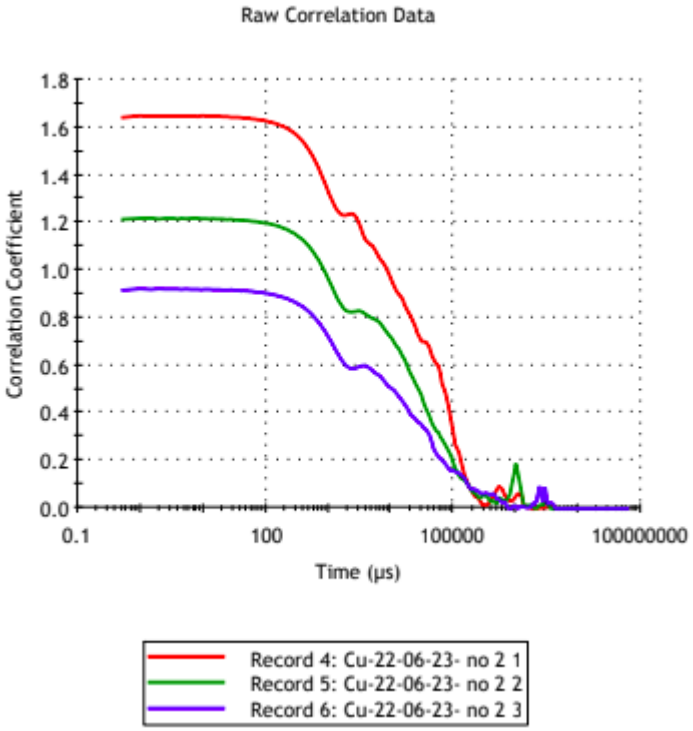
şeklindedir. En düşük sertlik ortalaması kontrol numunesindeyken su ile soğutulan numune maksimum değere ulaşarak artış göstermiştir. Hava ve kontrol numuneleri arasında %2 değerinde, yağ ve kontrol numunesi arasında %5 değerinde ve son olarak su ve kontrol numunesi arasında ise %8 değerinde sertlik ölçümünde artış meydana gelmiştir. En üst seviyedeki artış ise su ve kontrol numuneleri arasında saptanmıştır.



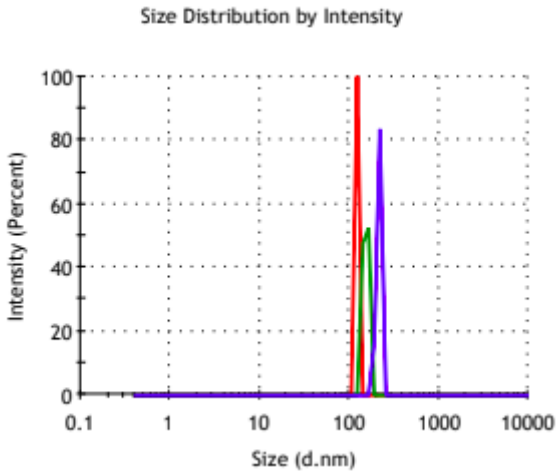

**Şekil 4. 1:** Sertlik ölçüm ortalamaları

## 4.2. Zetasizer Ölçümü

Zetasizer ölçümleri partiküllerin boyutunun ölçülmesi işlemidir. Bu çalışmada yeşil sentez yöntemi kullanılarak defne yaprağından elde edilen Cu partiküllerinin boyutunun ölçülmesi için tercih edilmiştir. Analiz 25 ℃ sıcaklıkta üç defa tekrarlanarak yapılmıştır. Analiz sonuçları ise elde edilen ölçümlerin ortalaması olacak şekilde ele alınmıştır. Ölçüm değerlerinin ortalaması alındığında partiküllerin nanoropartikül boyutunda olduğu saptanmıştır. Zetasizer ölçümü sonucunda elde edilen ZetaSizer Raw Correlation Data Grafiği Şekil 4.2'de, ZetaSizer Intensity Grafiği Şekil 4.3'te ve ZetaSizer Intensity Tablosu ise Tablo 4.2'de verilmiştir.




**Şekil 4. 2:** ZetaSizer Raw Correlation Data Grafiği




**Şekil 4. 3:** ZetaSizer Intensity Grafiği

**Tablo 4. 2:** ZetaSizer Intensity Tablosu

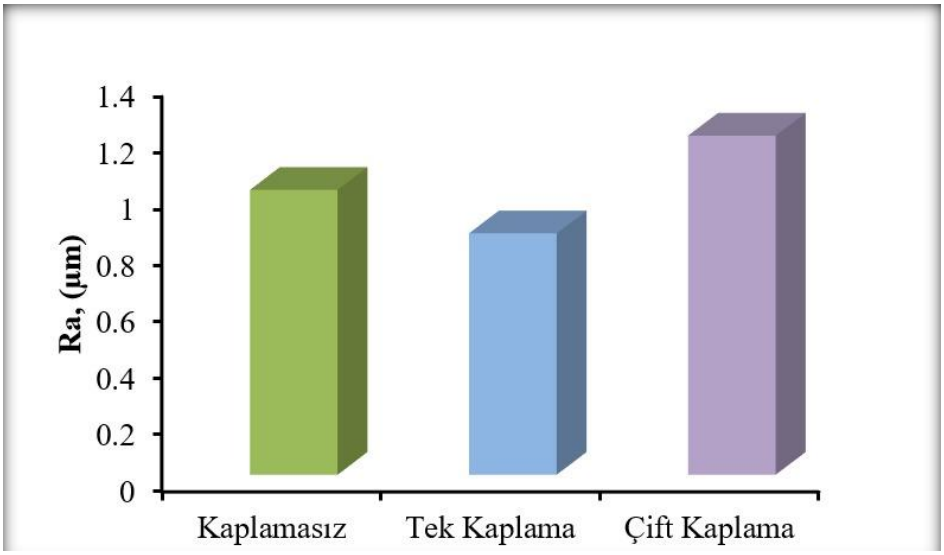
| **INTENSITY** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No | Peak1 d.nm | Area Percent | Width d.nm | Peak2 d.nm | Area Percent | Width d.nm | Peak3 d.nm | Area Percent | Width d.nm |
| 4 | 122,4 | 100,0 | 0,000 | 0,000 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,0 | 0,000 |
| 5 | 153,5 | 100,0 | 11,19 | 0,000 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,0 | 0,000 |
| 6 | 215,2 | 100,0 | 11,18 | 0,000 | 0,0 | 0,000 | 0,000 | 0,0 | 0,000 |

## 4.3. Yüzey pürüzlülük ölçümü

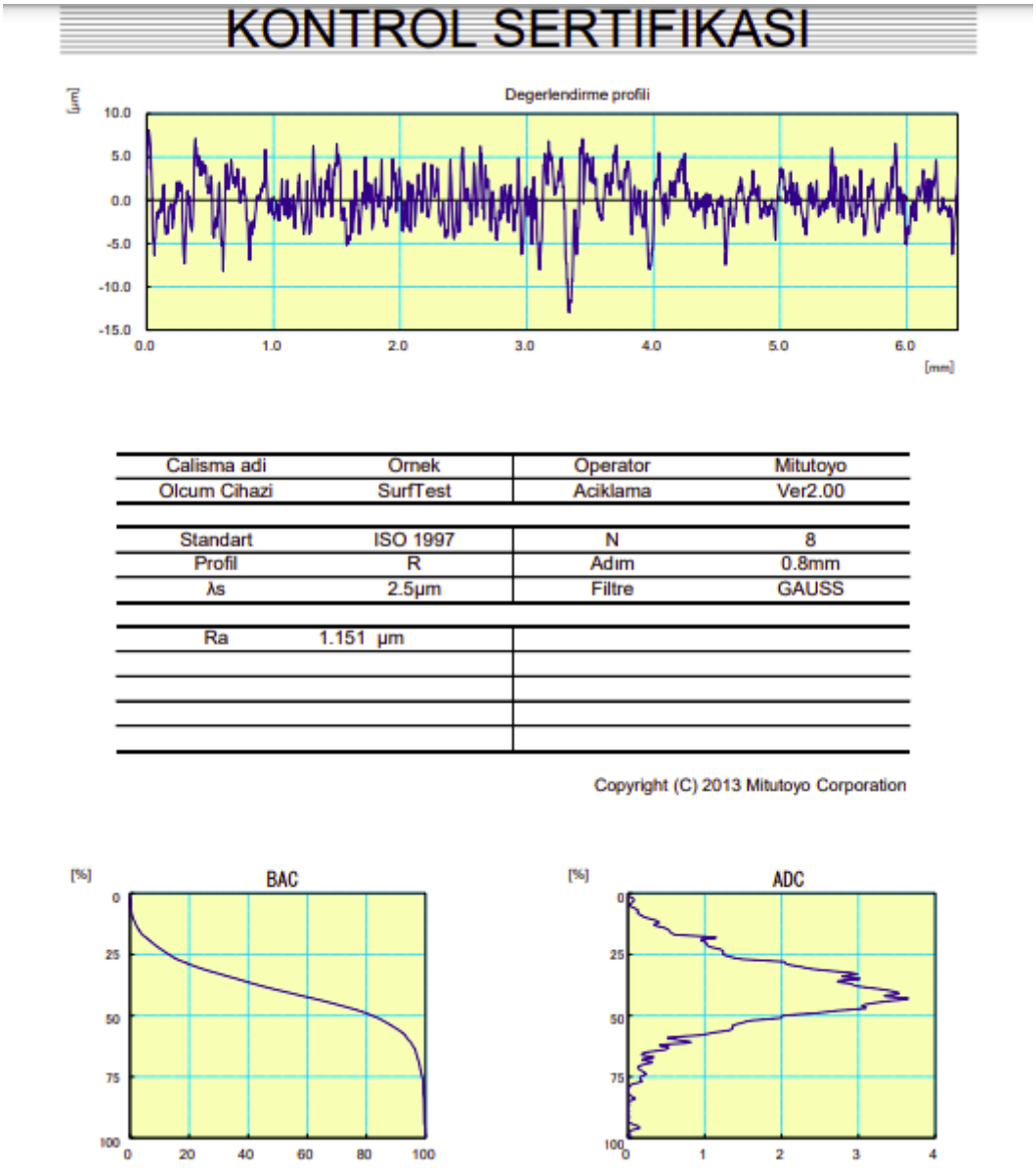
Yüzey pürüzlülüğü testlerinin değerleri yüzeyin kalitesini belirlemek ve kalitesinin geliştirilip arttırılmasını sağlamak amacıyla oldukça önem arz eder. Yüzeyin kalitesinin arttırılması için yüzey pürüzlülüğünün azaltılması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün azaltılması yani yüzeyin kalitesinin arttırılması için yapılabilecek en etkili yollardan biri de yüzey kaplamasıdır. Tablo 4.2'de kaplamasız, defne yaprağı Cu nanopartikülleri ile tek kaplamalı, çift kaplamalı numunelerin yüzey pürüzlülük ortalamaları verilmiştir. Kaplama yöntemi olarak damlatarak kaplama tercih edildiğinden dolayı yüzey pürüzlülük ölçümü yapılırken her numune yüzeyinin farklı üç noktasından ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır. Bu ölçüm sayesinde kaplama kalınlıkları ile yüzey pürüzlülüğü bağlantısı kıyaslanabilmektedir. Daha net değerlendirilebilmesi için Şekil 4.2'de grafiği verilmiştir. Şekil 4.3'de yüzey pürüzlülüğü sertifikası yer almaktadır.

**Tablo 4. 3:** Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

| Numune Türü | Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) |
|---|---|
| Tek kaplamalı | 0,855 |
| Çift kaplamalı | 1,201 |
| Kaplamasız | 1,009 |




**Şekil 4. 4:** Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

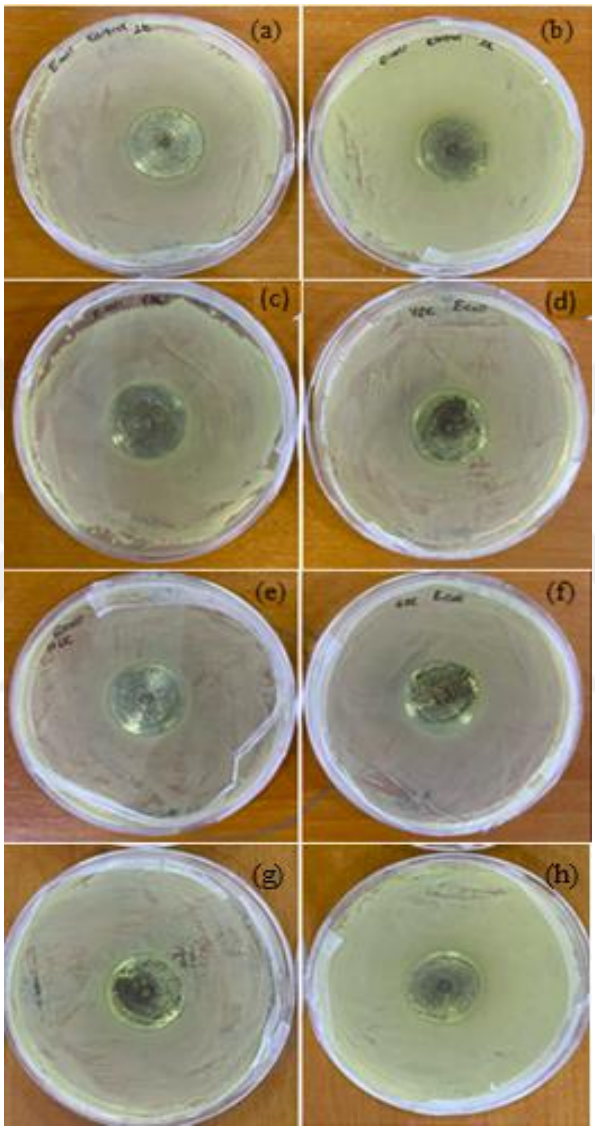



**Şekil 4. 5:** Yüzey pürüzlülük sertifikası

## 4.4. Antibakteriyel Aktivite Çalışması

Antibakteriyel aktivite çalışmaları belli oranlarda bakteri ekimi yapılan besiyerleri üzerine numunelerin yerleştirilip bakterilerin yaşaması için uygun koşullar sağlanmasının ardından bakteri aktivitelerinin incelenmesidir. Özellikle biyomedikal sektöründe büyük önem taşıyan bir testtir. Biyoaktivite testi olarak antibakteriyel aktivite çalışması yapılmış olup bakteri olarak *E.coli* bakterisi kullanılmıştır. Antibakteriyel aktivite çalışmasındaki numuneler çift kat kaplanan kontrol numunesi, tek kat kaplanan kontrol numunesi, tek kat kaplanan ısıl işleminde hava ile soğutulan numune, çift kat kaplanan ısıl işleminde hava ile soğutulan numune, tek kat kaplanan ısıl işleminde su ile soğutulan numune, çift kat kaplanan ısıl

işleminde su ile soğutulan numune, tek kat kaplanan ısıl işleminde yağ ile soğutulan numune ve çift kat kaplanan ısıl işleminde yağ ile soğutulan numune olmak üzere sekiz numune üzerinde antibakteriyel aktivite çalışması yapılmıştır. 24 saat geçmesinin ardından petri kaplarındaki bakterilerin durumu Şekil 4.4'de verilmiştir.

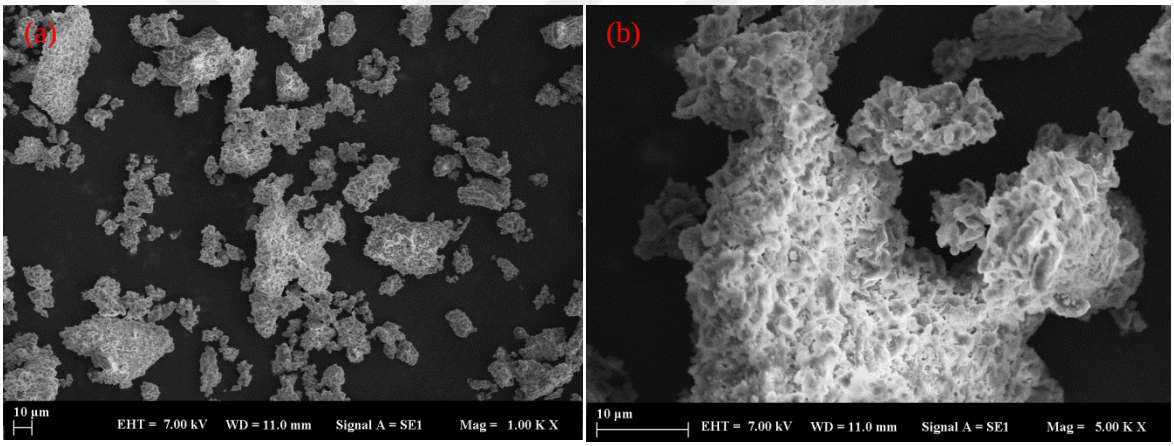



**Şekil 4. 6:** (a) Kontrol tek kaplamalı, (b) Kontrol çift kaplamalı, (c) Yağ tek kaplamalı, (d) Yağ çift kat kaplamalı, (e) Hava tek kat kaplamalı, (f) Hava çift kat kaplamalı, (g) Su tek kaplamalı, (h) Su çift kaplamalı 24. saatte antibakteriyel aktivite çalışması sonuçları

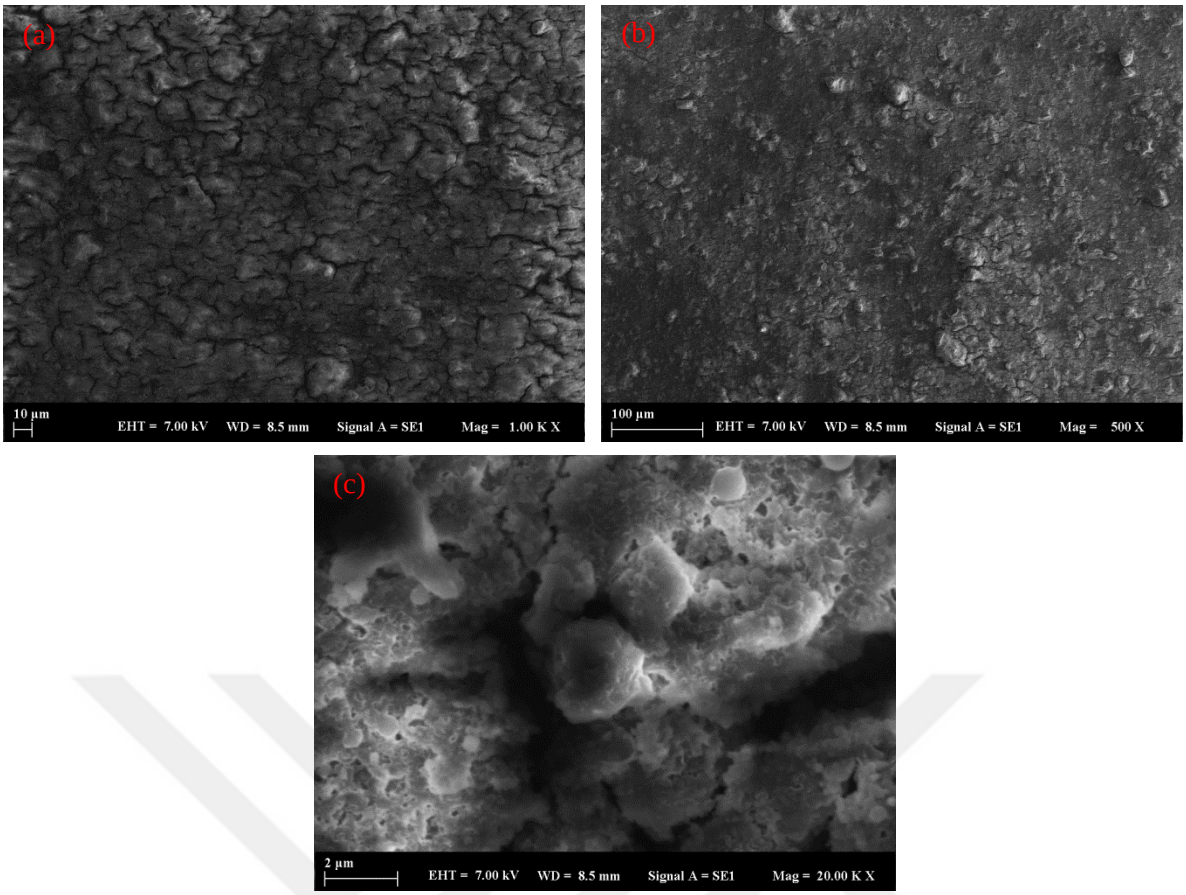
Sonuçlara bakıldığından bakteri aktivasyonu bütün numunelerde oldukça yüksektir numunelerin hiçbirinde antibakteriyel özellik gözlemlenmemiştir. Su ile soğutulan numune de bakterilerin doğru yayılamaması gözlemlenmiştir.

## 4.5. SEM Analizi

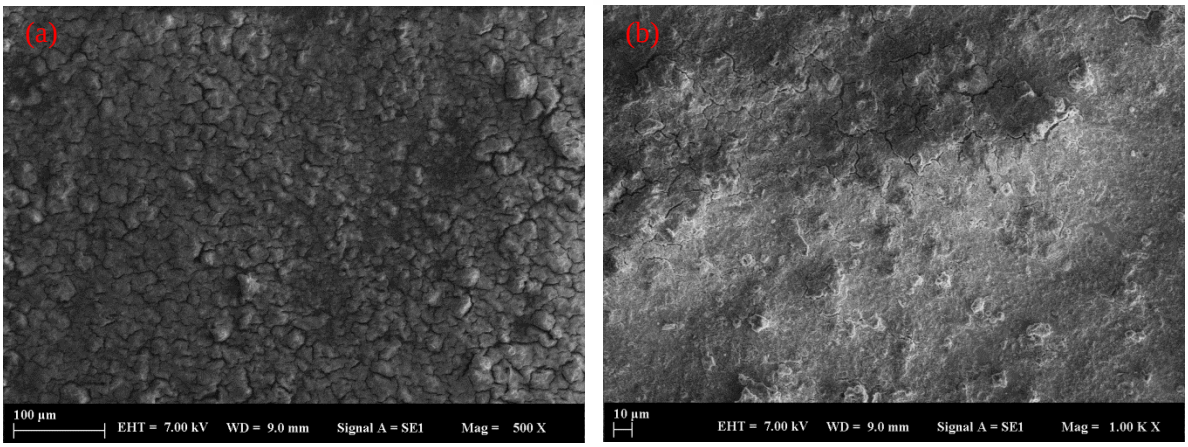
Bu çalışmada SEM analizi Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı bünyesinde yer alan Zeiss EVO LS10 model taramalı elektron mikroskobu kulanılarak gerçekleştirilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), yüksek kalitede, yüksek çözünürlükte görüntüler elde etmek için tercih edilen bir yöntemdir. SEM analizi yüksek enerjiye sahip olan elektron demetleri ile yüzeyin taranması prensibine dayalı bir çalışma şekline sahiptir. Bu çalışmada da elde edilen defne yaprağı Cu nanopartikülleri ve bu partiküller ile tek katlı ve çift katlı olacak şekilde kaplanan ısıl işlem görmüş 316L paslanmaz çelikler üzerinde SEM analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda defne yaprağı Cu nanopartiküllerinin SEM mikrografları Şekil 4.5'de farklı büyütmelerdeki görüntüleri verilmiştir. Tek kat kaplama yapılmış numunelerin farklı büyütmelerdeki SEM mikrografları Şekil 4.6'da verilmiştir. Çift kat kaplama yapılan numunelerin SEM mikrografları ise Şekil 4.7'de verilmiştir.




**Şekil 4. 7:** Farklı büyütmelerde defne yaprağı Cu nanopartikülleri SEM görüntüsü




**Şekil 4. 8:** Tek kat kaplamalı Cu SEM görüntüsü




**Şekil 4. 9:** Çift kat kaplamalı Cu SEM görüntüsü

SEM analiz görüntüleri değerlendirildiğinde Cu nanopartiküllerinin düzensiz şekillere sahip olduğu, farklı büyüklüklere sahip olduğu, şekillerinin düzgün bir yapıya sahip olmadığı söylenebilmektedir.

Şekil 4.5'deki tek kat kaplamalı numune ile Şekil 4.6'daki çift kat kaplamalı numune görüntüleri kıyaslanacak olursa iki görüntüde de küresel şekiller daha çok yerini katmansal şekillere bırakmıştır. Şekil 4.6'daki çift katmanlı numune de tek katmanlı numuneye oranla çatlak oranı daha fazla olmakla birlikte çatlakların derinlikleri de daha fazladır. Bunun nedeninin tercih edilen kaplama yöntemi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Kaplama yöntemi değiştirilirse çatlak oranlarının indirgeneceği düşünülmektedir.

# 5. SONUÇLAR

## 5.1. Genel Sonuçlar

Bu tez çalışmasının amacı; farklı şekillerde ısıl işlem parametleri ve soğutma ortamları kullanılan 316L östenitik paslanmaz çelikler üzerine defne yaprağından yeşil sentez yöntemi kullanılarak elde edilen Cu partikülleri ile damlatarak kaplama yöntemine uygun şekilde kaplanması sonucu bu materyallere çeşitli analiz ve ölçüm işlemlerinin yapılmasıdır. Elde edilen sonuçlar ise aşağıda yer almaktadır.

- Isıl işlem uygulamasındaki soğutma aşamasındaki farklılıklar materyalin sertlik değerlerinde etkili olmuştur. Ortalama sertlik kontrol numunesinde 78,26 (HRB) değerindeyken; hava, yağ ve su soğutma ortamlarında ise; 78,86 HRB, 79,54 HRB 81,40 HRB'ye kadar yükseldiği görülmüştür.
- Yağ ve hava arası % 1, hava ve kontrol numunesi arasında %1, yağ ve kontrol arası % 2 , su ve yağ arası % 2, ve su ve kontrol arası % 4 sertlik artışı ölçülmüştür. Bu ölçümlere bakılacak olursa en yüksek orandaki artış su ve kontrol numunesi arasında tespit edilmiştir.
- Sertlik analizinin sonuçlarına bakılarak suda soğutulmuş olan materyallerin farklı sonuçlar gösterdiği söylenebilir. Bu durumun sebebi mikroyapıdaki ferritin oranı ile bağlantılı olduğu söylenebilmektedir. Ferrit östenitin diğerlerine oranla dengeli olduğu numune kontrol numunesidir ve sertlik ölçümü ısıl işlem görmüş numunelerden daha düşük çıkmıştır.
- SEM analizi sonuçlarına bakılacak olursa Cu nanopartiküllerinin düzensiz şekilerde ve homojen bir yapıya sahip olmadığı söylenebilir. Çift kat kaplama ve tek kat kaplama yapılan materyallerin SEM analizi sonuçlarında ise tek kat kaplama yapılan materyallerde çatlak oluşumun daha az ve derin olmayan çatlaklar iken çift kat kaplama yapılan materyallerde ise çatlak miktarı oldukça fazla olduğu ve derinliklerinin fazla olduğu söylenebilir.
- Yapılan antibakteriyel aktivite çalışmasında bakteri aktivitelerinin yüksek olduğu, numunelerin hiçbirinin antibakteriyel özellik göstermediği söylenebilir. Partiküllerin mikro boyutta olduğundan dolayı numunelerin antibakteriyel özellik göstermediği şeklinde yorumlanabilmektedir.

## 5.2. Öneriler

Defne yaprağından yeşil sentez yöntemi ile elde edilen Cu nanopartikülleri ile kaplanan 316L paslanmaz çelik materyalinin antibakteriyel özelliğinin ve SEM analizi görüntülerinin tam olarak anlaşılması ve geliştirilmesi için daha birçok çalışmaya gerek vardır. Bu çalışmaların devamı olarak aşağıdakilerin yapılması tavsiye edilmektedir.

- Isıl işlemdeki sıcaklık değerleri değiştirilebilir.
- Kaplama yöntemi olarak damlatarak kaplama yöntemi dışındaki diğer kaplama yöntemleri tercih edilebilir.
- Damlatılarak kaplama yönteminde kaplanan nanopartikülün kaplama miktarı düşürülebilir.

# 5. KAYNAKÇA


1. Groover, M. P. Principles of Modern Manufacturing. (2010). John Wiley & Sons. New York
2. Metikoš-Huković, M., Pilić, Z., Babić, R., & Omanović, D. Influence of alloying elements on the corrosion stability of CoCrMo implant alloy in Hank's solution. Acta Biomaterialia, (2006). 2(6), 693-700.
3. Virtanen, S., Milošev, I., Gomez-Barrena, E., Trebše, R., Salo, J., & Konttinen, Y. T. Special modes of corrosion under physiological and simulated physiological conditions. Acta
4. biomaterialia.(2008)4(3), 468-476.
5. Niinomi, M. Metallic biomaterials, Journal of Artificial Organs,(2008)11(3), 105-11
6. Anık, S., "Kaynak Teknolojisi", Cilt 3, 27-33 (1981).İ.T.Ü. Makine Fakültesi, İstanbul.
7. Shin, J.H., Lee, J.W., "Effects of Twin Intersection on the Tensile Behavior in High Nitrogen Austenitic Stainless Steel", Materials Characterization,2014: 91, 19–25
8. Kanbollu S., "Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 1996.
9. H. Zitter and H. Plenk, "The Electrochemical Behaviour of Metallic Implant Materials as an Indicator of their Biocompatibility", Biomedical Materials Research, 21-88, 1987.
10. Şevki Yılmaz GÜVEN, Kamil DELİKANLI/ METALİK BİYOMALZEMELERDE SON GELİŞMELER/ TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi
11. Ahmet PASİNLİ/ Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler/ Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (4) 25-34
12. Prasad K., Bazaka O., Chua M., Rochford M., Fedrick L., Spoor J., Symes R., Tieppo M., Collins C., Cao A., Markwell D., Ostrikov K., Bazaka K., Metallic biomaterials: current challenges and opportunities, Materials, 10 (8), 1-33, 2017.
13. Ali Tekin GÜNER, Cemal MERAN/ Ortopedik implantlarda kullanılan biyomalzemeler/ Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 26(1), 54-67, 2020
14. Akyıldız, E. Ticari Hidroksiapatit Esaslı Üç Bileşenli Kompozit Biyomalzemelerin Üretimi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014
15. Hench, L. L. and Ethridge, E. C., Biomaterials: An ınterfacial approach,, Academic Press, 1982, New York/USA.
16. Gümüşderelioğlu, M., Yeni ufuklara biyomalzemeler, Bilim ve Teknik Dergisi, 2002, 7, 2-5.
17. Oshida Y., Biological Reaction, Editor: Oshida Y., Bioscience and Bioengineering of Titanium Materials, 1st ed., 2010, Elsevier, Oxford, 127-148
18. Black, J. and Hastings, G., Handbook of biomaterial properties, chapman and hall publication, 1998, London.

19. Hilal Singe, Tijen Över Özçelik/ Bir risk temelli karar verme yaklaşımı ile metalik biyomalzeme değerlendirme/ Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 37:2 641-654
20. M. Vallet-Regí, “Ceramics for Medical Applications”, Journal of Chemical Society, Dalton Transactions, (2) 97-108. 2001
21. Batchelor A, Chandrasekaran M. Service Characteristics Of Biomedical Materials And Implants. London, UK, Imperial College Press, 2004
22. Mahyudin F, Widhiyanto L, Hermawan H. Biomaterials in orthopaedics. Editors: Mahyudin F, Hermawan H. Biomaterials and Medical Devices A Perspective from an Emerging Country, 161-181, Cambridge, UK, Springer, 2016.
23. Shi D, Wen X. Bioactive Ceramics Structure, Synthesis and Mechanical Properties. Editor: Shi D. Introduction to Biomaterials, 13-26, Beijing, China, Tsinghua University Press, 2005
24. Ahmet PASİNLİ/ Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler/ Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2004 (4) 25-34
25. ASM Metals Handbook, Properties and Selections: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Vol. 2, ASM International, USA, 1328, 1991.
26. M. Meral, “Çok İşlevli Uyluk Çivisi Tasarımı, Üretimi ve Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2013.
27. V.S. Bhat, “Biomaterials”, Alpha Science International Ltd., U.K., 2005.
28. Agrawal, C. M. Journal of Materials, (1998). 31-35
29. Chung DDL. Composite Materials: Functional Materials for Modern Technologies. 2002
30. Hüseyin KARAER/Biyomalzeme Olarak Magnezyum Alaşımlarının Mekanik ve Korozyon özelliklerinin İncelenmesi/ Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü/Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi/2019
31. Güven Ş.Y., Biyouyumluluk ve Biyomalzemelerin Seçimi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Tasarım Dergisi., 2014., 2(3), 303–311.
32. Gümüşderelioğlu, M.,” Tıbbın Geleceği Biyomalzemeler”,Bilim ve Teknik Dergisi, 2-4, 2002
33. Universıty of Aberden, ” Metallic Instrumentation” , Biomaterials-From Concept to Clinic, www.abdn.ac.uk/physics/px4007/2004/spinal3.hti - 14k, 2004
34. Williams, D.F., 1982. Biocompatibility in Clinical Practice, Boca Raton, F.L.: CRC Press., 1982
35. Taş A.C., 2000. Synthesis of Biomimetic Ca-Hydroxyapatite Powders at 37ºC in Synyhetic Body Fluids, Biomaterials, 21, 1429–1438, 2000.
36. Van Noort, R., 1987. Titanium: The Implant Mater.of Today. Jour. Mater. Sci., 22, 3801-3811, 1987
37. Browne, M., and Gregson, P.J., 1993. Surface Modification of Titanium Alloy Implants, Biomaterials, 15, 11, 894-898, 1993.

38. Buehler, W.J., Gilfrich, J.V., and Wiley, R.C., 1963. Effect of low temperature phase changes on the mech. properties of alloys near composition Ti-Ni, Jour. Appl. Phys. 34, 1475-1477, 1963.
39. Duerig, T.W., Melton, K.N., Stockel, D., and Wayman, C.M., 1990. Engineering Aspects of Shape Memory Alloys, Butterworth-Heinemann, London, Eds. 1990.
40. Park, J.B., Kim, Y.K., 2000. Metallic Biomaterials, The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition. CRC Press LLC, 2000.
41. Wasan Shareef Sadeq Kaftan, Farklı Isıl İşlem Proseslerinin 316L Paslanmaz Çeliğin Biyo ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Yeni Yüzyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyomedikal Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2023
42. Lula R.A., Stainless Steel, American Society for Metals, 1986
43. Gardner L. The Use Of Stainless Steels in Structures. Prog Struc Engin Mat, 2005, 7(2), 45-55.
44. Sakumoto Y, Nakazato T, Matsuzaki A. High-Temperature Properties Of Stainless Steels For Building Structures. J Struct Eng, 1996, 122(4), 399-406.
45. Beddoes J, Parr J.G., Introduction to Stainless Steels,3,U.S., 1999.
46. Singh R.,Martin M., Dahotre N. B., Influence Of Laser Surface Modification On Corrosion Behavior Of Stainless Steel 316L and Ti–6Al–4V in Simulated Biofluid, Surface Engineering, 2005, 21(4), 297-306.
47. Aydın T., Paslanmaz Çeliklerin Mig Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar ve Etkileri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2002
48. Shafi Suhaid M., Reduction of Weld Decay Effect of Stainless Steels Used in Medical and Food Sector That Weld by Tig Process, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep Üniversitesi ,Gaziantep, 2013
49. Ozer G., Kisasoz A., Guler K.A., Karaaslan A., Aluminum Matrix Composite Fabrication By Infiltration Of Sic Preforms Using Squeeze Casting Technique, 8th International PhD Foundry Conference Brno, Czech Republic
50. Hermawan H., Ramdan D., Djuansjah J., Metals for Biomedical Applications, Biomedical Engineering – From Theory to Applications, 2011, In Tech, 411– 430
51. Zhang H., Han J., Sun Y., Huang Y., Zhou M., MC3T3-E1 Cell Response to Stainless Steel 316L with Different Surface Treatments, Materials Science and Engineering, 2015,56 (1),22–29
52. Virtanen S., Milosev I., Gomez-Barrena E., Trebse R., Salo J., Konttinen Y.T., Special Modes of Corrosion Under Physiological and Simulated Physiological Conditions, Acta Biomaterialia., 2008,4 (3),468–476
53. Chen Q.Z., Thouas G.A., Metallic İmplant Biomaterials, Materials Science and Engineering,2015,4(3),1–57.

54. Khor, E. Biocompatibility Issues, Chitin. Chapter 4 –, 55-64(2001).
55. Aslan O., Plazma Sprey Kaplama Yöntemiyle Tek ve Çift Katmanlı Kaplanan AISI 316L Paslanmaz Çeliğin Korozyon Davranışlarının İncelenmesi,Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2015
56. Bronzino J. D., The Biomedical Engineering Handbook, Boca Raton, Crc Press 2000 USA, 2015
57. Staffolani N., Damiani F., Lilli C., Guerra M., Ion Release from Orthodontic Appliances, Journal of Dentistry, 27 (6),449-454
58. Çiftçi, N., Sol-Gel yöntemi ile 316 LSS ve Ti implant malzemelerin üzerine Hidroksiapatit (HAP) kaplamaların üretilmesi ve korozyon davranışlarının elektrokimyasal yöntemle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2009
59. Bayramoğlu, G., Aluminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Çeşitli Ortamlardaki Korozyonuna Fenolik Maddelerin Etkisi, Doktora Tezi, 72s, cuAnkara, 2000.
60. Selen E., Bakır Nanopartikül Kaplama Sonrası Ti6Al4V Alaşımının Antibakteriyel, Biyouyumluluk ve Biyokorozyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yeni Yüzyıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2022
61. Dadvand, N., Investigation of the Corrosion Behaviour of Electroless Nickel-Boron and Nickel-Phosphorous Coatings in Basic Solutions, PhD Thesis, Metallurgical Engineering at Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 2002.
62. May, G. S., and Sze, S. M., Fundamentals of semiconductor fabrication. 2004, Wiley Inc., pp. 145-167
63. Aytaç, A., İlivan, M., Gül, F. (2016). The effect of TiN and CrN coating on the abrasive wear behavior of cold-work tool steels. Journal of the Balkan Tribological Association, l:22 (3A-1):3254-3269.
64. Ayhan A., Uğur M., Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemlerinden PVD ve JVD/DVD İnce Film Kaplamaların Karşılaştırılması ve DVD Kaplama Teknolojisinin Endüstriyel Uygulamaları Üzerine Kavramsal, Akademik ve Teorik Bir Analiz, Savunma Bilimleri Dergisi, Mayıs 2018, Cilt 17, Sayı 1
65. C.J. Brinker; G. W. Scherer, Sol-gel science: The physics and chemistry of sol-gel processing. Academic Press, Inc., 1990
66. Köse H, Lityum İyon Piller İçin Sol-Jel Yöntemiyle SnO2/ÇDKNT Nanokompozit Anot Üretimi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2014.
67. Savaş S., Mehmed K. , Seçkin A., İnce Film Üretim Teknikleri, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(5):389-401
68. Çimenoğlu, H., 2005: Metallerin Isıl İşlemi Ders Notları

69. Fonseca, B. M., Mestre,V. F., Colaço, B., Pires, M. J., Martins, T., Gil da Costa,R. M., Neuparth, M. J., Medeiros, R., Moutinho, M. S. S., Inês Dias, M., Barros, L., Bastos, M. M. S. M.,F élix, L., Venâncio, C., Ferreira Isabel, C. F. R., Antunes, L. M., and Oliveira, P. A. (2018). Laurus nobilis (laurel) aqueous leaf extract 's toxicological and anti-tumor activities in HPV16- transgenic mice. FoodFunct, 9, 4419–4428.
70. Rajan, T. V.; Sharma, C. P.; Sharma, Ashok .Heat Treatment: Principles and Techniques. Prentence Hall.(1992). p. 1.
71. Dossett, Jon L.; Boyer, Howard E. Practical heat treating. ASM International. (2006) pp. 17–22.
72. Robert Bruegmann. "Central Heating and Ventilation: Origins and Effects on Architectural Design"
73. Patrick Mitchell. Central Heating, Installation, Maintenance and Repair. WritersPrintShop.(2008) p. 5. ISBN 9781904623625.
74. Fawkes, F. A. "antiquity+of+hot-water+heating" "Horticultural Buildings: Their Construction, Heating, Interior Fittings, &c., with Remarks on Some of the Principles Involved and Their Application. (123 Illustrations.)". (1881).
75. Cooper, D. (2021-05-27). "The UK is sabotaging its own plan to decarbonize heating". Engadget. Archived from the original on 2021-05-27. Retrieved 2021-11-23.
76. F.M. Castro Cerda, C. Goulas, I. Sabirov, L.A.I. Kestens, R.H. Petrov, The effect of the pre-heating stage 52 on the microstructure and texture of a cold rolled FeCMnAlSi steel under conventional and ultrafast heating, Mater. Charact. 130 (2017) 188–197.
77. Rezaie, Behnaz; Rosen, Marc A."District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements". Applied Energy. (2012). 93: 2–10.
78. Krauss. G. Heat Treatment of Ferrous Metals: December 2016
79. Todd, Robert H., Dell K. Allen, and Leo Alting. Manufacturing Processes Reference Guide. 1st. Ed.1994. New York: Industrial Press Inc., bharani .
80. Roberts-Austen By Sir William Chandler Roberts-Austen, Sydney W. Smith - Charles Griffin & Co. 1914 Page 155-156
81. F.C. Campbell, Ed., Elements of Metallurgy and Engineering Alloys,2008, ASM International.
82. Freedman, David; Pisani, Robert; Purves, Roger. Statistics: Fourth International Student Edition. W.W. Norton & Company. (February 20, 2007).
83. Higgins, Raymond A. Part I: Applied Physical Metallurgy. Engineering Metallurgy (5th ed.). Hodder & Stoughton . (1983) p. 474
84. Ertekin, M., Kırdar, E., Ayan, S. Ve Özel, H. B. (2009). Bazı Büyüme Düzenleyicilerin Akdeniz Defnesi (Laurus nobilis L.) Fidanlarının Gelişimi Üzerine Etkileri. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 9 (2), 171-176

85. Vijayakumar, S., Vaseeharan, B., Malaikozhundan, B., and Shobiya, M. (2016). Laurus nobilis leaf extract mediated gren synthesis of ZnO nanoparticles: Characterization and biomedical applications. Biomedicine&Pharmacotherapy, 84, 1213–1222.
86. Vijayaraghavan, K., and Ashokkumar, T.(2017). Plant-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: A review of literature, factors affecting synthesis, characterization techniques and applications. Journal of Environmental Chemical Engineering, 5, 4866–4883
87. Erci, F. (2018). Yeşil Sentez ile Elde Edilen Metal Nanopartiküllerin Antimikrobiyal ve Antibiyofilm Etkinliklerinin Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
88. Amini, E., Azadfallah, M., Layeghi, M., & Talaei-Hassanloui, R. Silver-nanoparticleimpregnated cellulose nanofiber coating for packaging paper. Cellulose, 2016, 23(1), 557- 570.
89. Ahmed, S., Seyfullah, Ahmed, M., Swami, BL ve Ikram, S. Azadirachta indica sulu yaprak ekstresi kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi. Radyasyon araştırmaları ve uygulamalı bilimler dergisi, 2016, 9(1), 1-7.
90. Tuğçe Mutaf, Gülizar Çalışkan, Suphi Şurişvan Öncel, Murat Elibol, Metal nanopartiküllerin mikroalgler aracılığı ile yeşil sentezi, Su Ürünleri Dergisi, 2023, , 40(1), 81-89
91. Ömer ERDOĞAN, Fatih BİRTEKOCAK, Erman ORYAŞIN, Mürüvvet ABBAK, Gülen Melike DEMİRBOLAT, Salih PAŞA, Özge ÇEVİK, Enginar Yaprağı Sulu Ekstraktı Kullanılarak Çinko Oksit Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, Karakterizasyonu, Anti-Bakteriyel ve Sitotoksik Etkileri, Düzce Tıp Fakültesi Dergisi, 2019;21(1):19-26
92. Süer, N. C., Arasoğlu, T., Cankurtaran, H., Okutan, M., Gallei, M., & Eren, T., Detection of bacteria using antimicrobial polymer derived via ring-opening metathesis (romp) pathway. Turkish Journal of Chemistry, 2021, 45(4), 986-1003

# ÖZGEÇMİŞ

| | | |
|---|---|---|
| **Adı Soyadı** | **:** | Firdevs DURANLI |
| **Eğitim Bilgileri** | | |
| **Lise** | **:** | Vefa Poyraz Anadolu Lisesi (2012-2016) |
| **Lisans** | **:** | İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi (2016-2020) |
| **Yabancı Dil** | **:** | İngilizce |