



**ELEKTRİKSİZ KAPLAMA YÖNTEMİ
İLE SÜPERHİDROFİLİK MgB₂
KAPLAMALARIN ÜRETİMİ**

Selçuk AVCİ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı
Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL**

2017

Her Hakkı Saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİKSİZ KAPLAMA YÖNTEMİ İLE SÜPERHİDROFİLİK
MgB₂ KAPLAMALARIN ÜRETİMİ**

Selçuk AVCI

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**ELEKTRİKSİZ KAPLAMA YÖNTEMİ İLE SÜPERHİDROFİLİK MGB_2
KAPLAMALARIN ÜRETİMİ**

Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL danışmanlığında, Selçuk AVCİ tarafından hazırlanan bu çalışma 27/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı – Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ruhi YEŞİLDAL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hikmet ÇİÇEK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 02/03/2017 tarih ve 9.../...82 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2015/138

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan alıntıların, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKSİZ KAPLAMA YÖNTEMİ İLE SÜPERHİDROFİLİK MgB_2 KAPLAMALARIN ÜRETİMİ

Selçuk AVCİ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL

Elektriksiz kaplamalar düşük maliyetli bir proses sunması ve pürüzlü ve karmaşık geometriye sahip parçalarda üniform bir film kalınlığına sahip sert yüzeyler sunması nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Son yıllarda elektriksiz Ni-B ve Ni-P kaplamalara alternatif olarak elektriksiz MgB_2 kaplamaların kullanılabileceğine dair bir potansiyel dikkat çekmektedir. Fakat MgB_2 kaplamalar genellikle elektriksiz kaplama yöntemleri dışında farklı daha pahalı yöntemlerle üretilmekte ve bu kaplamaların özellikle süper iletkenlik ve diyamanyetiklik özellikleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada elektriksiz kaplama yöntemi kullanılarak AISI 1020 çelik üzerine takviyesiz ve SiO_2 nanopartikül takviyeli MgB_2 kaplamalar üretilmiş ve üretilen kaplamaların, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışınları difraksiyonu (XRD) ile yapısal özellikleri, mikrosertlik cihazı ile mekanik davranışı, pin-on-disk tribotest cihazı ile tribolojik davranışı ve temas açısı ölçer ile de ıslanabilirlik özellikleri araştırılmıştır.

Kristalografik olarak hegzagonal bir yapı sergileyen kaplamalarda, homojen ve yoğun bir mikroyapı ve taban malzemeye göre yaklaşık 5 katlık bir sertlik artışı elde edilmiştir. Temas açısı ölçümleri ise hem takviyesiz, hem de takviyeli kaplamaların, süperhidrofilik bir karakter taşıdığını göstermiştir.

2017, 70 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektriksiz kaplama, MgB_2 , ıslanabilirlik, nanopartikül, SiO_2

ABSTRACT

Ms. Thesis

PRODUCTION OF SUPERHYDROPHILIC MgB₂ COATINGS BY ELECTROLESS COATING METHOD

Selçuk AVCI

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics
Department of Construction and Manufacturing

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ferhat BÜLBÜL

Electroless coatings have been used in a wide range of fields because they offer a low-cost process and provide the hard surfaces having uniform thickness on the parts with rough and mixed geometry. Recently a potential pertaining to be able use electroless MgB₂ coatings as an alternative to electroless Ni-B and Ni-P coatings attracts attention. However MgB₂ coatings are generally produced using different and more expensive techniques apart from electroless deposition methods and the investigations on especially superconductivity and diamagnetism properties of these coatings have been performed.

In this study, unreinforced and SiO₂ nanoparticle-reinforced MgB₂ coatings were produced on AISI 1020 steel using electroless deposition method and the structural properties via X-ray diffractometer (XRD) and scanning electron microscope, the mechanical behavior using microhardness tester, tribological behavior by pin-on-disc tribotester and wettability properties using contact angle meters were investigated for the produced coatings.

An homogeneous and dense microstructure and a hardness rising of 5-fold according to the substrate were obtained for the deposits exhibited a crystallographically hexagonal structure. Also contact angle measurements showed that both the unreinforced and SiO₂ nanoparticle-reinforced MgB₂ coatings have a super hydrophilic character.

2017, 70 pages

Keywords: Electroless deposition, MgB₂, wettability, nanoparticle, SiO₂

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bilgi ve birikimleriyle ufkumu açan ve her zaman yardımından istifade ettiğim danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ferhat BÜLBÜL' e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Adem KARA' ya, Sayın Niyazi Özçelik'e ve Sayın Yusuf Burak Bozkurt'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında manevi destekleriyle hep yanımda olan annem, babam, kardeşlerim ve eşime teşekkürlerimi sunarım.

Selçuk AVCİ

Şubat, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	6
2.1. Yüzey İşlem Türleri.....	6
2.1.1. Elektriksiz kaplama yöntemi	7
2.2. MgB ₂ ve Özellikleri.....	9
2.3. Aşınma.....	12
2.3.1. Aşınma mekanizmaları.....	13
2.3.1.a. Abrasif aşınma.....	13
2.3.1.b. Adezif aşınma.....	15
2.3.1.c. Yorulma aşınması	16
2.3.1.d. Eroziv aşınma.....	16
2.3.1.e. Korozyon aşınması	17
2.3.1.f. Kazımalı aşınma.....	18
2.3.1.g. Oymalı aşınma.....	18
2.3.1.h. Öğütmeli aşınma.....	18
2.4. X Işını Difraksiyonu (XRD) İle Kristal Yapı Analizi	18
2.5. Taramalı Elektron Mikroskopu ile Yüzey Morfolojisi ve Elemental Analiz	20
2.6. Sertlik Ölçümü	22
2.6.1. Brinell sertlik deneyi	23
2.6.2. Vickers sertlik deneyi.....	23
2.6.3. Knoop sertlik deneyi	23
2.6.4. Rockwell sertlik deneyi	24
2.7. Islanabilirlik.....	25

2.7.1. Temas açısı	26
2.7.2. Hidrofobik (Suyu İten) ve Hidrofilik (Suyu Çeken) Yüzeyler ve Kullanım Alanları	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	30
3.1. Materyal.....	30
3.1.1. Taban malzemenin hazırlanması	30
3.2. Elektriksiz Kaplama, Banyo Bileşenleri ve Kaplama Parametreleri.....	31
3.2.1. Kaplama banyosunun hazırlanması	33
3.3. XRD ve SEM Çalışmaları	34
3.4. Mikrosertlik Ölçümü	36
3.5. Aşınma Testleri	36
3.6. Temas Açısı Ölçümü	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	39
4.1. MgB ₂ Kaplamaların Büyütülmesi.....	39
4.1.1. Yapısal analiz	40
4.2. Nanopartikül Takviyeli (SiO ₂) MgB ₂ Kaplamaların Büyütülmesi	43
4.2.1. Yapısal analiz	44
4.2.2. Mikrosertlik incelemeleri	53
4.2.3. Aşınma analizleri.....	54
4.2.4. Islanma açısı	65
5. SONUÇ	67
KAYNAKÇA.....	68
ÖZGEÇMİŞ	71

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Sıcaklık birimi, Santigrat derece
Å	Angström
C	ışık hızı
E	Enerji
HV	Vickers sertlik değeri
K	Kelvin
λ	Dalga boyu
μ	Sürtünme katsayısı
S, s	Saniye
θ	Kırınım açısı

Kısaltmalar

AISI/SAE/ASTM	Amerikan standartları
DIN	Alman standartlar enstitüsü
EDX	Enerji ayırmalı x ışını ölçer
HSP	Hegzagonal sıkı paket kafes sistemi
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
WDX	Dalga boyu ayırmalı X ışını
XRD	X ışını kırınım ölçer

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yüzey kaplama yöntemleri	7
Şekil 2.2. Elektriksiz Kaplama Sistemi.....	8
Şekil 2.3. Karışık potansiyelde kurulan denge	8
Şekil 2.4. Karışık potansiyelde dengenin kurulması - bir metalin katalitik gücü	9
Şekil 2.5. Oda sıcaklığında MgB_2 'nin X ışını kırınımı spektrumu.....	10
Şekil 2.6. MgB_2 'nin kafes yapısı	10
Şekil 2.7. Sıfır manyetik alan altında MgB_2 'nin sıcaklığa bağlı elektriksel direnç değişimi	11
Şekil 2.8. MgB_2 kullanıma yönlendiren etkenler	11
Şekil 2.9. Tribolojik bir sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi	13
Şekil 2.10. Abrasif aşınma mekanizmaları	14
Şekil 2.11. Üç elemanlı abrasif aşınma	15
Şekil 2.12. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi	16
Şekil 2.13. Korozyon aşınmanın şematik resmi	17
Şekil 2.14. Farklı akışkan türlerinin sebep olduğu ıslanma A çok küçük ıslatabilme yeteneğine sahip bir akışkanı gösterirken, C'nin ıslatabilme yeteneği daha büyüktür.....	25
Şekil 2.15. Temas açısı ve Young eşitliği.....	26
Şekil 2.16. Sıvıların farklı yüzey enerjilerine sahip katı yüzeylerinde ıslatma davranışları	27
Şekil 2.17. Gonyometre cihazı.....	28
Şekil 2.18. Buğulanmayan banyo aynası ve açık havada durmasına rağmen kendi kendini temizlediği için kirlenmeyen çadır.....	29
Şekil 3.1. AISI 1020 çeliği deney numuneleri.....	30
Şekil 3.2. Elektriksiz kaplamada kullanılan ekipman.....	34
Şekil 3.3. X ışını kırınım ölçer.....	35
Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskop.....	35
Şekil 3.5. Sertlik ölçümünde kullanılan cihaz	36
Şekil 3.6. Aşınma testlerinde kullanılan cihaz.....	37

Şekil 3.7. Islatma açısı ölçme cihazı.....	38
Şekil 4.1. Hazırlanan takviyesiz MgB_2 kaplama çözeltisi	40
Şekil 4.2. Takviyesiz MgB_2 kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları	41
Şekil 4.3. Takviyesiz MgB_2 kaplamaların SEM analizleri	42
Şekil 4.4. Hazırlanan nanopartikül takviyeli (SiO_2) MgB_2 kaplama çözeltisi	43
Şekil 4.5. 60°C Nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamaların takviye miktarı karşılaştırmalı XRD spektrumları	44
Şekil 4.6. 80°C Nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamaların takviye miktarı karşılaştırmalı XRD spektrumları	45
Şekil 4.7. 95°C Nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamaların takviye miktarı karşılaştırmalı XRD spektrumları	46
Şekil 4.8. 5 gl Nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları.....	47
Şekil 4.9. 10 gl Nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları.....	48
Şekil 4.10. 15 gl Nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları.....	49
Şekil 4.11. 60°C Nanopartikül takviyeli (SiO_2) MgB_2 kaplamaların SEM görüntüleri	50
Şekil 4.12. 80°C Nanopartikül takviyeli (SiO_2) MgB_2 kaplamaların SEM görüntüleri	51
Şekil 4.13. 95°C Nanopartikül takviyeli (SiO_2) MgB_2 kaplamaların SEM görüntüleri	52
Şekil 4.14. Deney numunelerinin değişkenlere göre sertlik değerleri dağılımları	54
Şekil 4.15. 60°C sabit sıcaklıkta SiO_2 nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	55
Şekil 4.16. 80°C sabit sıcaklıkta SiO_2 nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	57
Şekil 4.17. 95°C sabit sıcaklıkta SiO_2 nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	59

Şekil 4.18. 5 g/l sabit SiO ₂ nanopartikül takviye, değişken sıcaklığa göre	
Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	60
Şekil 4.19. 10 g/l sabit SiO ₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre	
Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	62
Şekil 4.20. 15 g/l sabit SiO ₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre	
Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	63
Şekil 4.21. SiO ₂ nanopartikül takviyesiz artan sıcaklığa göre Sürtünme	
katsayısı-süre ilişkileri.....	64
Şekil 4.22. Islanma açısı ölçümleri	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. XRD tekniğiyle ölçülebilen değişkenler ve malzemeler	19
Çizelge 2.2. Sertlik deneyleri.....	25
Çizelge 3.1. AISI 1020 çeliğine ait kimyasal kompozisyon	30
Çizelge 3.2. Kaplama öncesi taban malzemeler için yapılacak ön hazırlık işlemleri.....	31
Çizelge 3.3. Genel elektriksiz banyo bileşimi	32
Çizelge 3.4. MgB_2 kaplama deney planı.....	33
Çizelge 3.5. Aşınma deney şartları	37
Çizelge 4.1. Çözelti bileşenleri	39
Çizelge 4.2. Çözelti bileşenleri	43
Çizelge 4.3. Farklı işlem parametrelerine göre kaplamaların sertlik değerleri.....	53
Çizelge 4.4. AISI/SAE 1020 taban malzemenin ve Elektriksiz kaplama yöntemi ile üretilen takviyesiz MgB_2 ve SiO_2 nanopartikül takviyeli MgB_2 kaplamaların yüzey ıslanma açıları.....	65

1. GİRİŞ

İçerisinde bulunduğumuz yüzyılda teknolojinin çok hızlı ilerleme kaydetmesi, malzeme bilimcilerini piyasanın isteklerine cevap verebilecek özellikte yeni nesil malzemeler üretmeye mecbur etmiştir. 18. yüz yıldan itibaren, sanayi devriminin başlaması ile makinelerden istifade etme oranı çok hızlı bir şekilde artmış ve 20. yüzyılın ortalarında uzay çağıının başlaması ile bu alana tribolojik olarak cevap verebilecek nitelikli malzeme arayışı içerisine girilmiştir.

Triboloji biliminin asıl hedefi, bağlı hareket halinde olan yüzeylerin etkileşimi sırasında ortaya çıkan sürtünme, aşınma ve bunların istenmeyen etkilerinin azaltılmasını sağlayabilecek yağlama sistemi ve yağlayıcıların tasarlanması ve üretilmesidir.

Günümüzde neredeyse bütün mühendislik uygulamalarında sürtünme sonucunda meydana gelen aşınma, makine elemanları için büyük bir problemdir. Aşınmayı birkaç cümle ile tarif etmek gerekirse; teknik anlamda bir malzeme yüzeyinden diğer bir malzeme yüzeyine malzeme taşınımı veya aşınma parçacıklarının ortaya çıkması neticesinde meydana gelen malzeme kaybıdır. DIN 50320 standardına göre, aşınma ‘Kullanılan malzeme yüzeyinden çeşitli mekanik sebeplerle çok küçük parçaların ayrılması sebebiyle meydana gelen değişiklik’ olarak tanımlanmıştır. Moore’a göre aşınma, kullanılan malzemelerin yüzeylerine katı, gaz ve sıvıların temasının sebep olduğu çeşitli faktörlerle malzemenin yüzeyinden partiküllerin kopması sonucu oluşan yüzey bozulması veya yıkımı olarak tanımlanır.

Birbiriyle temas halinde olan mühendislik iş parça ve malzemelerinin sürtünmesi sonucu oluşan aşınma birçok makine teçhizatın kullanımı sırasında malzeme yıkımı ve sonuçta kullanılamaz hale gelmesine sebep olarak büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu yüzden aşınma teknik bir problem olduğu kadar, ekonomiyi de yakından ilgilendirmektedir. Şöyle ki sürtünme ve aşınma her geçen gün malzeme ve enerji kaybı

açısından ülke ekonomilerine büyük külfetler getirmekte ve özellikle makine elemanlarının kullanılamaz hale gelmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

1966 yılında, Peter Jost tarafından yapılan araştırmaya göre, 1965 yılında tribolojinin İngiltere'ye maliyeti, yıllık 515 milyon £ düzeyindedir. Yine, Batı Almanya'da yapılan benzer bir çalışmada, 1975 yılında aşınma ve sürtünmenin yarattığı zarar, yıllık 10 milyar DM olduğu belirtilmiştir. ABD'de eğer, ulaşım, makina, elektrik üretimi ve endüstriyel proseslerde tribolojik çözümler bulunabilirse, enerji tüketiminde %11 düzeyinde tasarruf edilebileceği belirtilmektedir. Örneğin, ABD'de sadece otomotiv sektörünün 1 yıllık enerji tasarrufunun 14.3 milyar dolar düzeyinde olduğu hesaplanmıştır (Stachowiak and Batchelor 2001). Yine bir diğer çalışmada aşınma sebebiyle oluşan hasarlar, gelişmiş ülkelerin gayri safi milli hasılasının %1-4'ü arasında ekonomiye yük getirmekte ve bu maliyetinde %36'sının abrazif aşınma kaynaklı hasarlardan oluştuğu bilinmektedir. OECD tarafından yapılan bir araştırmada, aşınmadan dolayı ortaya çıkan ekonomik kaybın ABD'de gayri safi milli hasılanın %2.5'i, Almanya'da ise %4.5'i olduğunu yaptığı bir çalışmada açıklamıştır (Sarı vd 2006).

Sonuç olarak sürtünme ve aşınma kaynaklı zararlar ülkelerin ekonomisini önemli ölçüde etkileyecek büyüklüktedir, bu yüzden bu etkiyi minimuma indirecek uygun malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır. Sürtünme ve aşınmayı minimize etmek için kullanılan iki yol vardır; bunlardan birincisi birbiriyle bağlı hareket yapan katı yüzeyler arasında bir akışkan (yağ vb.) veya bir katı (grafit, MoS₂, asbest vb.) ile yağlama yapmaktır. İkincisi ise bu yüzeyleri uygun bir yüzey işlemi (kaplama gibi) ile iyileştirilmesidir.

Yüzey işlemleri, taban malzemenin kütsel olarak sahip olmadığı nitelikleri kazandırmakta, ucuz ve kolay üretilebilen bir malzemenin yüzeyini değiştirerek hedeflenen özelliklere uygun malzeme üretmeyi sağlamaktadır. Malzemelerin yüzey işlemleri taban malzemenin özelliğini;

- Kaplama vasıtası ile (alaşım-bileşik-metal-seramik kaplama, organik kaplama, boya vs. inorganik kaplama cam, emaye, beton gibi)
- Bir başka maddenin yüzeyde yayındırılması ve taban malzeme ile bileşik oluşturması vasıtası ile (nitrürleme, karbonitrürleme, borlama, karbürleme gibi)
- Taban malzemenin kendi içyapısından kaynaklı oksit katmanlarının
 - Kalınlaştırılması (alüminyumun, titanyumun anodizasyonu)
 - Başka maddelerle tepkimeye sokularak daha dayanıklı olmasının sağlanması (kromlama, fosfatlama gibi) yolları ile değiştirilmesini kapsar.

Yüzey işleminin en büyük kazancı, ucuz bir taban malzemesinin yüzeyine yapılacak işlemlerle yüzey özelliklerinin istenilen kalite seviyesine çekilebilmesidir. Bu amaçla kullanılan yüzey işlemleri gaz fazı, çözelti hali, ergimiş veya yarı ergimiş faz olmak üzere üçe ayrılır. Çözeltiden kaplama yöntemleri içerisinde yer alan elektriksiz kaplama yöntemi, yüzeyleri kaplamak için elektrik akımına gerek duymaksızın redoks reaksiyonları eşliğinde gerçekleşen bir yöntem olup parçaların boyutlarından bağımsız olarak homojen kaplama kalınlığı sunan ucuz bir yöntemdir.

Elektriksiz kaplama metalik iyon kaynağı, indirgeyici madde, dengeleyici (stabilizer) ve diğer unsurları içeren bir banyo içerisine bir taban malzeme daldırıldığında bir potansiyelin oluşturulduğu otokatalitik bir işlemdir (Delaunois *et al.* 2000). Elektriksiz kaplama işlemi delikli, girintili, karmaşık geometriye sahip parçalar üzerinde üniform bir film yüzeyi oluşturabilmekte ve kaplama işleminden sonra ayrıca bir yüzey işlemi gerektirmemektedir.

Elektriksiz kaplama işlemi 1946 Brenner ve Riddell'in bu yöntemi icat ettiğinden beri çok çeşitli sanayi uygulamalarındaki ihtiyaç ve beklentileri karşılamak için değişimler geçirmiştir. Birçok elektriksiz kaplama yöntemleri içerisinde elektriksiz nikel kaplama sert, aşınma ve korozyona dirençli olduğu için petrokimya, kimyasal, plastik, optik, havacılık, nükleer, elektronik, bilgisayar vb sahalarda çok geniş kullanım alanı ve büyük bir rağbet görmüştür (Riedel 1991; Lewis and Marshall 1996).

Elektriksiz Ni-P kaplamalar elektriksiz kaplamalar içerisinde en çok kullanılan kaplamalardır (Krishnaveni *et al.* 2006). Son yıllarda ise elektriksiz nikel kaplamalar üzerine yapılan çalışmalar Ni-B kaplamalara kaymıştır, şöyle ki elektrikli ve elektriksiz üretilen Ni-P kaplamaların üretim ve özellikleri üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır (Mallory and Hadju 1990; Riedel 1991; Lewis and Marshall 1996; Nagamatsu *et al.* 2001).

Elektriksiz kaplama metalik iyon kaynağı, indirgeyici madde, dengeleyici ve diğer unsurları içeren bir banyo (elektriksiz kaplama çözeltisi) içerisine bir taban malzeme daldırıldığında bir potansiyelin oluşturulduğu otokatalitik bir sistemdir (Dervos *et al.* 2004). Birçok elektriksiz kaplama türü arasında elektriksiz nikel kaplama üniform, iyi mekanik ve tribolojik özellikler sunması bu yöntemi cazibeli kılmıştır (Gawrilov 1979; Mallory and Hadju 1991; Oraon *et al.* 2006). Elektriksiz nikel fosfor kaplama türü ise elektriksiz kaplamalar içerisinde ticari olarak en yaygın kullanılanı olmuştur (Riedel 1991). Son yıllarda yeni bir elektriksiz kaplama türü olarak gündeme gelen Magnezyumdiborür (MgB_2) filmler üzerindeki çalışmalar çok az sayıda olup ilgilenilen konu özellikle süper iletkenlik özelliği olmuştur (Parker 1972; Riedel 1991).

Maddenin ilk sentezi 1953 yılında yapılmıştır, fakat süper iletkenlik özelliği 2001 yılına dek keşfedilememiştir (Jones *et al.* 1954). Haliyle bu keşif malzeme bilimciler arasında büyük bir heyecan yaratmıştır. Bu yüzden Magnezyumdiborür (MgB_2) çok da yeni bir malzeme olmayıp 2001 yılında “Nature” dergisinde yayınlanan bir makale ile bu malzemenin süper iletken olduğu beyan edilmiştir (Nagamatsu *et al.* 2001). Bu malzeme 39 K’lık yüksek bir kritik sıcaklık değerine sahip olmakla beraber aynı zamanda yüksek bir kritik alan ve yüksek bir kritik akıma sahiptir. Magnezyumdiborür (MgB_2) oransal bileşime sahip, üretimi kolay ve ucuzdur. MgB_2 ’nin yoğunluğu alüminyuma göre daha düşüktür (yaklaşık 1.7 g/cm^3), özgül mukavemeti yüksektir, bu yüzden hafifliğin önemli olduğu alanlarda kullanımı avantajlıdır.

Günümüzde MgB_2 filmlerin üretilmesi için elektrokimyasal sentez (Jones *et al.* 1954), elektroforesiz esaslı yöntemler (Riedel 1991), sol-jel (Keong *et al.* 2002), moleküler

demetle epitaksi (Krishnaveni *et al.* 2006), iyon demetiyle epitaksi ve darbeli lazer başta olmak üzere birçok yöntem geliştirilmiştir (Parker 1972).

Elektrikli ve elektriksiz üretilen Ni-P kaplamaların üretimi ve özellikleri üzerine çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen (Gawrilov 1979; Duncan 1986; Mallory and Hadju 1991; Riedel 1991; Lewis and Marshall 1996; Hu and Bai 2001; Keong *et al.* 2002). Ni-B kaplamalar üzerindeki çalışmalar da yine asgari düzeyde (Krishnaveni *et al.* 2006) ve MgB_2 kaplamalar üzerindeki çalışmalar (Nagarajan *et al.* 2009; Vijayaragavan, *et al.* 2010) ise sadece iki tane araştırma olup odaklanılan bu kaplamanın süper iletkenlik özellikleridir ve mekanik, tribolojik ve korozyon özelliklerine dair hiçbir çalışma görülmemektedir.

Bu çalışmada düşük maliyetli ve düşük karbonlu AISI/SAE 1020 çelikler üzerine, elektriksiz kaplama sektörü için Ni-B ve Ni-P kaplamalara alternatif bir elektriksiz seramik ve kompozit kaplama olarak; takviyesiz ve SiO_2 nanopartikül takviyeli MgB_2 kaplamalar, 60, 80 ve 95°C değişken banyo sıcaklığında ve 5, 10 ve 15 g/l nanopartikül miktarında üretilmiştir. Üretilen kaplamaların kristalografik analizleri XRD (X ışını kırınım ölçer) ile morfolojik görüntüleri SEM (taramalı elektron mikroskop) ile, tribolojik davranışı pin-on-disk aşınma testi ile, sertlik özellikleri (Vickers uç kullanılan) mikrosertlik cihazı ile ve ıslanabilirlik özellikleri temas açısı ölçer ile tespit edilmiştir.

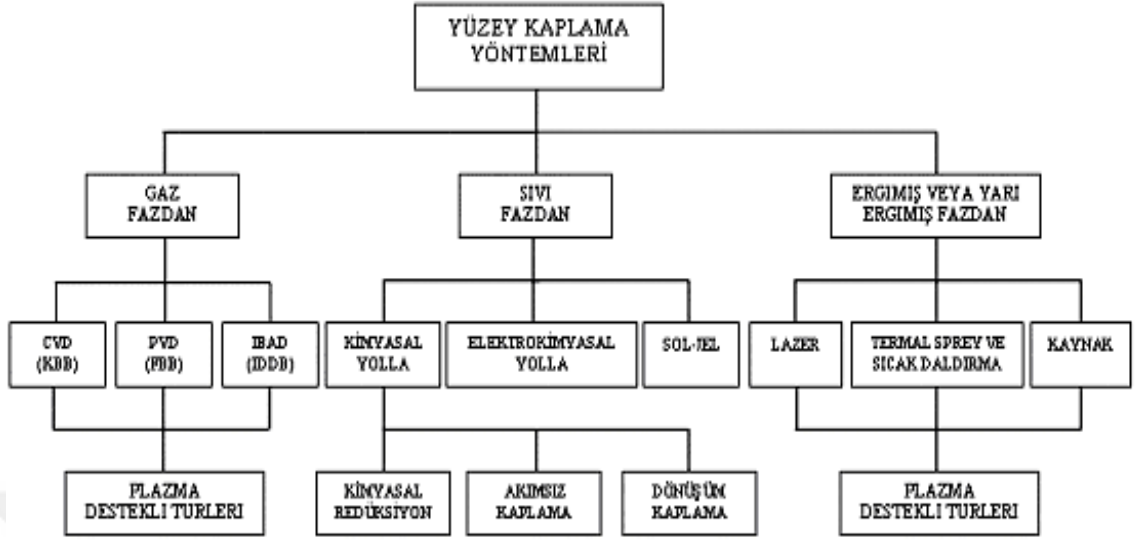
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yüzey İşlem Türleri

Malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek veya dekoratif açıdan çekici kılmak için birçok yüzey işleme tekniği geliştirilmiştir. Yüzeye malzeme ilavesi yapılıyor ise kaplama işlemi, yüzeyin mikro yapısı veya kimyası değiştiriliyor ise termokimyasal yüzey işlemi olarak adlandırılır. Yapılan bu işlemler taban malzemenin kütsel olarak sahip olmadığı özellikleri kazandırmakta, maliyeti düşük ve kolay elde edilebilen malzemelerin sadece çalışma yüzeyi değiştirilerek hedeflenen özelliklere ulaşabilmektedir.

Yüzey işlemi seçiminde taban malzemenin biçimi, ölçüleri, kaplama malzemesini istenen yapıda ve oranda oluşturabilmesi, kaplama sistem ve/veya cihazının kullanışlılığı ve maliyet gibi hususlar dikkate alınır.

İnsanoğlu eski çağlardan bu yana yukarıda bahsedilen hedefleri gerçekleştirmek için birçok teknik geliştirmiştir. Şekil 2.1’de geliştirilen bu farklı tekniklerin sınıflandırılması gösterilmiştir.



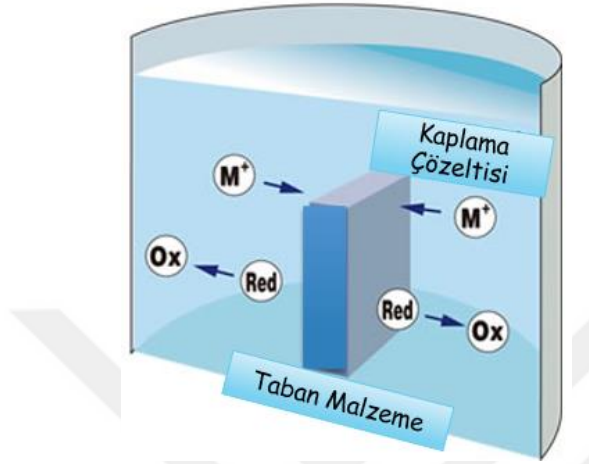
Şekil 2.1. Yüzey kaplama yöntemleri (Bunshatta 1980)

2.1.1. Elektriksiz kaplama yöntemi

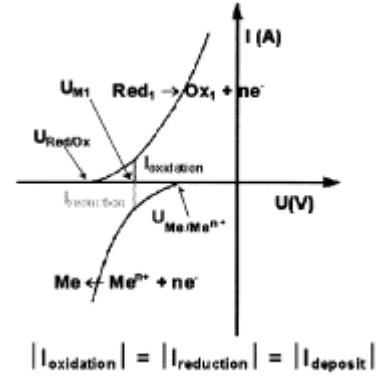
Yüzey kaplama yöntemleri arasında elektriksiz (electroless) kaplama yöntemi, taban malzemeye çökecek metal iyonlarının sulu ortamda oto-katalitiği ya da kimyasal olarak indirgenmesi esasına dayanır. Bu yöntem ile delikli parçalar kapanabildiği gibi, keskin köşeli/kenarlı parçalarda aynı kalınlıkta kaplanabilme, düşük maliyet ve dekoratif görünüm gibi üstün özellikler sunması açısından diğer kaplama yöntemlerine göre daha cazip bir kaplama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elektriksiz kaplama, bir indirgenme-yükseltgenme sürecidir (Şekil 2.3). Elektronlar, biri Me/Me^{n+} ve diğeri indirgen olan iki oksido (yükseltgeme)-indirgeme çiftleri arasında bir değiş tokuş olan bir çözelti içerisinde kimyasal bir tepkime ile tedarik edilir (Colloque GOTS 1984; Mallory and Hadju 1990; Riedel 1991). Oksidize (yükseltgenmesi) olması kolay (hazır) indirgeyici madde, çözelti içerisinde mevcut olduğunda, işlem elektriksiz indirgeme işlemidir. Parametreler doğru uygulandığında sınırsız kalınlıkta kaplama yapılabilir. Katalitik kaplamada, çözelti içerisindeki metal iyonlarının indirgenmesi, kontrol altındadır ve banyolar sadece metalik taban malzemeler üzerine kaplama yapar. Karışık çözelti ve dengeleyicilerin (stabilizer) ilavesi ile, çözeltideki indirgeme tepkimesi, termodinamik olarak mümkündür (potansiyel $U_{\text{ind/yüks.}}, U_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}$ sisteminin

denge potansiyelinden daha negatif olmalıdır (Şekil 2.3), fakat çok yavaş olan kinetiklerden dolayı meydana gelmeyebilir.



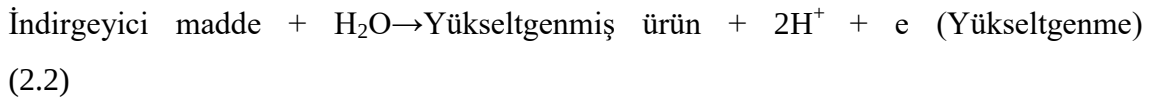
Şekil 2.2. Elektriksiz Kaplama Sistemi



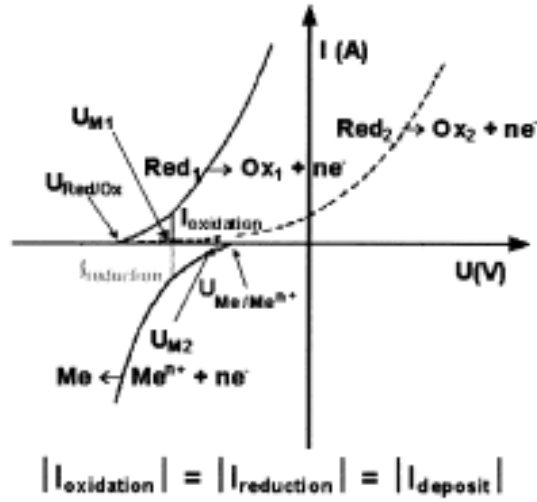
Şekil 2.3. Karışık potansiyelde kurulan denge



(2.1)



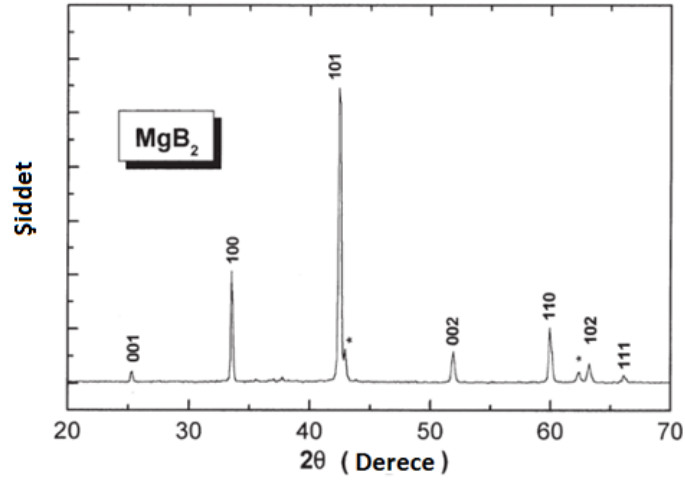
Katalitik yüzeyin daldırılması, bu ataleti kırar ve indirgeme tepkimesi, sadece daldırılmış katalitik yüzey üzerinde meydana gelir. Kaplanmış metal de katalitik olursa, tepkime, kendi kendine devam eder ve kaplamalar otokatalitik olarak tanımlanır (Delaunois *et al.* 2000). Bu nedenle, katalitik destekle, indirgeyici maddenin anodik yükseltgenme (oksidasyon) üst voltajı sınırlıdır ve karışık potansiyel daha negatif değerlere kayar (Şekil 2.4). Nankatalitik metal (İnd._{d2}) üzerinde elde edilen indirgeyici maddenin yükseltgenme eğrisi, $U_{Me^{n+}/Me}$ potansiyeline yakın bir değere kadar çok düşük yükseltgenme akımı sunar. Diğer taraftan, katalitik metal (İnd._{d1}) için elde edilen aynı eğri, bu $U_{Me^{n+}/Me}$ 'ye yakın bir önemli yükseltgenme akımına neden olur.



Şekil 2.4. Karışık potansiyelde dengenin kurulması - bir metalin katalitik gücü

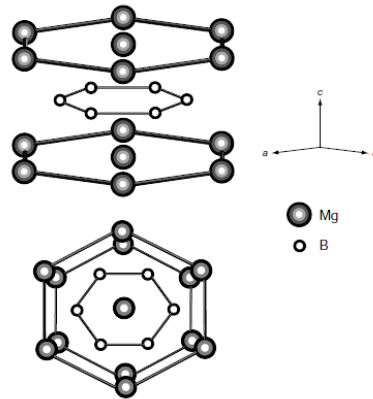
2.2. MgB₂ ve Özellikleri

Magnezyumdiborür (MgB₂) ucuz ve süper iletken malzeme olarak kullanımı kanıtlanmış bir materyaldir. Bu malzeme ilk olarak 1954 (Jones 1954) yılında sentezlenmiş ve yapısı tanımlanmış, fakat süper iletkenlik özelliği 2001 yılına dek keşfedilememiştir. Süper iletkenlik özelliği “Nature Dergisi”nde Mart 2001 yılında ilan edilmiştir (Nagamatsu *et al.* 2001). MgB₂ şimdiye dek bilinen en yüksek kritik sıcaklığa (39°K) sahip ikili bir bileşiktir. Ayrıca MgB₂ Tip-II (artan manyetik alanın aşamalı olarak nüfuz etmesi) süper iletken olması araştırmacılar arasında oldukça popüler olmasını sağlamıştır.



Şekil 2.5. Oda sıcaklığında MgB_2 'nin X ışını kırınımı spektrumu (Nagamatsu *et al.* 2001)

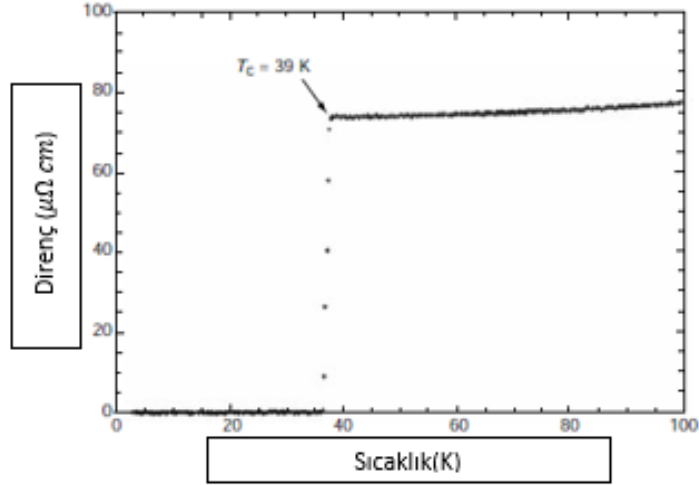
Şekil 2.5'de oda sıcaklığında alınmış tipik bir MgB_2 kırınım spektrumu görülmektedir. Bütün pikler $a=3.086 \text{ \AA}$, $c=3.524 \text{ \AA}$ olması itibariyle hegzagonal kafes yapılı olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.6. MgB_2 'nin kafes yapısı (Nagamatsu *et al.* 2001)

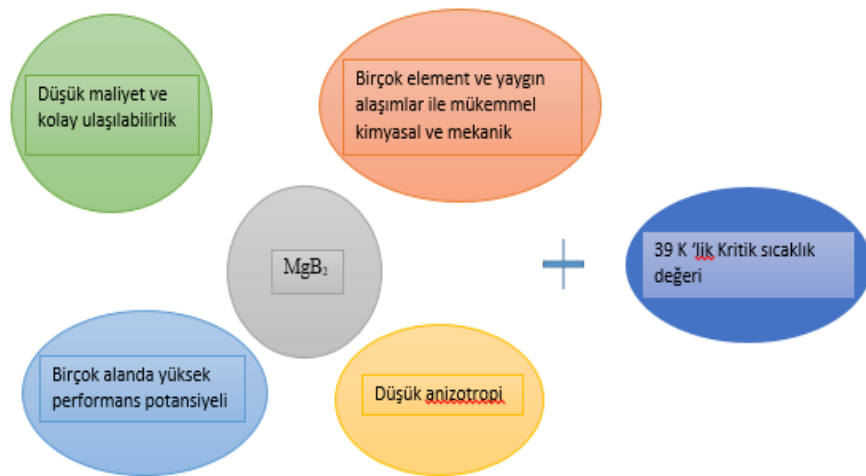
Şekil 2.6'da MgB_2 'nin kristal yapısı görülmektedir. Görüldüğü üzere bor atomları magnezyum atomları arasına bal peteği şeklinde sıralanmıştır. Her bor tabakasının yapısı yapıdaki bor atomları diğer bor atomları ile eşit mesafede oldukları için grafitin

tabaka yapısına benzerdir. Sonuç olarak MgB_2 hegzagonal yapının c eksenı boyunca sıralanan magnezyum ve bor tabakalarından oluşur.



Şekil 2.7. Sıfır manyetik alan altında MgB_2 'nin sıcaklığa bağlı elektriksel direnç değişimi (Nagamatsu *et al.* 2001)

Şekil 2.7'de sıfır manyetik alan altında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak MgB_2 'nin elektriksel direnci gösterilmektedir. Geçiş sıcaklıklarının başlangıç ve bitişi sırası ile 39°K ve 38°K olması, bu sistemde süper iletkenliğin tam anlamıyla fark edilebilmesini göstermektedir.



Şekil 2.8. MgB_2 kullanıma yönlendiren etkenler

Şekil 2.8’de görüldüğü üzere 39°K’lık yüksek bir kritik sıcaklık değerine ek olarak, düşük anizotropi, birçok element ve yaygın kullanılan alaşımlar ile mükemmel kimyasal ve mekanik uyumluluk, düşük maliyet ve kolay ulaşılabilirlik, ayrıca birçok alanda yüksek performans potansiyeli ile birçok araştırmacının dikkatini çekmektedir.

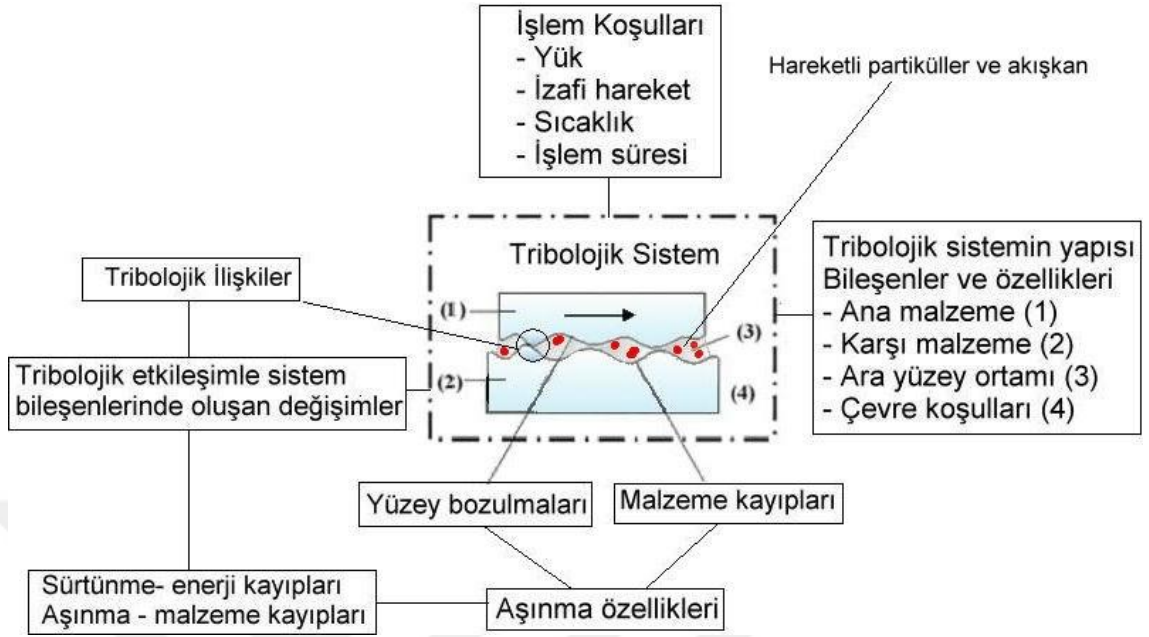
2.3. Aşınma

Birbiriyle temas halinde olan makine eleman ve parçalarının sürtünmesi ile ortaya çıkan aşınma, makine parçalarının ve bunların tasarımılandırılmasının başında gelen problemlerden biri olarak yer almaktadır. Bunun sebebi temas halinde olan yüzeyler, sürtünmenin oluşturduğu kuvvetler güç kaybına sebep olur. Aşınma ise makine parçalarının işleme toleranslarının kötüleşmesi sonucunu doğurmaktadır (Solmaz 2002).

Aşınma özetle tanımlanacak olursa, katı malzeme yüzeylerinden mekanik yollarla malzeme kaybının olmasıdır. Sanayide son ürün parçaların çeşitli sebeplerle iş göremez hale gelmesi sonucu değiştirilmesine neden olan sebeplerin başında gelmektedir.

DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarında aşınmanın tanımı, “kullanılan malzeme ve makine parçalarının başka malzeme ve makine parçalarıyla (katı, sıvı veya gaz) temas etmesi sonucunda mekanik etkenler sebebiyle yüzeylerden küçük parçacıkların kopmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey yıkımı veya bozulması” olarak ifade edilmektedir.

Genellikle aşınma; rulman yatakları, tekerlekler, her türlü kesici delici aletler, yol, yapı, inşaat ve tarım makinelerinde, türbin kanatçıklarında vb. gibi bütün karşılıklı temas ve sürtünmeli çalışan makine elemanlarının olduğu sistemlerde görülmektedir.



Şekil 2.9. Tribolojik bir sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi (Ulutan 2007)

Tribolojik bir sistemin şematik gösterimi Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Böyle bir sistemi oluşturan ana bileşenler; esas malzeme (aşınan), karşıt malzeme (aşındıran), yük, ara yüzey ortamı, sistemin bağlı hareketi ve çevredir.

2.3.1. Aşınma mekanizmaları

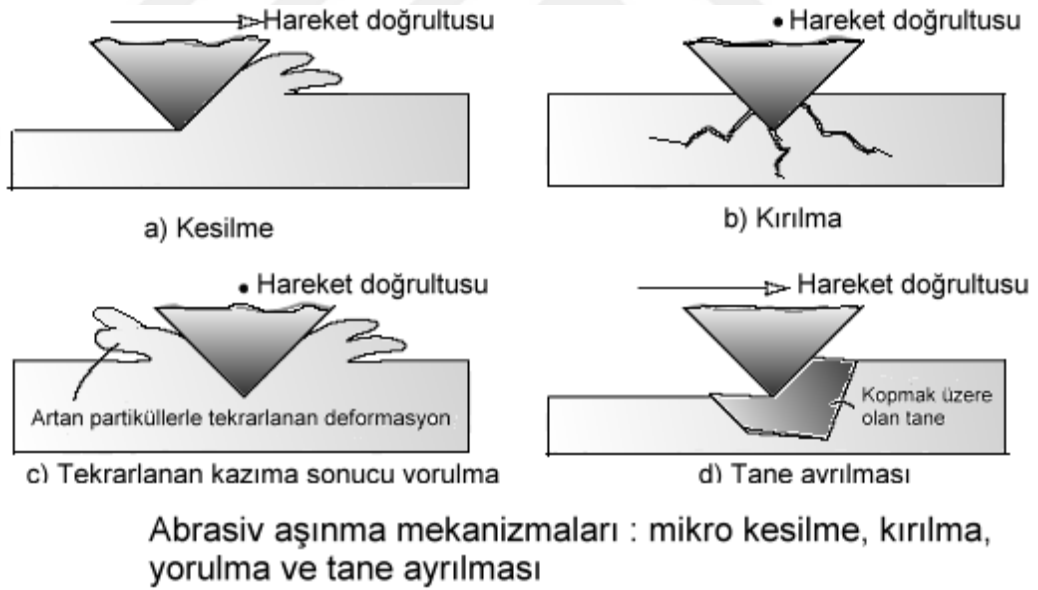
Çevre ve ortam koşulları etkisi altında malzemelerin temas noktaları etrafında oluşan kimyasal ve fiziksel değişimlerin çeşitliliği sebebiyle, uygulamada birden çok aşınma durumu ortaya çıkar. Bunlar; abrazif aşınma, adezif aşınma, yorulma aşınması, erozif aşınma, korozyon aşınması, öğütmeli aşınma, kazımalı aşınma ve oymalı aşınmadır.

2.3.1.a. Abrazif aşınma

Yüzeyden malzeme kaybına neden olan aşınma türlerinden biridir. Sanayide sıkça kullanılan talaşlı imalat yöntemlerinin temeli bu aşınma türüne dayanmaktadır. Sert parçacıkların kendilerine göre daha yumuşak bir malzemeye batması da bu aşınmaya

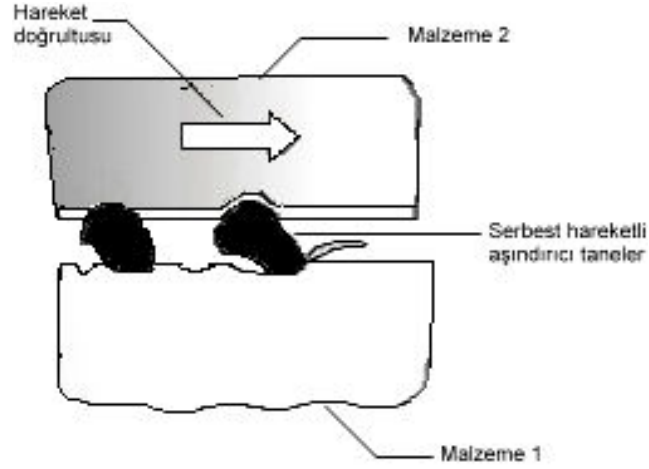
sebepe olabilmektedir. Buna örnek vermek gerekirse çalışan bir sisteme dışardan giren kum vb. aşındırıcı partikül veya bir motor silindrinde yanma ürünlerinin meydana getirdiği aşınma verilebilir.

Abrazif aşınma oranı, aşındırıcı parçacıkların şekli ve hacminin yanı sıra malzemeyi meydana getiren çeşitli fazların abrazyon özelliklerine bağlıdır. Örnek malzemenin sertliğinin aşındırıcıdan daha fazla olması durumunda aşınma oranında büyük oranda düşüşler meydana gelir (Bhushan and Gupta 1991). Bu tip aşınma olayında sert ve keskin parçacıklar, malzemenin yüzeyinden mikron boyutlarında talaş kaldırma sebeple olurlar. Bu aşınma türü, iki elemanlı ve üç elemanlı diye iki grupta sınıflandırılır. İki elemanlı abrasif aşınma, sürtünen sistem elemanların doğrudan temas ve etkileşimleri sonucu oluşur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Abrasif aşınma mekanizmaları (Stachowiak and Batchelor 2000)

Üç elemanlı abrasif aşınma olayında ise, ana ve karşıt malzeme arasında serbest halde hareket eden aşındırıcı tanecikler olabileceği gibi, aşınma oluşan yüzeylerden kopan parçacıklar da ara malzeme özelliği göstererek üçüncü bir eleman olarak ortaya çıkabilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Üç elemanlı abrazif aşınma (Ulutan 2007)

Abrazif aşınma olayında rol oynayan iki temel faktör; aşındırıcı parçacıklar ile metalin yüzeyi arasındaki sertlik farkı ve teması sağlayan basınç büyüklüğüdür. Abrazif aşınmanın hızını düşürmek için malzeme yüzeyine etki eden normal kuvveti azaltmak gerekir. Bu sayede partiküllerin yüzeye batma yolu ile yüzeye daha az nüfuz etmesi ve çapak kaldırması bakımından daha az iz bırakması sağlanır.

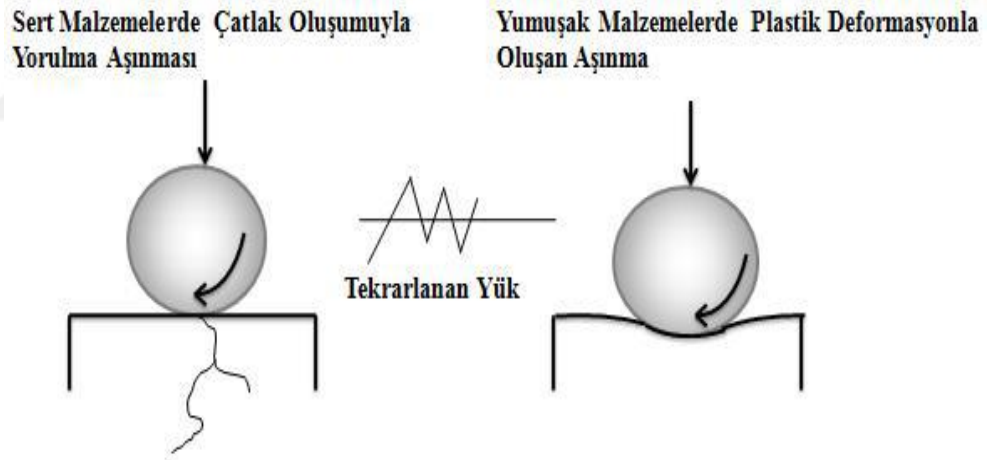
2.3.1.b. Adezif aşınma

Aynı kafes yapısına sahip iki metalik yüzey temas ettiğinde yüzeyler arasında adezyon kuvveti denilen bir çekim söz konusudur. Bu kuvvetin oluşabilmesi için malzeme moleküllerinin birbirine çok yaklaşması gerekir. Temas halinde olan iki metal yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşimde bulunurlar. Malzemenin ağırlığı veya bir dış kuvvetin etkisiyle, çok küçük olan pürüz tepelerine etki eden basınç ve gerilme çok daha büyük olur. Bu büyük kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrar. Şayet malzemenin deformasyon kabiliyeti fazla ise, adezyon alanları malzemelerin temas yüzeyine yayılır. Böylece malzeme yüzeyinde sıvı ve/veya gaz halde emilmiş bulunan moleküller ve oksit tabakaları parçalanır.

2.3.1.c. Yorulma aşınması

Malzemeler belirli sayılarda tekrar eden titreşim zorlamalarına maruz kaldığında bu aşınma türü meydana gelir. Yüzeyin maruz kaldığı tekrarlı yük sayısının fazla veya az olmasına göre yüksek çevrimli veya düşük çevrimli yorulmalı aşınma mekanizması oluşur (Bhushan 2001).

Tribolojik zorlanmalar çoğunlukla yüzeyde görülen, büyüklüğü zaman ve konuma göre değişen gerilme gibi mekanik etkiler sonucunda oluştuklarından dolayı bu aşınma türü birçok aşınma sürecinde görülür. Sonuç olarak malzemenin yüzeyinde çatlaklar oluşturur, buda malzemenin yüzeyinden partiküllerin ayrılması, çukur ve yüklerin oluşmasına sebep olur.



Şekil 2.12. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi (Ulutan 2007)

2.3.1.d. Eroziyon aşınma

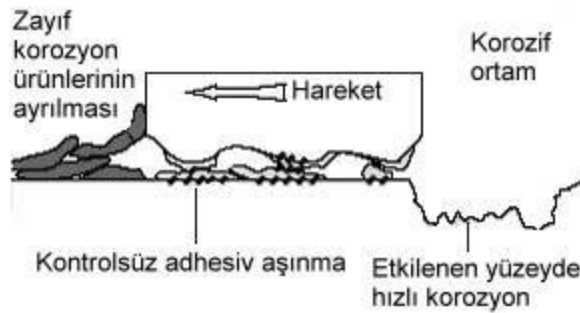
Eroziyon aşınma bir akışkan veya taşıyıcı herhangi bir sistem içerisindeki sert parçacıkların malzemenin yüzeyinden hızlı bir şekilde kayması ya da yuvarlanması sonucu, yüzey ile temas eden partiküllerin malzemenin yüzeyinden parça koparması ile meydana gelen aşınma olayıdır. Aşındırıcı partiküllerin boyutu, sahip olduğu hızı, şekli

ve malzeme yüzeyinin normali ile yaptığı çarpma açısı erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen önemli parametrelerdir (Mutlu 1996; Tekin 2009).

2.3.1.e. Korozyon aşınması

Sıvı ve gaz ortamlarında meydana gelen yüzey etkileşimlerinde malzeme yüzeyinde çeşitli kimyasal ve elektrokimyasal etkileşimler neticesinde reaksiyon ürünleri oluşur. Şayet bu ürünler malzeme yüzeyine güçlü bir şekilde tutunur ve ana malzeme gibi davranış sergiler ise aşınma mekanizması ana malzemeninkine benzer olabilmektedir. Bazı durumlarda ise reaksiyon ürünleri farklı aşınma mekanizmaları meydana getirmektedirler. Korozif ortam ve katı malzemelerin teması sonucu meydana gelen reaksiyon ürünlerinin etkin rol oynadığı bütünüyle farklı bir aşınma mekanizması meydana gelebilir. Korozif ortamla mekanizması hızlanmış olan bu tribokimyasal aşınma, korozyon aşınması olarak adlandırılır. Korozif aşınmada, tribokimyasal reaksiyonla yüzeyde bir reaksiyon tabakası meydana gelir. Aynı zamanda, bu tabaka sürtünme ile ortamdan uzaklaşabilir. Bu yüzden reaksiyon tabakalarının kısmen oluşum hızı ve bozulma miktarı bu mekanizmada aşınma oranını belirleyen temel etkindir. (Bhushan 2001).

Malzeme yüzeylerindeki kimyasal reaksiyonlar adeziv aşınmanın önlenmesi için faydalıdır. Fakat reaksiyonların kontrolsüz bir şekilde gerçekleşmesi önemli malzeme kayıplarına neden olmaktadır.



Şekil 2.13. Korozif aşınmanın şematik resmi (Stachowiak and Batchelor 2000)

2.3.1.f. Kazımalı aşınma

Fiziksel temas ile karşılaşan yüzeylerde bir miktar mikro kaynamanın meydana geldiği adezif aşınmaya kısmen benzemektedir. Adezif aşınma temas noktalarında birbirleri üzerinde izafi olarak kayan yüzeylerde oluşurken, kazımalı aşınma bağlı hareket etmeyen yüzeylerde olduğu görülür.

2.3.1.g. Oymalı aşınma

Oymalı aşınma, bir metal yüzeyine çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumunda, malzeme yüzeyinden bir parçanın kopması veya kesilmesi durumlarında karşımıza çıkar.

2.3.1.h. Öğütmeli aşınma

Öğütmeli aşınma, yüksek basınç ortamlarındaki partiküllerin metal malzeme yüzeyleri ile düşük hızlarda çarpışmaları sonucunda, malzemenin yüzeyinden partiküllerin kesilmesi veya çok sayıda küçük çizgiler açması ile kopması sonucu oluşur.

2.4. X Işını Difraksiyonu (XRD) İle Kristal Yapı Analizi

X- ışını kırınım (XRD) yöntemi, kristal yapıların tayininde sık sık kullanılan bir metottur. XRD'nin kullanışlı olmasının nedeni, güvenilirlik ve parmak izi hassaslığında verileri saptanmasından gelir. XRD tekniği, kristal düzlemin birim hücresinin boyutlarıyla beraber kristalin atom düzlemlerinin arasındaki uzaklığını belirleyen metottur. XRD yöntemiyle ölçümü yapılabilen malzemeler ve parametreler tabloda verilmiştir. Bu yöntemle basit inorganik katılardan protein ve DNA gibi yapılarında kristal yapı tayininde kullanılmaktadır. Bu kullanışlı metodun temelinde, numuneyle etkiyip ardından yansıyan ve girişen x- ışınına ait verilerin toplanarak elde edilir.

Çizelge 2.1. XRD tekniğiyle ölçülebilen değişkenler ve malzemeler (Şahin 2013)

Ölçülebilen Değişkenler	Ölçülebilen Malzemeler
Kristal örgü Değişkenleri	Monokristal (katı)
Kristalin yönelimi	Monokristal (ince film)
İnce film kristal kalınlığı, yoğunluğu ve pürüzlülüğü	Polikristal
Parçacıkların gözenek boyutu Por çapı analizi	Toz Numune

Hâlihazırda x ışınları kırınımı tekniği, incelenen numune çeşidine bağlı olarak kristalin sahip olduğu atom düzlemleri arasındaki uzaklığın, kristalin boyutunun, kristalin kusurlarının ve epitaksiyel filmlerdeki tespiti vb. çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Öte yandan, analiz edilen numunenin konsantrasyonu kırınım pikleri altında kalan alanı etkilemektedir. XRD analizlerinde 10^{-5} - 10^{-2} Å arasında monokromatik x-ışınları kullanılmaktadır. X ışınları tüpünde ısıtılan katotun yayınladığı elektronlar 20-120 kV'luk skaladaki bir gerilim altında hızlandırılmaya zorlanır. Hızlandırılmış ve yüksek enerji kazandırılmış bu elektron demeti anota çarpar çarpmaz, elektronlar anodun elektronlar kabuklarına hareket ederler. Sonra yüksek enerjili elektron demeti çekirdeğe yakın bir elektronla etkileşerek elektrorunu kabuktan ayırırsa, elektron kaybına bağlı olarak atom kararsız hal alır ve çıkarılan elektron yüksek enerji seviyesinde bulunan elektron tarafından doldurulur. Gerçekleşen bu olaydaki enerji farkı x-ışını olarak ortaya çıkar. Yayınlanan enerji Plank formülü yardımıyla hesaplanır.

$$E=h.c/\lambda \quad (2.3)$$

X-ışınlarının düzenli kristal ortamında saçılması halinde, saçılma oluşturan merkezlerin arasındaki mesafe ve ışığın dalga boyu ile aynı mertebede olduğundan saçılan ışınlar olumlu veya olumsuz girişim gerçekleştirirler. Gerçekleşen bu olaya “kırınım” adı verilir. Gelen x-ışını kristal yüzeyin altındaki atoma ulaşır ve bundan dolayı olayı yüzeysel olmamaktadır. Atomların düzensiz (amorf) olduğu bir yapıda kristal

düzlemine x-ışını demeti çarpması halinde kırınım meydana gelmez. Kristallerin düzlemlerinden yansıyan x-ışınlarının kat ettikleri yol uzunluklarının farklı olması sebebiyle olumsuz girişimi meydana getirir ve sönümlenme olayı sona erdiği için amorf yapıda kırınım gerçekleşmez. Bunun aksine, eğer x-ışınları atomlar arasında belirli mesafe olarak tanımlanan Bragg açısında uygun bir açıda etkileşirse veya çarpışırsa, yayılan ışınlar tarafından alınan yollar eşit mesafede olur ve bu olay olumlu girişime neden olur ve kırınım spektrumlarının oluşmasını sağlar. Kırınım spektrumunu gözlemleyebilmek için, x-ışınlarının atomların düzlemlerine çarpma açısı olan (θ), atomların düzlemlerinin arasındaki var olan mesafe (d) ve gelen x ışınlarının sahip dalga boyu (λ)'yı içeren bir bağıntı mevcuttur. Eğer x-ışınları demeti birbirine paralel atom düzlemlerine uygun θ açısıyla etkileşirse, kırınım olayı meydana gelir. Kristal düzlem tek bir kristal yapıdan meydana geliyorsa, x-ışınları kristal düzlemden aynı fazda saçılma gösterir. Bu saçılma ise kırınımın meydana geldiğini gösterir. Farklı kristal düzlemlerden yansıyan ışınlar detektöre ulaştıklarında aynı fazda olmaları gerekmektedir. Bunun için x-ışınlarının aldığı yolların uzunluğunun farkı ve λ veya λ 'nın tam katları olması gerekir. Bragg kanunu x-ışını kırınımı için gerekli koşulu ifade eden bağıntıyı içerir ve aşağıdadır.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2.4)$$

Kristalin yapısı, mükemmelliği, fazın saflığı ve kristal örgü sabitleri x-ışını kırınımı veya diğer kırınım (elektron veya nötron kırınımı) yöntemiyle saptanabilmektedir.

2.5. Taramalı Elektron Mikroskopu ile Yüzey Morfolojisi ve Elemental Analiz

Taramalı elektron mikroskopu (SEM-Scannig Electron Microscope) yüzeylerin morfolojik özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılır. Bu cihaz vasıtasıyla çok küçük cisimlerin yüksek büyütme oranları ile görüntüleri oluşturulabilir. Elektron mikroskoplarının optik mikroskoplara göre üstünlüğü yüksek enerjili elektronların ışıktan daha kısa dalga boylarına sahip olması sonucunda ayırma güçleri çok daha fazladır. Taramalı elektron mikroskopunda görüntünün oluşumu; oluşturulan elektron

demetinin çalışılan numune yüzeyi ile yapacağı fiziksel etkileşmelerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar) sonucunda üretilen sinyallerin toplanması ve değeriendirilmesi mantığına dayanır.

Çok ince odaklanmış elektron demetiyle örneğın yüzeyi ince tabakalar şeklinde taranıp başlangıç noktasına dönölür ve belirli aralık ile yüzey alanı bütünüyle taranıncaya kadar bu işleme devam edilir. Numune yüzeyi yüksek enerjili bir elektron demetiyle tarandığında numune yüzeyinden gelen elektronlardan farklı sinyaller elde edilir. Bunlar geri saçılmış elektronlardan, ikincil elektronlardan, X-ışını floresans elektronlarından, Auger elektronlarından ve diğeri fotonlardan elde edilen sinyallerdir. Yüksek enerjili bir elektron demeti numuneyle etkileşime girdiğinde bazı elektronlar geri saçılır. Bazıları ise X-ışını üretirken diğeri atomların dış kabuklarından düşük enerjili ikincil elektronları atarlar. Bunlardan biri ve/veya birkaçı tespit edilip, sinyal olarak verilir. SEM’de tarama numunenin haritasının çıkarılması gibidir. Büyütme oranı yüzeyin nokta büyüklüğünün elektron demetinin nokta büyüklüğüne oranı ile elde edilir.

Elektron demetinin büyüklüğü 10nm’den 1µm’ye kadar değışebilir ve dolayısıyla taramalı elektron mikroskobundan x15 büyütme oranından x10¹⁵ oranına kadar büyütme oranı sağlanabilir (Skoog *et al.* 1996).

Taramalı elektron mikroskoplarının bazı türlerinde, elemental analiz için kullanılmak üzere enerji ayırmalı X-ışını (EDX) spektrometresi içerir. EDX analizi sırasında, numune yüzeyi yüksek enerjili bir elektron demetiyle bombardıman edilir ve numune yüzeyinden yayınlanan karakteristik X-ışınları saptanır. Numunenin elektronlarının gelen elektronlarla etkileşip orbitalinden ayrılması ile üst yörüngelerden daha yüksek enerjiye sahip elektronlar boşalan yerleri doldurur. Böylece elektronun sahip olduğı fazla enerji karakteristik bir X-ışını yayınlanarak dışarı verilir. Numunenin sahip olduğı her metal karakteristik bir X-ışınına da sahiptir. Numune bünyesinde ki metallerin yoğunluğu bu ışınların şiddetleri ile orantılıdır. Böylece numuneyi oluşturan maddeler ve bunların kimyasal bileşimde ki oranları tespit edilebilmektedir. X-ışını spektrumu analizi EDX’e alternatif olarak dalga boyu ayırmalı X-ışını (WDX) metodu ile de

gerçekleştirilebilir. Fakat EDX metodu mikro analize daha uygun olduğu için genellikle daha çok tercih edilmektedir. EDX metodunun dezavantajı ise WDX metodunun sahip olduğu 10 eV civarındaki kararlılık değeriyle karşılaştırıldığında yaklaşık 150 eV'in altında kararlılıkta olmasıdır.

Bu çalışmada numunelerin yüzey morfolojileri ve elemental analiz Atatürk üniversitesi bünyesinde Doğu Anadolu yüksek teknoloji uygulama ve araştırma merkezinde bulunan Zeiss sigma 300 model SEM ve EDX kullanılarak yapılmıştır. Numuneler elektriksel olarak iletken olduğundan dolayı numuneye özel bir ön hazırlık yapmaya gerek kalmadan SEM'de incelenmiştir.

2.6. Sertlik Ölçümü

Bir malzemeye daha sert başka bir malzemenin batmasına, çizmesine karşılık gösterdiği dirence sertlik denir. Sertlik bir metalin kalıcı şekil değişimine karşı gösterdiği direncinde bir ölçüsüdür Bir malzemenin sertliği yüzeyine batıcı bir uç batırılarak belirlenir. Bu batıcı uç genellikle küre, piramit ve koni şeklinde olup deneye tabii tutulan malzemenin sertliğinden çok daha sert bir metalden yapılır. Tungsten karbür, elmas ve sertleştirilmiş çelik en yaygın kullanılan batıcı uç malzemelerindendir. Standart sertlik deneylerinin çoğunda yük batıcı ucu yavaşça malzeme yüzeyine dik olarak batırır. Belirli bir süre bekledikten sonra uç yüzeyden kaldırılır ve batma kesit alanı (batıcı ucun oluşturduğu iz) esas alınarak malzemenin sertlik değeri hesaplanır. Yaygın olarak kullanılan sertlik deneyleri; Brinell, Vickers, Knoop ve Rockwell sertlik ölçüm deneyleridir.

Genel anlamda malzemelerin sertliği;

$$F/A \quad (2.5)$$

F:Uygulanan Kuvvet(N)

A:Malzeme yüzeyinde oluşan izin alanı (mm²)

Bütün deneylerde sertlik değerleri birimsiz olarak verilir. Birim yerine söz konusu deneyin kısa işareti yazılır. Sertlik ölçümü yapılırken kullanılan yöntem hangisi olursa olsun numunelerin üzerinde birkaç kere (en az üç) ölçüm yapıp ortalaması alınmalıdır. Şayet uç değerler çıkar ise ortalamaya dâhil edilmezler.

2.6.1. Brinell sertlik deneyi

Brinell sertlik ölçüm yöntemi; deney numunesinin yüzeyine belirli bir yükün (P) belirli bir çapa sahip (D) çelik veya volfram karbür gibi sert bir malzemeden imal edilmiş bir bilye yardımıyla belirli bir zaman aralığında uygulanması sonucunda metal yüzeyinde kalıcı bir iz (d) oluşturma prensibine dayanır. Sonrasında uygulanan yükün elde edilen bu izin küresel yüzeyin alanına bölünmesi işlemi sonucunda Brinell sertlik değeri bulunur (Çizelge 2.3).

2.6.2. Vickers sertlik deneyi

Bu sertlik ölçüm yönteminde batıcı uç 136° tepe açısına sahip olan elmas kare piramittir (Çizelge 2.3). P yükü ile deney numunesine batırılan kare piramit ucun dörtgen biçimindeki izin köşegenlerinin ölçülmesiyle elde edilen ortalama köşegen uzunluğu formülde yazılarak sertlik değeri elde edilir (Çizelge 2.3). Deney sırasında kullanılan yük 1-120 kgf arasında değişebilir. Bu sertlik ölçüm metodu çok yumuşaktan çok sert skaladaki malzemelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi için uygundur. Kullanılan yük düşük olduğu için ince film kaplamalarda kullanımı uygundur. Bu yöntemin avantajı oldukça doğruluğu yüksek sonuçlar vermesi ve çok çeşitli metaller, işlem görmüş çeşitli yüzeyler için tek bir tip batıcı uç ile ölçüm yapılabilmesidir.

2.6.3. Knoop sertlik deneyi

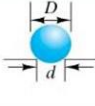
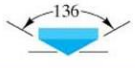
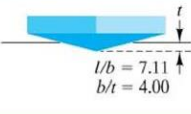
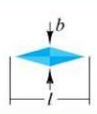
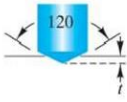
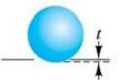
Bir deney malzemesinin göreceli mikro sertliği Knoop sertlik ölçme metodu ile belirlenebilir. Bu yöntemde $172^\circ 36'$ tepe açısına sahip piramit uç kullanılır ve numune üzerinde bir kenarının uzunluğu diğerinin yaklaşık 7 katı olan eşkenar dörtgen bir iz

bırakır. Vickers sertlik belirleme yöntemine göre daha düşük yükler uygulanır. Knoop sertlik ölçme metodu cam, seramik vb. gibi oldukça gevrek yapıya sahip malzemelerin sertliğinin ölçülmesine yöntem oluşturur. Deney malzemesi üzerine genellikle 1 kgf'den daha az bir yük uygulanır.

2.6.4. Rockwell sertlik deneyi

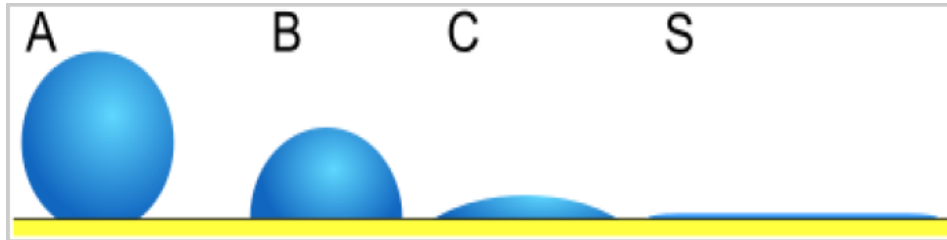
Rockwell Sertlik Deneyi (RSD), yapımının çok basit olması ve tecrübe gerektirmemesinden sebebiyle sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Rockwell sertlik değeri batma derinliği yardımıyla bulunan birimsiz bir sayıdır. Yumuşak malzemeler için bilye batıcı uç, sert malzemeler için ise elmas konik uç olmak üzere iki çeşit batıcı uca sahiptir. Bu metot da uç, deney malzemesi üzerine 10 kg'lık bir önyüklemeye ile batırılır. Ardından uca deney yükü uygulanarak malzeme yüzeyindeki derinlik ölçülür. Uygulanacak yükün miktarları batıcı ucun cinsine göre Çizelge 2.3'de verilmiştir. Çok sert malzemelerde sertliği ölçmek için koni elmas batıcı uç kullanılır ve 150 kg'lık yük altında deney yapılır ve okunan değer RSD-C ibaresi ile gösterilir.

Çizelge 2.2. Sertlik deneyleri (Hayden *et al.* 1965)

Deney	Batıcı Uç	Batma izinin şekli		Yük	Sertlik Değeri Formülü
		Yandan Görünüş	Üstten Görünüş		
Brinell	10 mm Çelik veya volfram karbür küre			P	Brinell sertlik değeri $= \frac{2P}{\pi \times D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Elmas piramit			P	Vickers sertlik değeri $= 1.854 \times P/d_1^2$
Knoop Mikrosertliği	Elmas piramit			P	Knoop sertlik değeri $= 14.2 \times P/l^2$
Rockwell					
A } C } D }	Elmas koni			60 kg 150 kg 100 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$ $\left. \begin{matrix} 100 - 500t \end{matrix} \right\}$
B } F } G }	1/16 inç çapında çelik küre			100 kg 60 kg 150 kg	$R_B =$ $R_F =$ $R_G =$ $\left. \begin{matrix} 130 - 500t \end{matrix} \right\}$
E } H }	1/8 inç çapında çelik küre			100 kg 60 kg	$R_E =$ $R_H =$

2.7. Islanabilirlik

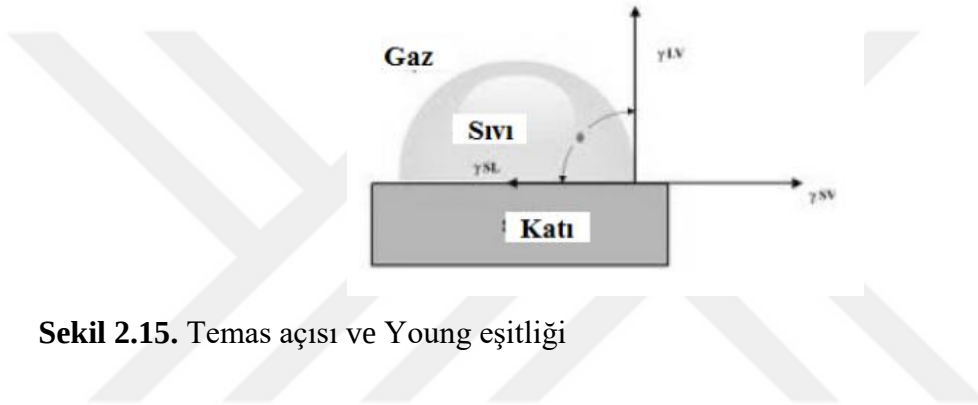
Islanma sıvının katı bir yüzeyle temas etme yeteneğidir. Islanma katı ve sıvının temas ile bir araya geldiğinde oluşan moleküler etkileşmeye dayanır. Islanma prensibinde sıvının yoğunluğuna ek olarak katı yüzeyin mikro yapısı da önemlidir. Sıvının yoğunluğu fazlaştıkça, katı yüzeyine ya da yayılabileceği bir başka ortama kolaylıkla yayılır (daha da ıslatır).



Şekil 2.14. Farklı akışkan türlerinin sebep olduğu ıslanma A çok küçük ıslatabilme yeteneğine sahip bir akışkanı gösterirken, C'nin ıslatabilme yeteneği daha büyüktür (Anonim 2016)

2.7.1. Temas açısı

Katı bir yüzey ile temasta olan bir sıvının meydana getirdiği açıya temas açısı denir. Temas açısı “ θ ” ile ifade edilir (Sekil 2.14). Katı bir numune yüzeyine bir sıvı damlatıldığında zaman, damlanın şekli temasta olduğu katı numunenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak biçimlenir. Yüzey gerilimi ve temas açısı arasındaki ilişki ise ilk defa Young tarafından 1804 yılında (Eşitlik 2.6) ifade edilmiştir.



Sekil 2.15. Temas açısı ve Young eşitliği

Young eşitliği;

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \times \cos \theta \quad (2.6)$$

γ_{SG} : Katı ile gaz yüzeyler arasındaki gerilim

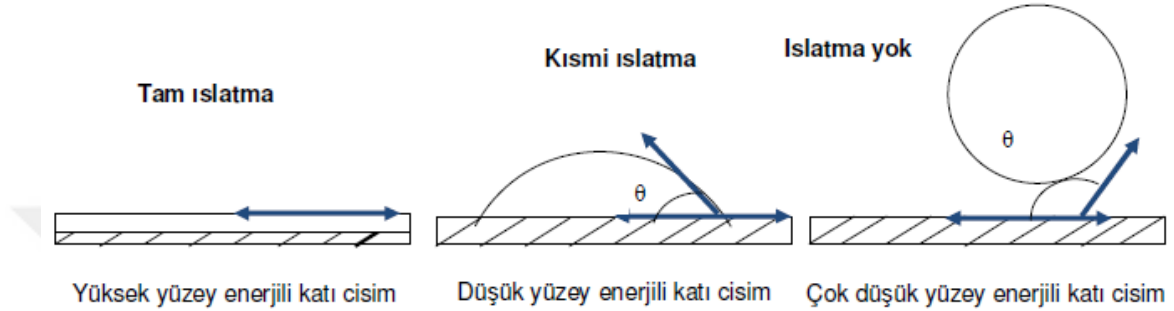
γ_{SL} : Katı ile sıvı yüzeyler arasındaki gerilim

γ_{LG} : Sıvı ile gaz yüzeyler arasındaki gerilim

θ : Temas açısı

Young eşitliği sadece sıvının yüzeyi düzgün, pürüzsüz, homojen, çözünmeyen ve ölçüm alınacak sıvı ile etkileşime giremeyen katı numune yüzeylerinde kullanılabilir. Young eşitliğinde damlanın hareket etmesine dek, 3 fazın yüzeysel gerilimlerinin toplamı sıfırdır. Katı yüzeyler genellikle yüksek ya da düşük enerjili yüzey olarak tanımlanırlar. Yüksek enerjili katı numune yüzeylerinde sıvı numune yüzeyinde düzgün biçimde dağılır, ince bir film meydana getirir. O halde temas açısının sıfır olduğu görülür, ayrıca

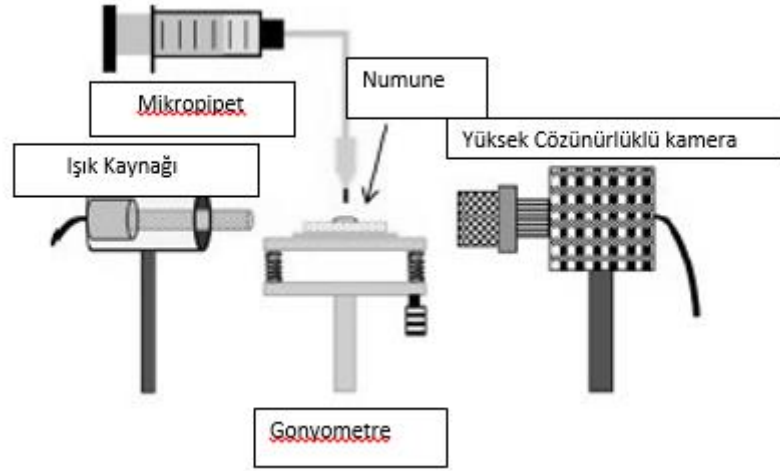
yüzey bütün bir şekilde ıslanır ve hidrofilik diye adlandırılır. Benzer biçimde düşük enerjiye sahip numune yüzeylerinde su damlacıkları ayrı ayrı konumlanırlar. Bu durumda temas açısı ($> 90^\circ$) ve ayrıca yüzeyde hidrofobik diye adlandırılır (Şekil 2.16). Su damlaları düşük enerjiye sahip yüzeylerden ayrılmaya çalışır (Aydar 2012).



Şekil 2.16. Sıvıların farklı yüzey enerjilerine sahip katı yüzeylerinde ıslatma davranışları (Mirsasaani *et al.* 2011)

Temas açısı katı-sıvı ve gaz yüzey arasındaki etkileşim ve gerilimlere bağlı biçimde değişir (Aydar 2012). Katı ve buhar arasındaki yüzey gerilimi katı ve sıvı arasındaki yüzey geriliminden büyük ise oluşan temas açısı $0-90^\circ$ skalası arasında değer alır, aksi bir durumda temas açısı $90-180^\circ$ skalası arasında değer alır. Büyük temas açısının meydana gelmesi sıvının etkileştiği yüzeyden akıp ayrılacağının göstergesi iken, küçük temas açısının ise sıvı temas ettiği yüzeyi ıslatacağı manasına gelir (Adomsan 1990; Aydar 2012).

Sıvıların oluşturduğu temas açılarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan metotlardan biri “Sessile Damla Metodu” dur ve bu metotla oluşan temas açısının tespitinde gonyometre cihazı diye adlandırılan bir cihaz kullanılır (Şekil 2.17). Temas açısının belirlenmesi istenen sıvı, bir mikro pipet yardımıyla damlacık biçiminde katı bir yüzeye damlatılır. Bu mikro damlanın yüksek çözünürlüğe sahip bir kamera vasıtasıyla görüntüleri ve ayrıca fiziksel özellikleri önceden belirlenen süre boyunca kaydedilir ve sanal ortama aktarılarak test edilen sıvının numune yüzeyi ile temas açıları hesaplanır (Aydar 2012).



Şekil 2.17. Gonyometre cihazı (Aydar 2012)

Gonyometre cihazının ana unsurları damlanın serbest bırakıldığı hücre, ışık kaynağı, mikro şırınga (mikro pipet), yüksek çözünürlüklü bir kamera ve bir bilgisayardan meydana gelir.

2.7.2. Hidrofobik (Suyu İten) ve Hidrofilik (Suyu Çeken) Yüzeyler ve Kullanım Alanları

Yunancada “hydro” ‘su’, “phobos” ‘korku’, “philia” ise ‘arkadaşlık’ anlamına gelir. Bunları sırası ile birleştirirsek hidrofobik sudan korkan, yani suyu sevmeyen; hidrofilik ise suyla arkadaş yani suyu seven anlamına geliyor. Süperhidrofobik ve süperhidrofilik ise sudan nefret eden ve suyu çok seven demektir. Bu yüzeyler suyla yaptıkları değme açısına göre adlandırılırlar. Değme açısı bir katının bir sıvı tarafından ıslatılma miktarının nicel ölçümüdür. Değme açısı, 90 dereceden küçükse sıvı yüzeyi ıslatıyor; 90 dereceden büyükse ıslatmıyor denir. Su damlası yüzeyde yayılma eğilimi gösteriyorsa buna hidrofilik yüzey; damla yayılmak yerine küresel bir şekilde durma eğilimi gösteriyorsa hidrofobik yüzey adı verilir. Eğer yüzeyler bu eğilimleri çok fazla gösteriyorsa, yani su damlası tamamen yayılıyorsa ve yüzeyle yaptığı açı 5 dereceden küçükse (0 dereceye yaklaşıyorsa) buna süperhidrofilik; damla nerdeyse küresel bir

şekilde duruyorsa ve yüzeyle yaptığı açı 150 dereceden büyük ise (180 dereceye yaklaşıyorsa) süperhidrofobik yüzeyler denir (Özgür vd 2007).

Süperhidrofobik ve süperhidrofilik yapıların çok çeşitli kullanım alanları vardır. Süperhidrofilik çukurcuklar sayesinde suyu tutan ve süperhidrofilik oluklar vasıtasıyla toplanan su damlacıklarını kanalizasyon ederek biriktiren yüzeyler sayesinde verimli ve ucuz bir su toplama yöntemi geliştirmek mümkündür (Özgür vd 2007) .

Sağlık sektöründe düzenli ve kasıtlı bir şekilde sıralanmış süperhidrofilik ve süperhidrofobik yüzeyler sayesinde sadece istenilen noktaya ilaç verebilmek için kullanılabilir (Özgür vd 2007).

Süperhidrofilik yüzeylerde yayılan su yüzeydeki kiri de beraberinde sürüklemesiyle kendi kendini temizleyebilen yüzeyler oluşturabilmektedir. Bu sayede hem yüzeyler aşınmadan temizlenebilir hem de temizlik için kullanılan kimyasalların ekonomik yükü kalkar. Süperhidrofilik yüzeye sahip bir cam, ayna vb. hiçbir zaman buğulanmaz çünkü yüzey tamamen su damlacıklarıyla kaplanır ve aynadaki görüntü rahatlıkla görülebilir. Otomobil camlarının iç kısımlarına bunun uygulanmasıyla camların buğu yapması engellenebilir (Özgür vd 2007).



Şekil 2.18. Buğulanmayan banyo aynası ve açık havada durmasına rağmen kendi kendini temizlediği için kirlenmeyen çadır (Özgür vd 2007).

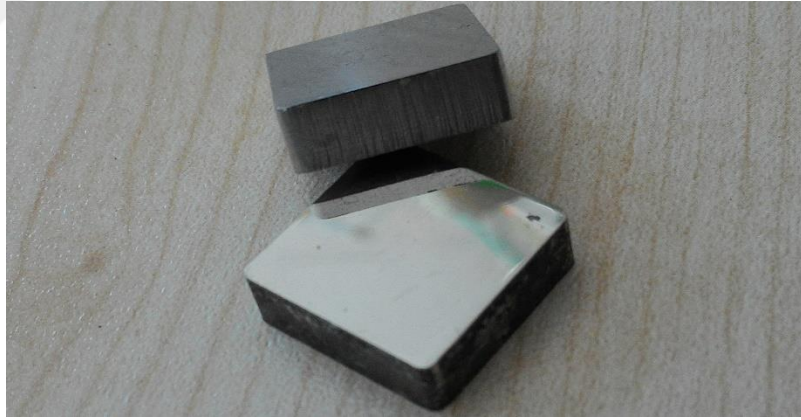
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada taban malzeme olarak $15 \times 15 \times 5 \text{ mm}$ ölçülerinde kare numuneler şeklinde ticari olarak temin edilen AISI 1020 çeliği kullanılmıştır. Bu taban malzemeye ait kimyasal bileşim tabloda verilmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 1020 çeliğine ait kimyasal kompozisyon

Taban malzeme	C	Si	S	Mo	Al	Cu	Mn	P	Cr	Ni
AISI 1020	0.207	0.102	0.006	0.019	0.017	0.1	0.441	0.007	0.095	0.078



Şekil 3.1. AISI 1020 çeliği deney numuneleri

3.1.1. Taban malzemenin hazırlanması

Çelik yüzeyinin kaplanabilmesi için yüzeylerdeki kirleticilerin temizlenmesi ve yüzey aktivasyonunun sağlanması gerekmektedir. Çünkü taban malzemenin yeter derecede temizliğinin yapılmaması, taban malzeme-kaplama arasındaki adezyonu kötüleştirir, pürüzlülük, kaplamada gözeneklilik meydana getirerek çabuk bozunmaya sebep olur.

Buna göre, uygun ebatlarda kesilen ve pah kırma işlemlerinden geçirilen taban malzemelere, kaba parlatma (farklı mesh zımparalar ile 1200 meshe kadar $R_a \leq 0,1 \mu m$ olacak şekilde) ve ince parlatma (alümina ile) işlemleri yapılmıştır. Kaplamadan önce yapılacak adımlar Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Kaplama öncesi taban malzemeler için yapılacak ön hazırlık işlemleri

Mekanik Parlatma (Kaplama öncesi ön hazırlık sürecinde 15 × 15 × 5 mm ölçülerinde kare numunelerin bütün yüzeyler 400’lük zımpara kâğıdı ile kaba zımparalama işlemine tabii tutulmuştur ve bir yüzeyi sırasıyla 600, 1000,1200’lük zımpara kâğıdı ile ince zımparalama işlemine tabii tutulmuştur.)
Etil alkol ile temizleme
Durulama
Yağ alma
Durulama
Asitle Dağlama

3.2. Elektriksiz Kaplama, Banyo Bileşenleri ve Kaplama Parametreleri

Taban malzeme olarak kullanılan AISI 1020 çelik alaşımları üzerine büyütülecek MgB_2 ve SiO_2 nanopartikül takviyeli MgB_2 kaplamalar, herhangi bir elektriksel güç tertibatına ihtiyaç duyulmadan, Çizelge 3.4’te belirtilen muhtemel şartlara göre, kimyasal çözeltiler yardımıyla oluşturulan indirgenme ve yükseltgenme süreçleri ile gerçekleştirilecek Elektriksiz (electroless) kaplama yöntemi ile üretilmiştir.

Çizelge 3.3’te banyo bileşenlerinin görevleri verilmiştir. Elektriksiz banyoları kontrol eden temel parametreler, metal iyon miktarı, bileşik yapıcı (complexing agent) madde miktarı, sıcaklık, pH, dengeleyici (stabilizer) miktarı, banyo yaşı, banyo yükü ve karıştırıcıdır (Mallory and Hadju 1990; Riedel 1991). Literatür çalışmaları dikkate alınarak, elektriksiz MgB_2 kaplama işleminde kullanılan bileşenlerin işlevleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

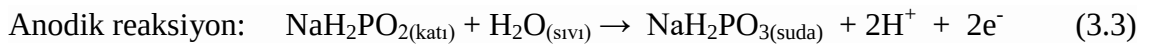
Çizelge 3.3. Genel elektriksiz banyo bileşimi

Bileşikler	İşlevi
Metalik iyonlar	Kaplanacak metal kaynağı
İndirgeyici madde	Elektron kaynağı
Bileşik yapıcı madde	Metalle bir bileşik (kompleks) oluşturur: metalik iyon çözünürlüğünü artırır, hidroksitlerin çökmesini önler, bu da kararlılığı artırır.
Dengeleyici	Kararlılığı artırır

AISI 1020 taban malzeme üzerinde meydana gelen reaksiyon aşağıdaki gibidir;



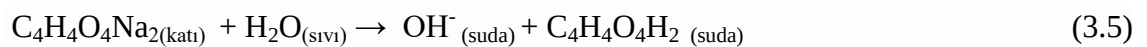
Sodyumhipofosfit (NaH_2PO_2) bor iyonlarını indirgemek için indirgeyici olarak görev yapar;



Sodyumasetat ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na}$) tampon PH'ı dengeler.



Sodyumsuksinat reaksiyondaki serbest elektron miktarını kontrol eden kompleks yapıcı maddedir.



Dimetilsulfoksit ($\text{CH}_3)_2\text{SO}$ bir dengeleyici olarak katodik reaksiyonu yönlendiren katalitik olarak aktif olan kaplamayı koruyarak banyonun ayrışmasını dengeler.



3.2.1. Kaplama banyosunun hazırlanması

Taban malzemenin ön hazırlık sürecinden geçirilmesinden sonra uygulanan kaplama deney planı Çizelge 3.4'te ve kullanılan kaplama ekipmanı Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. MgB_2 kaplama deney planı

Nanopartikül Eklentisiz Kaplama Deney Parametreleri				Nanopartikül Eklentili Kaplama Deney Parametreleri			
Süre(dk)		Sıcaklık(°C)		Süre(dk)	Sıcaklık(°C)	Nanopartikül Mik.(g/l)	
60	60	80	95	60	60	5	
						10	
						15	
						80	5
							10
							15
						95	5
							10
							15



Şekil 3.2. Elektriksiz kaplamada kullanılan ekipman

3.3. XRD ve SEM Çalışmaları

Yapısal karakterizasyon için AISI 1020 taban malzemeler üzerine, elektriksiz kaplama yöntemi ile büyütülen filmlerin yapısal analizleri, $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$ (0,154 nm) dalga boyuna sahip Cu-K α kaynaklı Pananalytical Empyrean XRD (X ışını kırınım ölçer, Şekil 3.3) cihazı ile yapıldı. XRD analizleri 10° ile 100° tarama aralığında, $1,5^\circ/\text{dak}$ tarama hızında ve $0,1$ derece tarama adımında gerçekleştirildi. Filamente ise 45 kV ve 40 mA'lık bir enerji uygulandı. Filmlerde oluşan kırınım pikleri neticesinde elde edilen grafikler, XRD cihazına bağlı ve kumanda eden bilgisayarda var olan standart pik listeleri ile karşılaştırılarak değerlendirildi.



Şekil 3.3. X ışını kırınım ölçer

AISI 1020 taban malzemeler üzerine kaplanmış MgB_2 ve SiO_2 nanopartikül takviyeli filmlerden her bir deney için film kalınlıklarının ve yapı içerisinde bulunan elementlerin yüzde miktarlarının tespiti için Taramalı elektron mikroskop (SEM- Zeiss, Sigma 300) ve Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) kullanıldı (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskop

3.4. Mikrosertlik Ölçümü

Yüzey kaplama işlemleri yapılmış numunelerin yüzey sertliklerini ve taban malzeme yüzey sertliğine etkisini tespit edebilmek için 25 gr yük altında 7 s yükleme süresinde Hardway MHVD 1000 IS marka ve model mikrosertlik cihazında sertlik ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Sertlik ölçümünde kullanılan cihaz

3.5. Aşınma Testleri

SiO₂ nanopartikül takviyeli ve takviyesiz MgB₂ kaplanmış numunelerin tribolojik özellikleri TRD aşınma test cihazı aracılığıyla incelenmiştir. Hazırlanan 15 × 15 × 5 mm ölçülerindeki kare numuneler 6 mm çapındaki sertleştirilmiş çelik bilyeye karşı aşındırılmıştır. Uygulanan aşınma deney parametreleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Aşınma deney şartları

Değişkenler	Değerler
Uygulanan Yük (N)	2
Aşınma izi çapı (mm)	6
Aşındırma Yolu(m)	1,6
Aşındırma Süresi (s)	60
Aşınma Ortamı	Atmosfer

Deney sistemine bağlı ve cihazı kontrol eden bilgisayardaki program aracılığıyla sürtünme katsayısı eşzamanlı olarak cihaz tarafından verilmektedir (Şekil 3.6).

**Şekil 3.6.** Aşınma testlerinde kullanılan cihaz

3.6. Temas Açısı Ölçümü

Üretilen SiO_2 nanopartikül takviyeli ve takviyesiz MgB_2 kaplamaların yüzeyinin ıslatma açısı ölçümü KSV CAM-101 optik temas açısı ölçer ile yapılmıştır (Şekil 3.7). Islatma açısı ölçümlerinde, numune yüzeyine 6 mikrolitre hacminde saf su damlatılarak suyun yüzeydeki davranışı bir gonyometre aracılığıyla incelenmiştir.



Şekil 3.7. Islatma açısı ölçme cihazı (Erbaş 2009)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada elektriksiz kaplama yöntemi ile hem MgB_2 hem de nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamalar büyütülmüştür. Bu kısımda kaplamaları üretmek için kullanılan çözeltiler verilmekte ve üretilen kaplamaların yapısal, mekanik, tribolojik ve ıslanma özellikleri incelenmiş ve sonuçlar kıyaslanmaktadır.

4.1. MgB_2 Kaplamaların Büyütülmesi

Takviyesiz MgB_2 kaplamaların büyütülmesi için aşağıda (Çizelge 4.1) oranları kimyasal bileşimi verilen çözeltiden faydalanılmıştır.

Çizelge 4.1. Çözelti bileşenleri

Miktar (100 ml)	Çözelti Bileşeni
1.2 g	Magnezyumdiborür (MgB_2)
2.08 g	Sodyum hipofosfit ($NaPO_2H_2$)
0.5 g	Sodyum suksinat ($C_4H_4Na_2O_4$)
2.4 g	Sodyum asetat ($C_2H_2NaO_2$)
8 ml	Dimetil sulfoksit ($(CH_3)_2SO$)

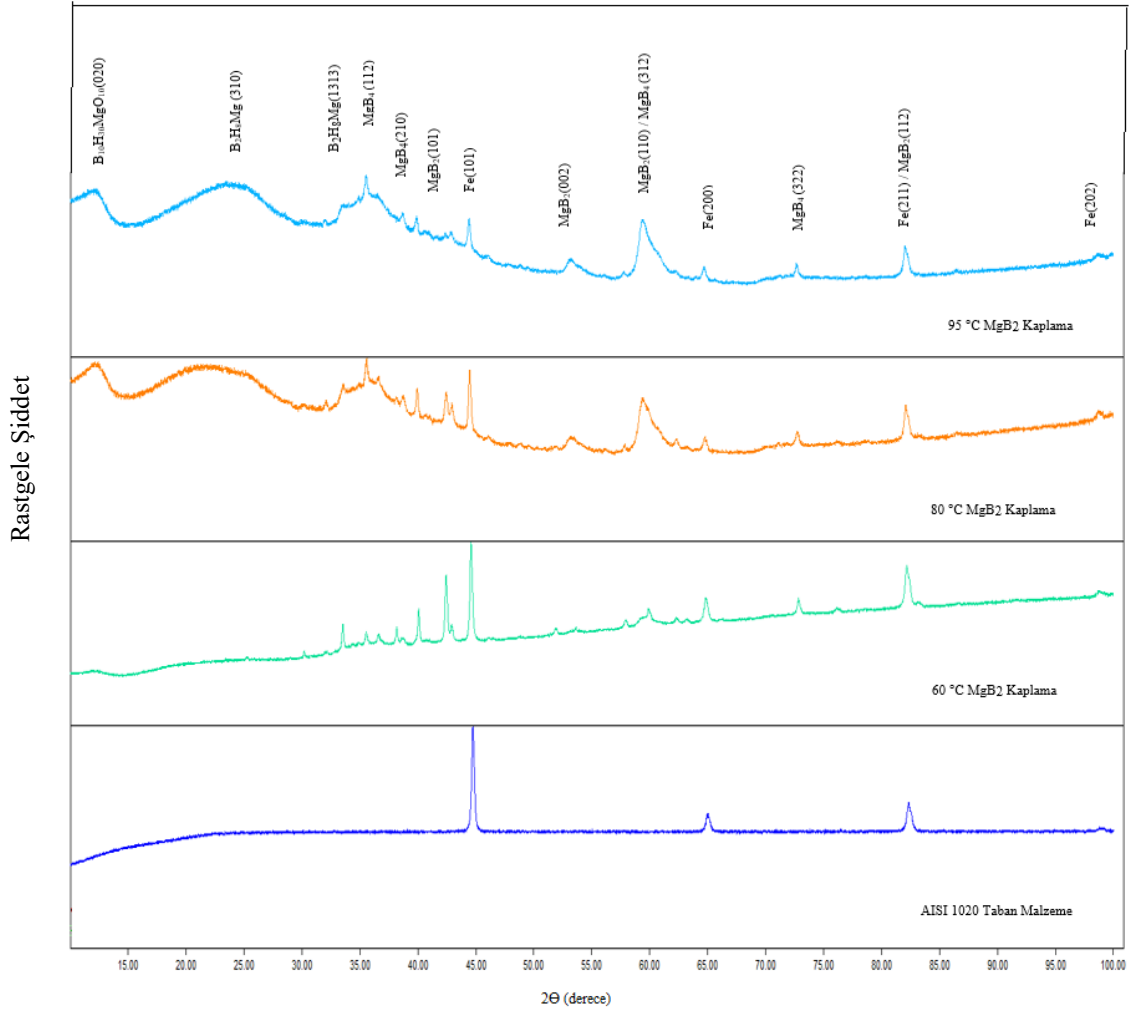
Kaplamanın depozisyonuna başlamadan önce, kullanılacak olan AISI 1020 çelik yüzeyinin mümkün mertebe temiz ve pürüzsüz olması gerekir. Bu nedenle kaplamayı büyütmeden önce yüzeyler bölüm 3.1.2’de belirtildiği gibi temizlenerek kaplama işlemi yapılmıştır. Çözelti pH 6,5-7,5 arası ölçüldü. Kaplama işlemi sırasında yağ banyosu sıcaklığı bölüm 3.2.1’de belirtildiği üzere $60^\circ C$, $80^\circ C$ ve $95^\circ C$ olmak üzere 60 dakika boyunca yağ banyosunda bekletilmiştir.



Şekil 4.1. Hazırlanan takviyesiz MgB₂ kaplama çözeltisi

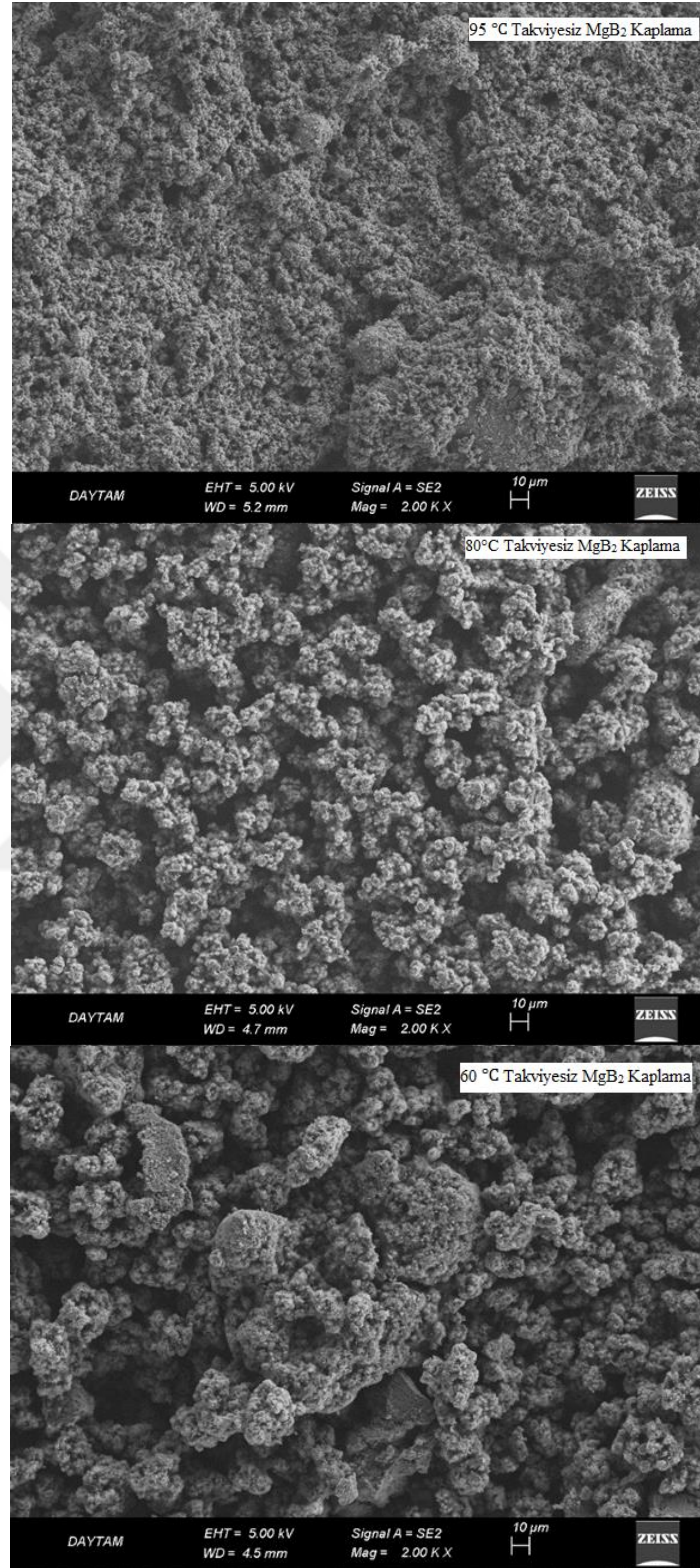
4.1.1. Yapısal analiz

Bu bölüm MgB₂ kaplanmış AISI 1020 numunelerinin X-ışını difraksiyonu tekniği (XRD) (Şekil 4.2.) ile yapılan kristal yapı analizi ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan yüzey morfolojisini (Şekil 4.3.) incelemesini içermektedir.



Şekil 4.2. Takviyesiz MgB_2 kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları

AISI 1020 çeliği üzerine yapılan takviyesiz MgB_2 kaplamalar, çelikten gelen kristalin demir piklerini ((101)/(200)/(211)/(202)) perdelemiş ve yer yer MgB_2 pikleri ile Fe piklerinin üst üste bindiği gözlenmiştir. Ayrıca $\text{B}_2\text{H}_8\text{Mg}(310)/(1222)$, $\text{MgB}_2(100)/(002)/(110)/(112)$, $\text{MgB}_4(312)$, $\text{SiO}_2(311)$ pikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Takviyesiz MgB₂ kaplamaların SEM analizleri

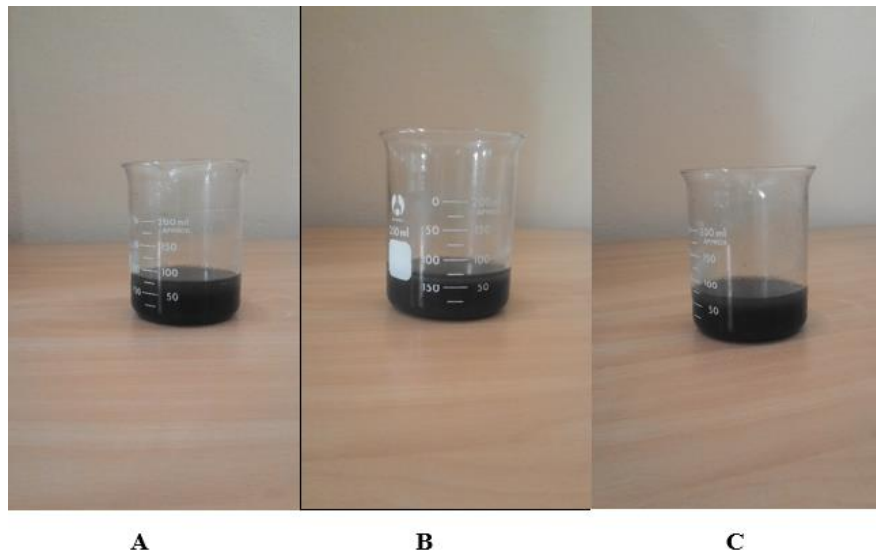
4.2. Nanopartikül Takviyeli (SiO₂) MgB₂ Kaplamaların Büyütülmesi

Nanopartikül takviyeli (SiO₂) MgB₂ kaplamaların büyütülmesi için aşağıda oranları kimyasal bileşimi verilen Çizelge 4.2 çözeltisinden faydalanılmıştır. Çözeltilerin pH 6,5-7,5 arası ölçüldü.

Çizelge 4.2. Çözelti bileşenleri

Miktar(100 ml)	Çözelti Bileşeni	Nanopartikül (SiO ₂) Miktarı (g/l)		
1.2 g	Magnezyumdiborüre (MgB ₂)			
2.08 g	Sodyum hipofosfit (NaPO ₂ H ₂)			
0.5 g	Sodyum suksinat (C ₄ H ₄ Na ₂ O ₄)			
2.4 g	Sodyum asetat (C ₂ H ₃ NaO ₂)	5	10	15
8 ml	Dimetil sulfoksit ((CH ₃) ₂ SO)			

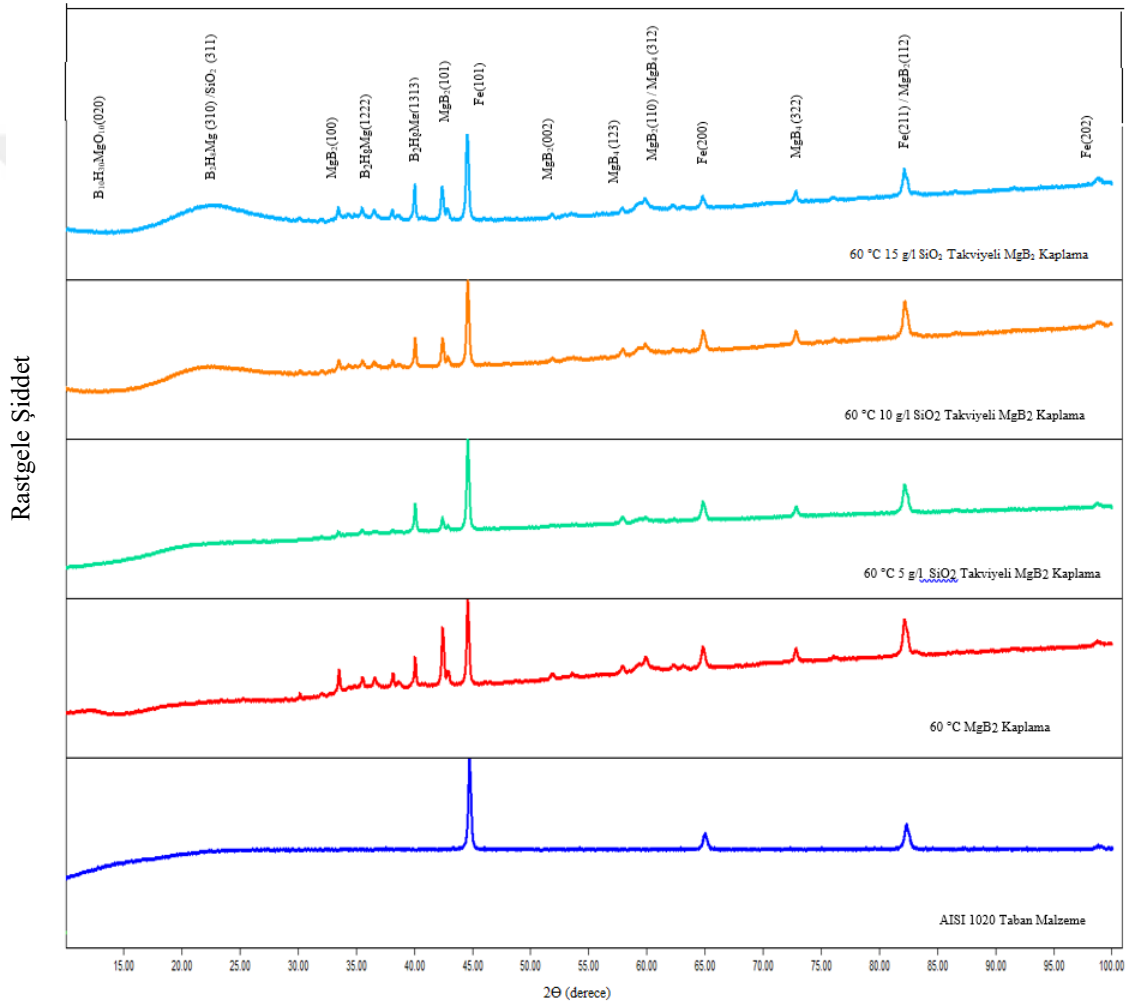
Kaplama işlemi sırasında yağ banyosu sıcaklığı bölüm 3.2.1’de belirtildiği üzere 60°C, 80°C ve 95°C olmak üzere 60 dk boyunca yağ banyosunda bekletilmiştir. Hazırlanan çözelti Şekil 4.4’te görülmektedir.



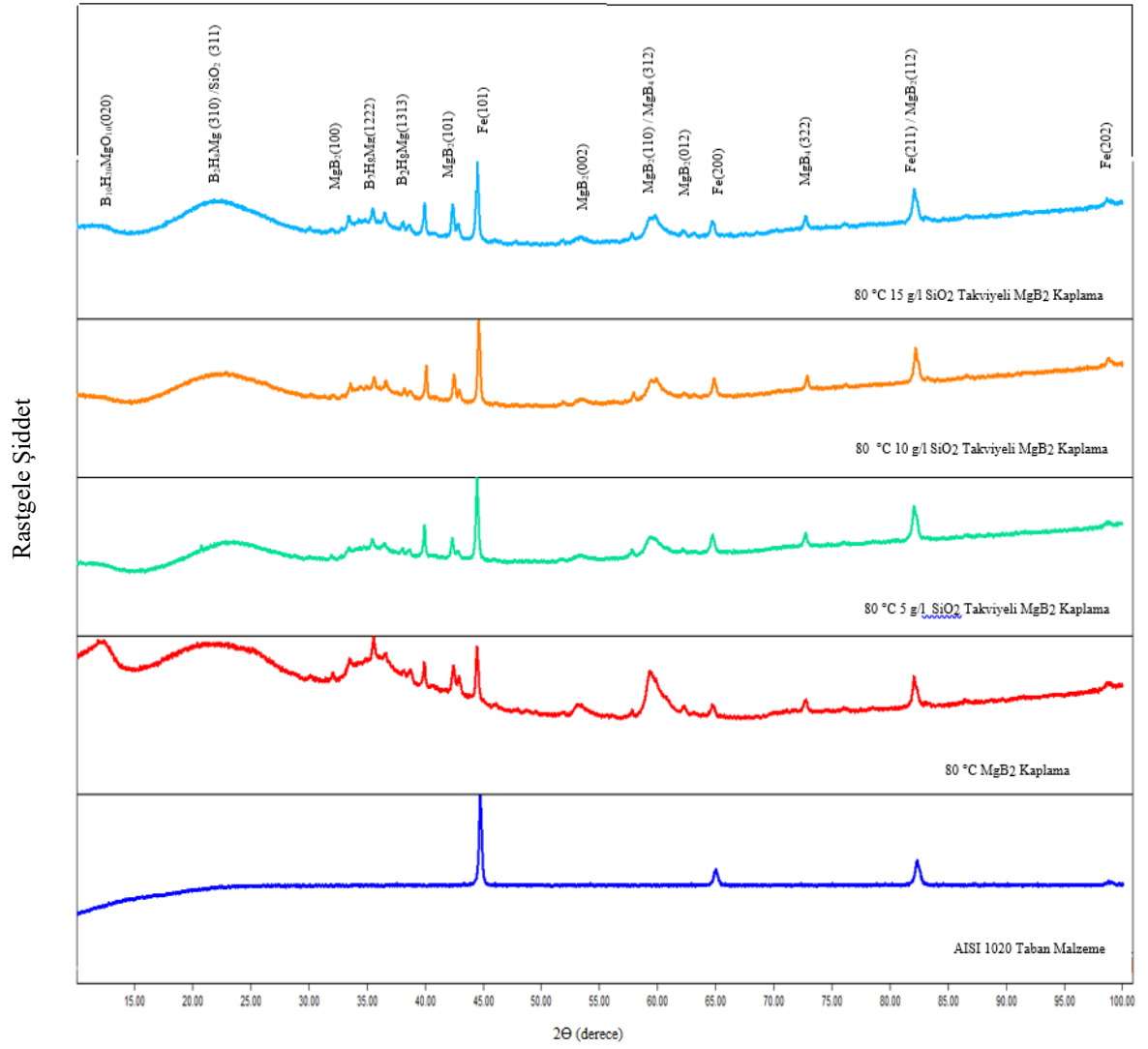
Şekil 4.4. Hazırlanan nanopartikül takviyeli (SiO₂) MgB₂ kaplama çözeltisi

4.2.1. Yapısal analiz

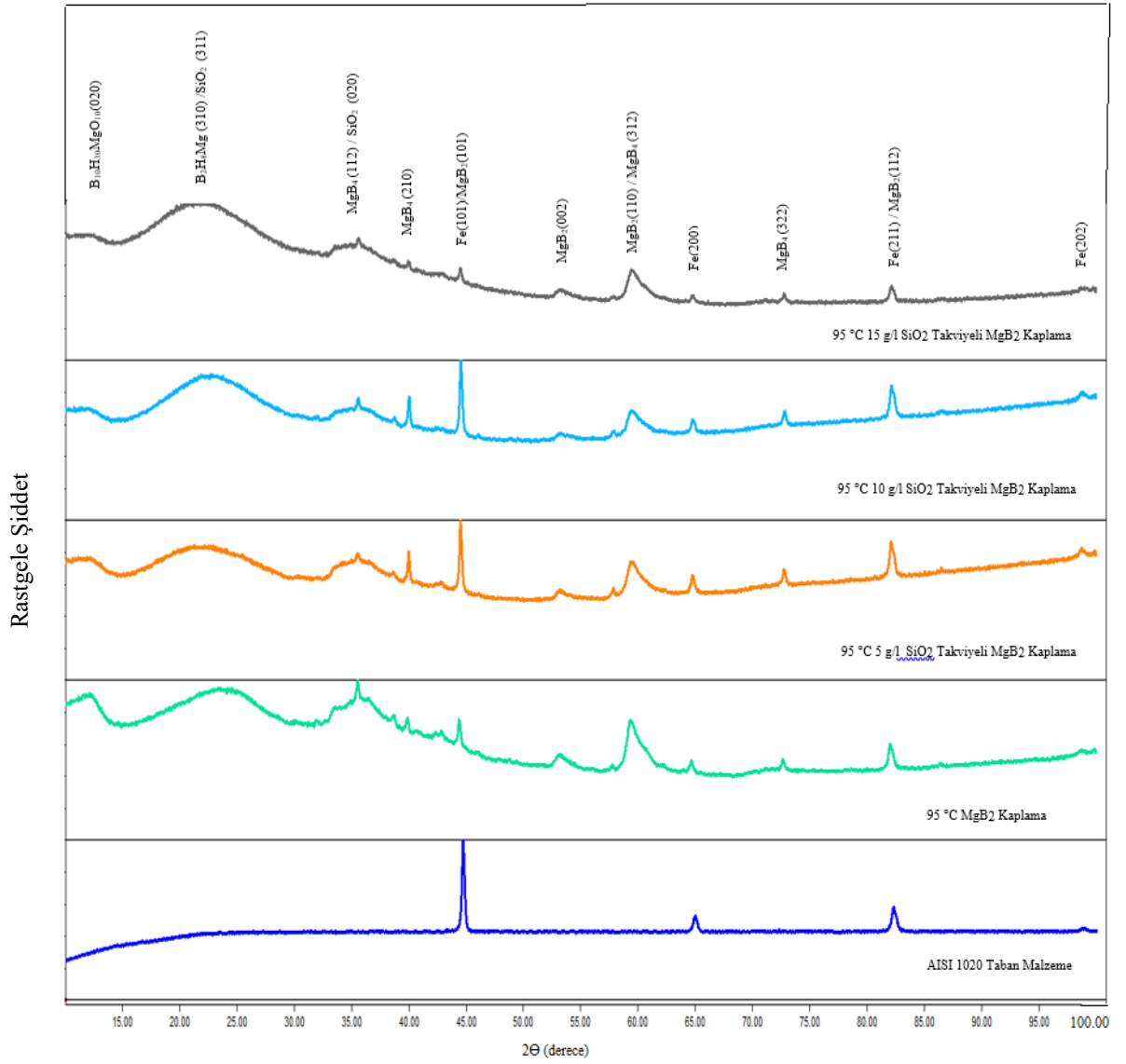
Bu bölüm nanopartikül takviyeli (SiO_2) MgB_2 kaplanmış AISI 1020 numunelerinin X-ışını difraksiyonu tekniği (XRD) ile yapılan kristal yapı analizi ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan yüzey morfolojisini incelemesini içermektedir.



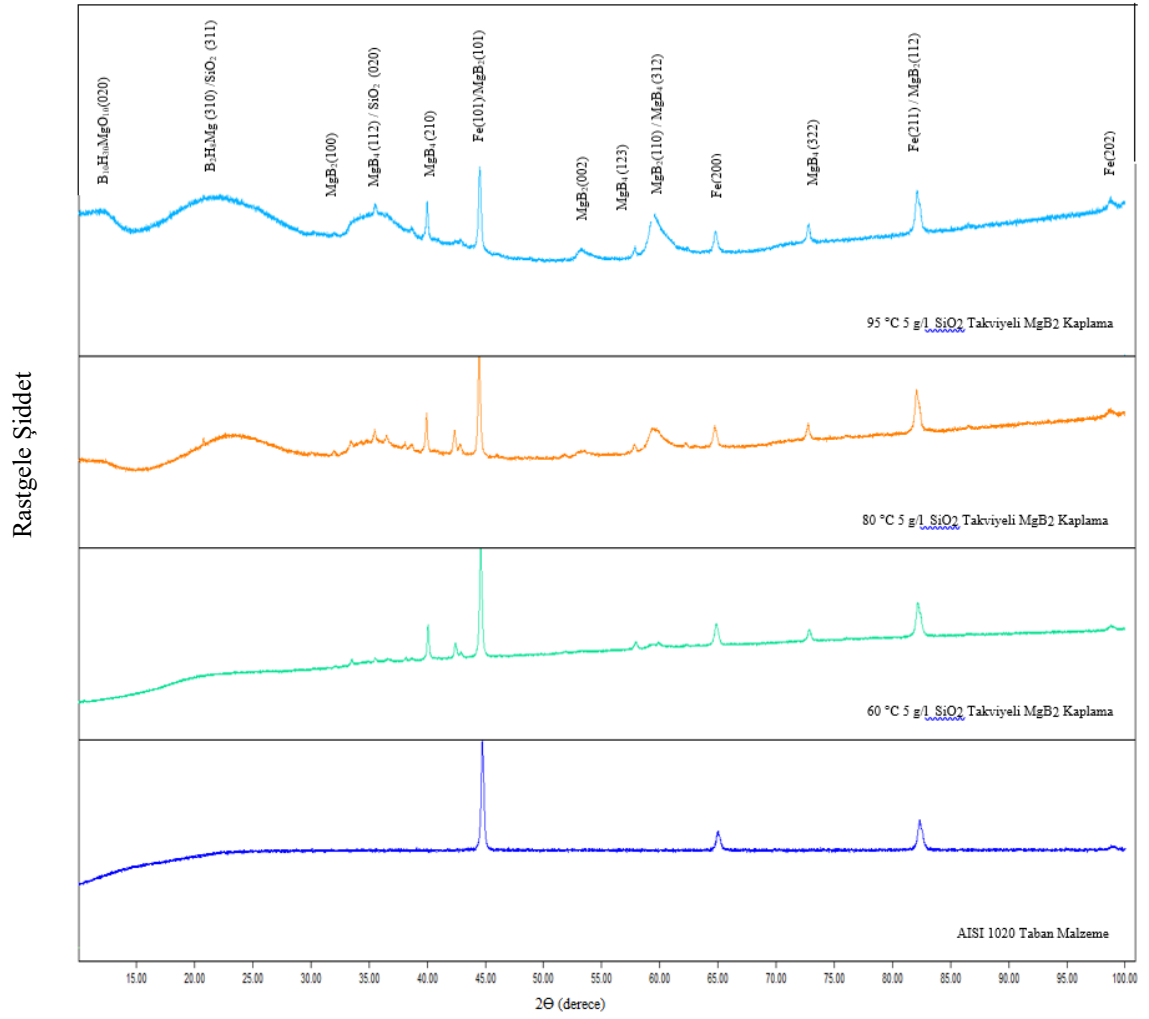
Şekil 4.5. 60°C Nanopartikül (SiO_2) takviyeli MgB_2 kaplamaların takviye miktarı karşılaştırmalı XRD spektrumları



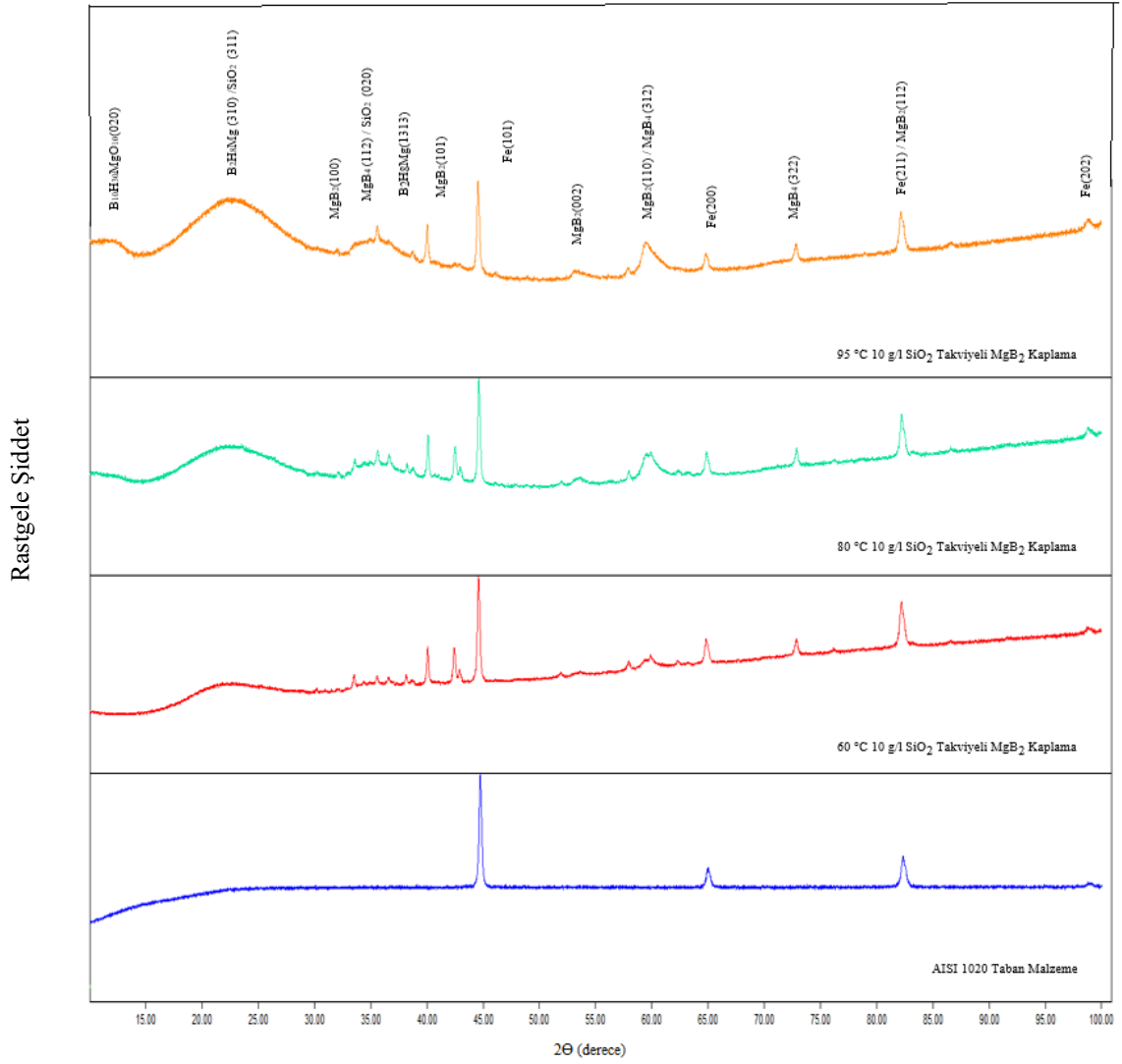
Şekil 4.6. 80°C Nanopartikül (SiO₂) takviyeli MgB₂ kaplamaların takviye miktarı karşılaştırmalı XRD spektrumları



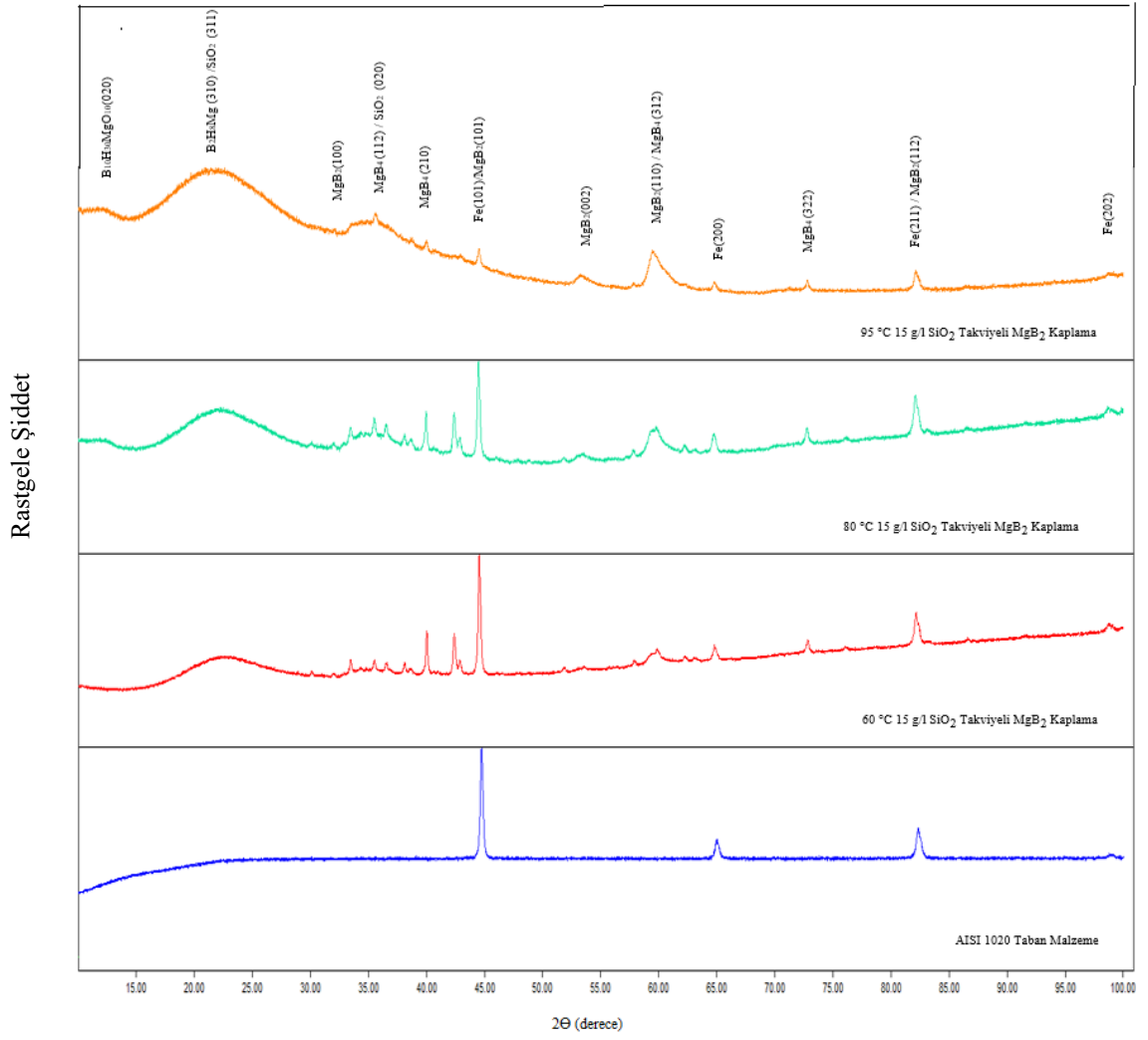
Şekil 4.7. 95°C Nanopartikül (SiO₂) takviyeli MgB₂ kaplamaların takviye miktarı karşılaştırmalı XRD spektrumları



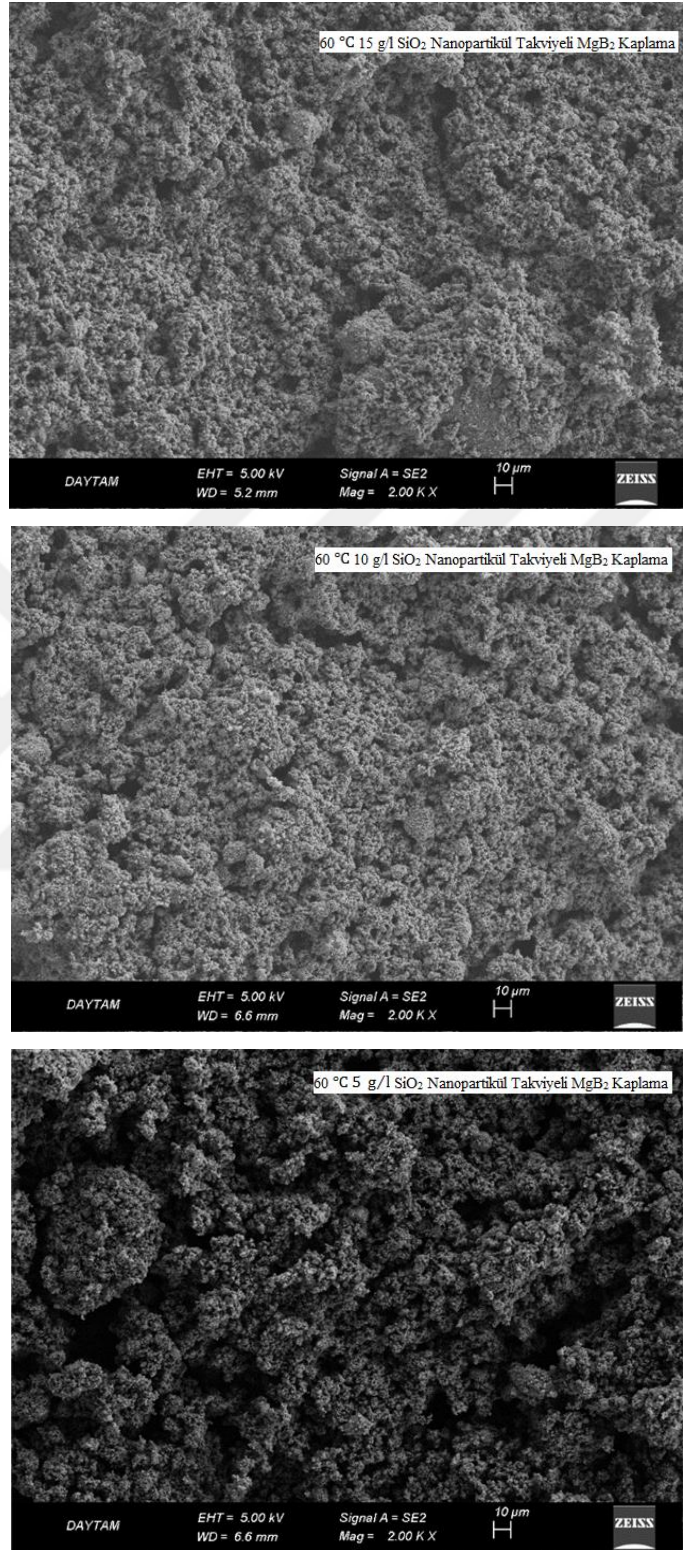
Şekil 4.8. 5 g/l Nanopartikül (SiO₂) takviyeli MgB₂ kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları



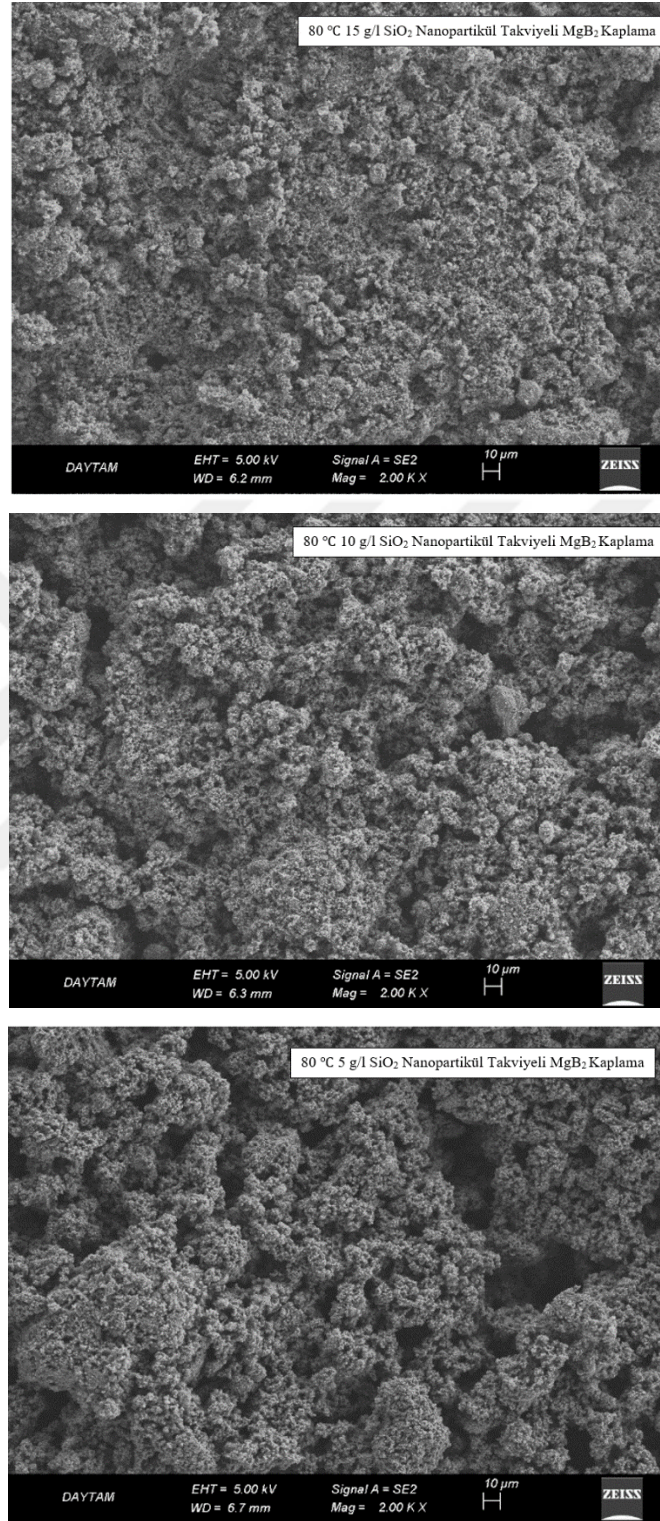
Şekil 4.9. 10 g/l Nanopartikül (SiO₂) takviyeli MgB₂ kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları



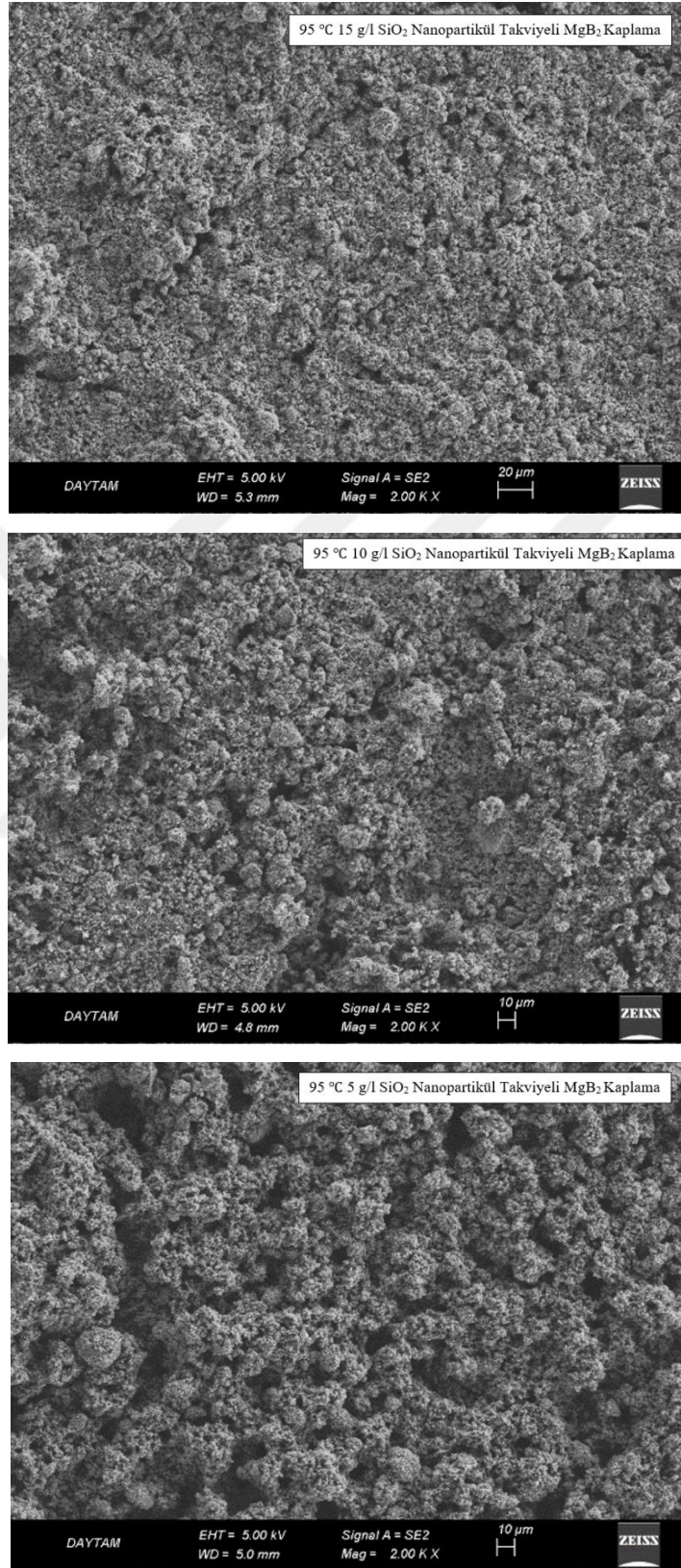
Şekil 4.10. 15 g/l Nanopartikül (SiO₂) takviyeli MgB₂ kaplamaların kaplama banyo sıcaklığı karşılaştırmalı XRD spektrumları



Şekil 4.11. 60°C Nanopartikül takviyeli (SiO₂) MgB₂ kaplamaların SEM görüntüleri



Şekil 4.12. 80°C Nanopartikül takviyeli (SiO₂) MgB₂ kaplamaların SEM görüntüleri



Şekil 4.13. 95°C Nanopartikül takviyeli (SiO_2) MgB_2 kaplamaların SEM görüntüleri

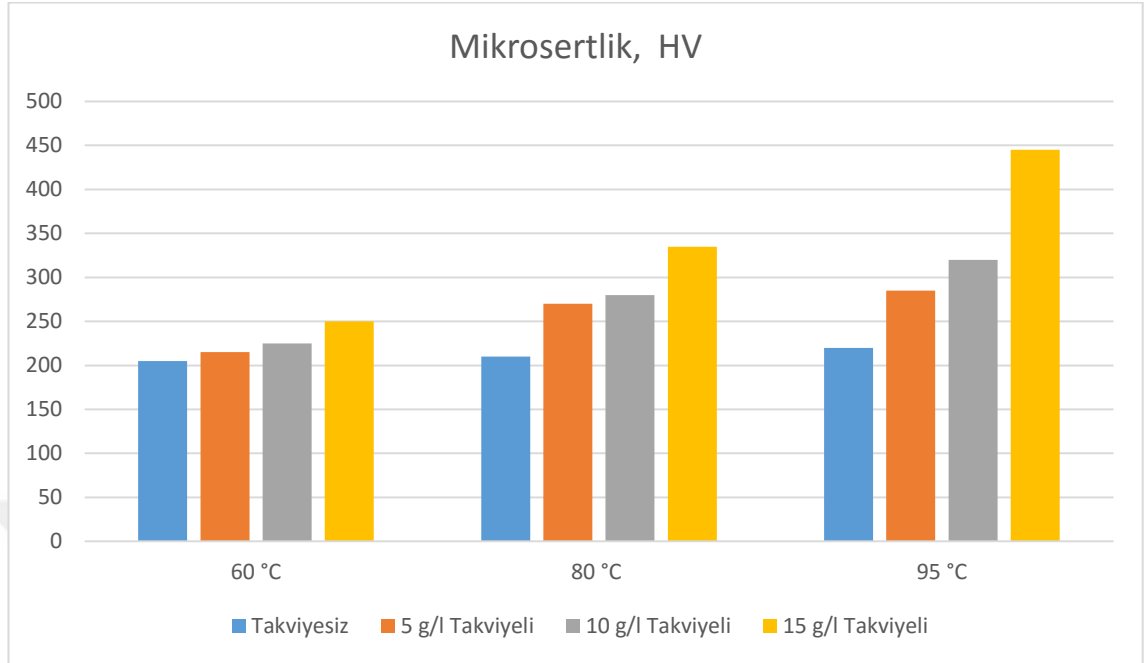
4.2.2. Mikrosertlik incelemeleri

Çizelge 4.3, işlem görmemiş AISI 1020 çeliğin sertliği 130-140 HV olarak ölçülmüş iken, SiO₂ nanopartikül takviyeli MgB₂ kaplamaların sertlik değerleri 440-450HV olarak ölçülmüştür. Elektriksiz kaplama yöntemi ile üretilen takviyesiz MgB₂ ve SiO₂ nanopartikül takviyeli MgB₂ kaplamaların sertlik değerlerinin sıcaklık ve nanopartikül miktarı ile arttığı gözlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Farklı işlem parametrelerine göre kaplamaların sertlik değerleri

Nanopartikül Eklentisiz Kaplama Deney Parametreleri		Kaplama Sertliği	Nanopartikül Eklentili Kaplama Deney Parametreleri			Kaplama Sertliği
Süre(dk)	Sıcaklık(°C)	Vickers (HV)	Süre(dk)	Sıcaklık(°C)	Nanopartikül Mik.(g /l)	Vickers (HV)
60	60	205±8	60	60	5	215±8
					10	225±8
					15	250±8
	80	210±8		80	5	270±8
					10	280±8
					15	335±8
	95	220 ±8		95	5	285 ±8
					10	320±8
					15	445±8

Artan SiO₂ nanopartikül miktarı ile MgB₂ kafes yapısının çarpıldığı ve kaplamanın sertliğinin arttığını söyleyebiliriz. Kaplama yapısının Xrd piklerinin genişlemesi sertliğin arttığının göstergesi olarak sunulabilir. Takviyesiz MgB₂ kaplamalarda sertlik artışı kaplamanın seramik yapıda olmasına bağlanabilir. Kaplamaların sertlik dağılımları Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14. Deney numunelerinin değişkenlere göre sertlik değerleri dağılımları

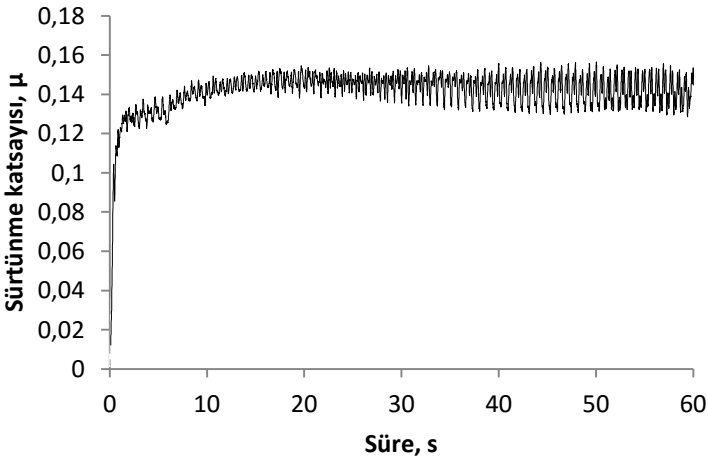
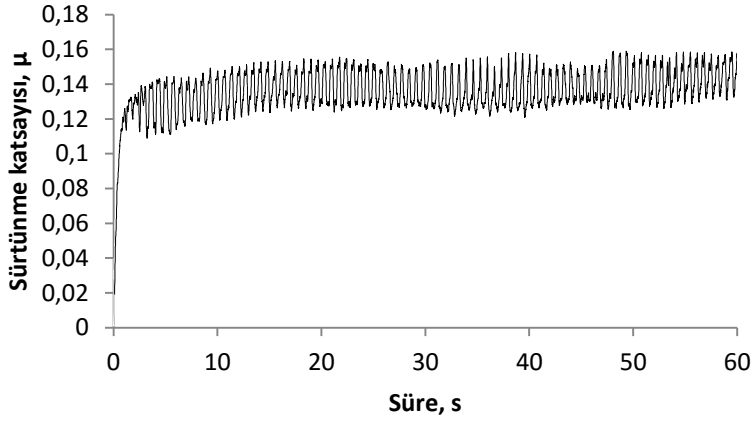
4.2.3. Aşınma analizleri

Şekil 4.15 ile Şekil 4.21 arasında deney parametrelerine bağlı olarak sabit sıcaklık değişken SiO₂ nanopartikül miktarı, sabit SiO₂ nanopartikül değişken sıcaklık ve nanopartikül takviyesiz değişken sıcaklıklarda sürtünme katsayısı süre ilişkisi kıyaslamaları verilmiştir. Şekil 4.15’de 60°C sabit sıcaklıkta SiO₂ nanopartikül takviye miktarına göre sürtünme katsayısı-süre ilişkileri verilmiştir. Sürtünme katsayısı, artan nanopartikül miktarıyla kısmen azalma eğilimi göstermiştir. Bu numuneler için en düşük sürtünme katsayısı 0.125 değerinde, 60°C, 15 g/l SiO₂ takviyeli kaplama deney şartlarında elde edilmiştir.

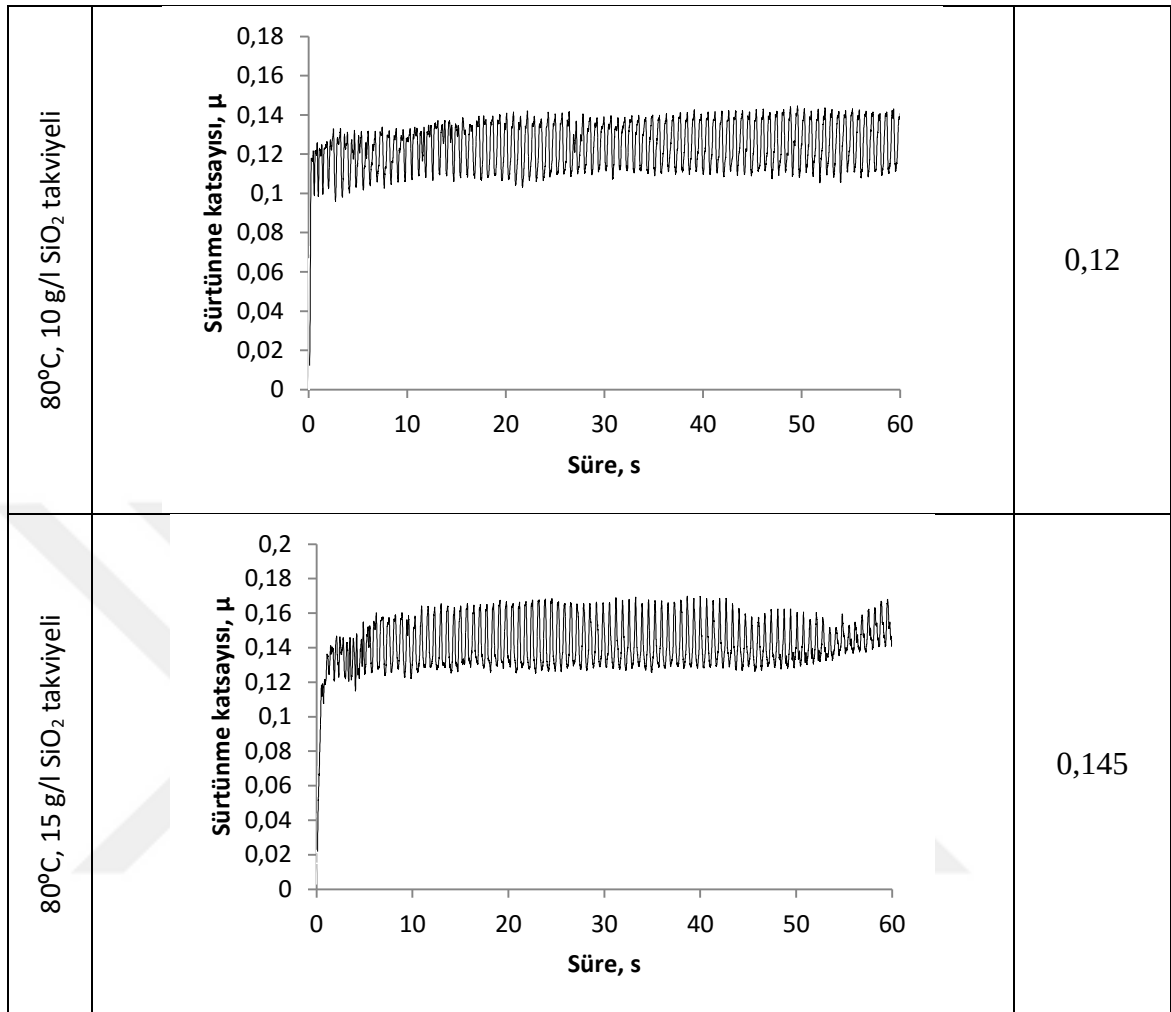
Numune	60 °C sabit sıcaklıkta SiO ₂ nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	Ortalama sürtünme katsayısı, μ
60°C, SiO ₂ takviyesiz		0,140
60°C, 5 g/l SiO ₂ takviyeli		0,135
60°C, 10 g/l SiO ₂ takviyeli		0,130
60°C, 15 g/l SiO ₂ takviyeli		0,125

Şekil 4.15. 60°C sabit sıcaklıkta SiO₂ nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri

Şekil 4.16' da 80°C sabit sıcaklıkta SiO₂ nanopartikül takviye miktarına göre sürtünme katsayısı-süre ilişkileri verilmiştir. Sürtünme katsayısı artan nanopartikül miktarıyla kısmen azalmasına rağmen, 80°C, 15 g/l SiO₂ takviyeli kaplamada sürtünme katsayısında tekrar artma gözlenmiştir. Sürtünme değerleri, 60°C sabit sıcaklıkta SiO₂ nanopartikül takviyeli kaplamalara göre biraz daha yüksek ve daha kararsızdır. Bu şartlarda en düşük sürtünme değeri 0,12 olup 80°C, 10 g/l SiO₂ takviyeli kaplamada elde edilmiştir.

Numune	80°C sabit sıcaklıkta SiO ₂ nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	Ortalama sürtünme katsayısı, μ
80°C, SiO ₂ takviyesiz		0,14
80°C, 5 g/l SiO ₂ takviyeli		0,13

Şekil 4.16. (devam)

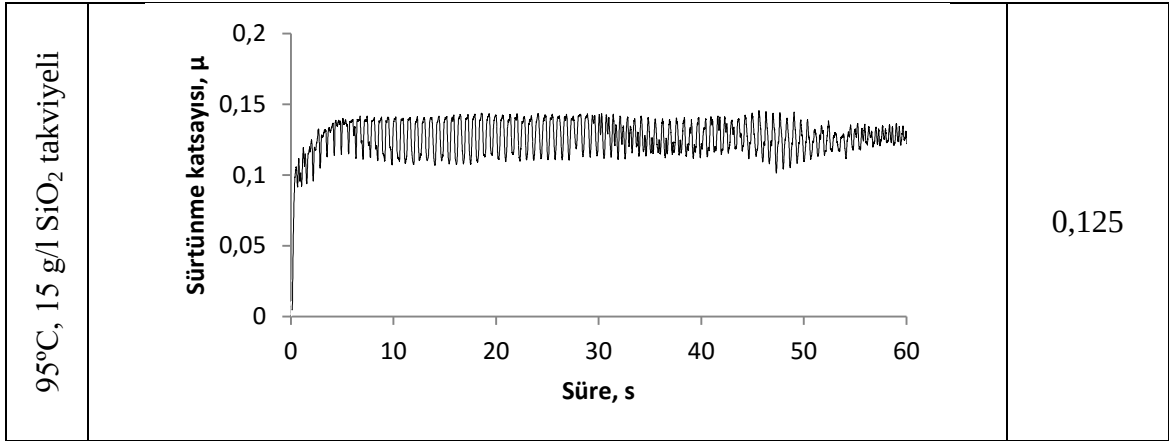


Şekil 4.16. 80°C sabit sıcaklıkta SiO₂ nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri

Şekil 4.17’ de 95°C sabit sıcaklıkta SiO₂ nanopartikül takviye miktarına göre sürtünme katsayısı-süre ilişkileri verilmiştir. Sürtünme katsayısı artan nanopartikül miktarıyla kısmen azalma eğilimi göstermektedir. Bu şartlarda en düşük sürtünme değeri 0,125 olup 95°C, 15 g/l SiO₂ takviyeli kaplamada elde edilmiştir.

Numune	95°C sabit sıcaklıkta SiO ₂ nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	Ortalama sürtünme katsayısı, μ
95°C, SiO ₂ takviyesiz		0,135
95°C, 5 g/l SiO ₂ takviyeli		0,13
95°C, 10 g/l SiO ₂ takviyeli		0,13

Şekil 4.17. (devam)



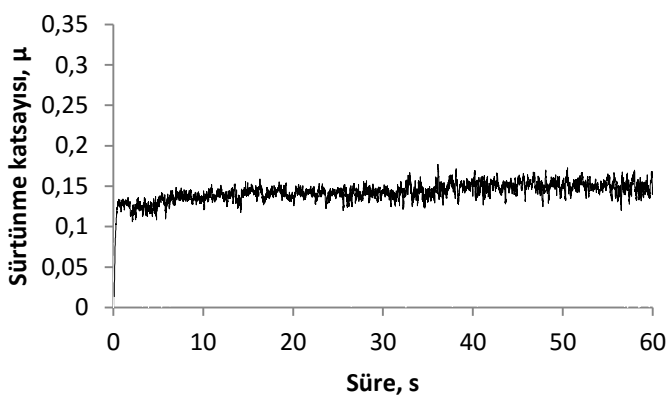
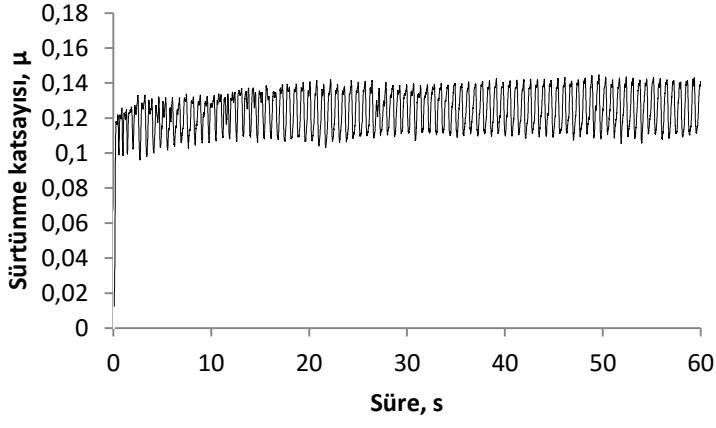
Şekil 4.17. 95°C sabit sıcaklıkta SiO₂ nanopartikül takviye miktarına göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri

Şekil 4.18’de 5 g/l sabit SiO₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre sürtünme katsayısı-süre ilişkileri verilmiştir. Sürtünme katsayısı değerleri 0,13 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda 5 g/l sabit SiO₂ nanopartikül takviye oranında değişken sıcaklığın sürtünme katsayısı üzerinde bariz bir etkisi olmadığı söylenebilir.

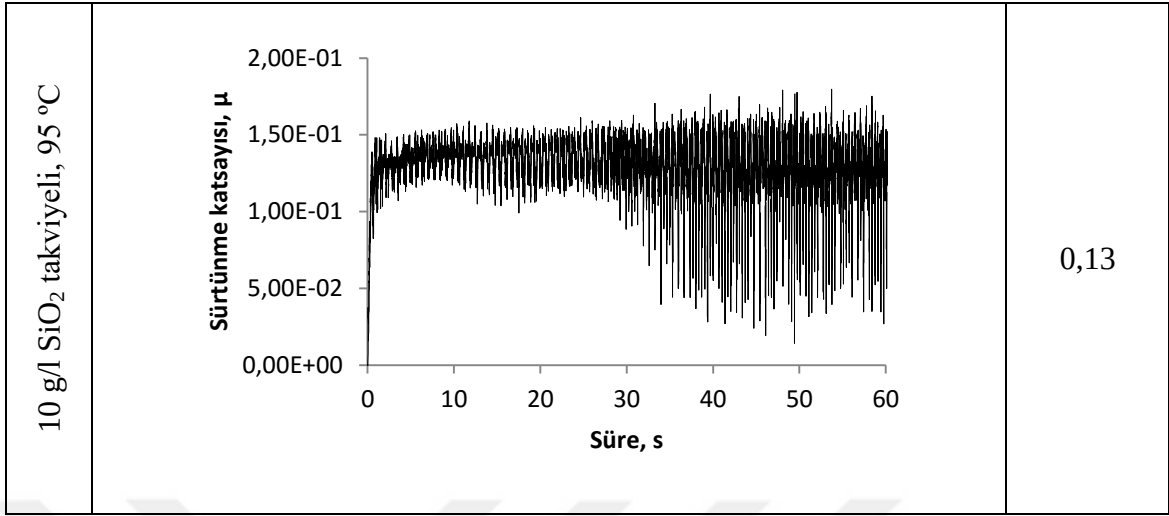
Numune	5 g/l sabit SiO ₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	Ortalama sürtünme katsayısı, μ
5 g/l SiO ₂ takviyeli, 60 °C		0,135
5 g/l SiO ₂ takviyeli, 80 °C		0,13
5 g/l SiO ₂ takviyeli, 95 °C		0,13

Şekil 4.18. 5 g/l sabit SiO₂ nanopartikül takviye, değişken sıcaklığa göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri

Şekil 4.19’da 10 g/l sabit SiO₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre sürtünme katsayısı-süre ilişkileri verilmiştir. Sürtünme katsayısı değerleri 0,12-0,13 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda 10 g/l sabit SiO₂ nanopartikül takviye oranında değişken sıcaklığın sürtünme katsayısı üzerinde bariz bir etkisi olmadığı söylenebilir.

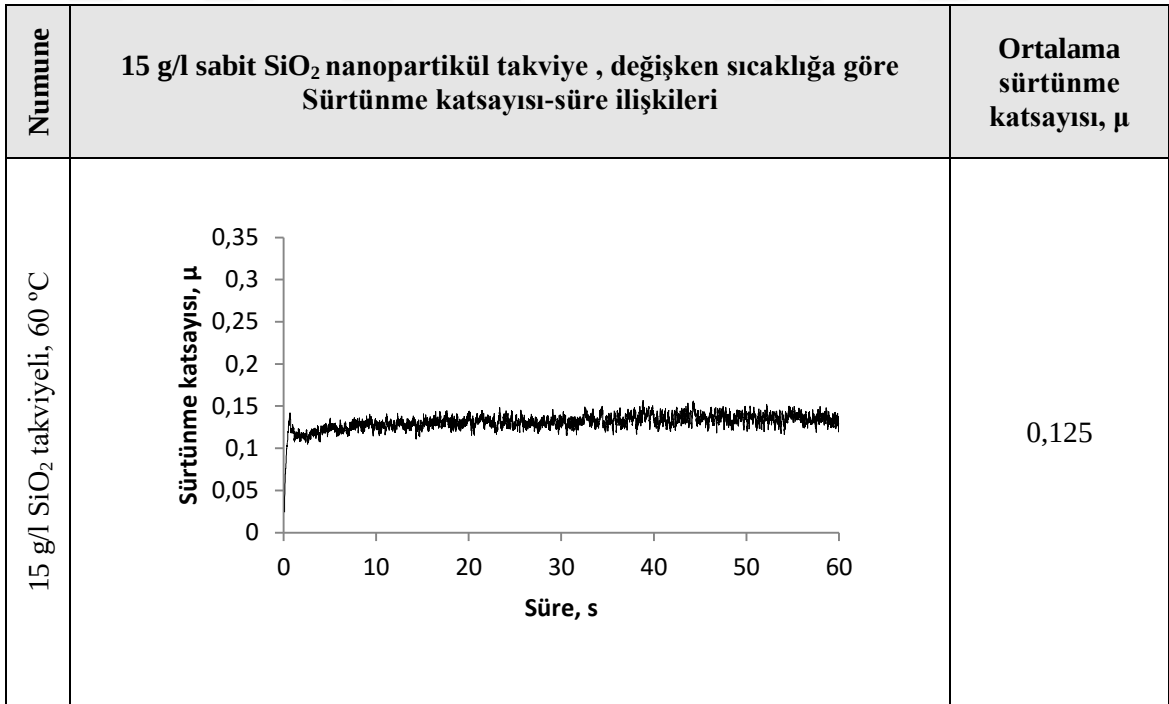
Numune	10 g/l sabit SiO ₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	Ortalama sürtünme katsayısı, μ
10 g/l SiO ₂ takviyeli, 60 °C		0,13
10 g/l SiO ₂ takviyeli, 80 °C		0,12

Şekil 4.19. (devam)

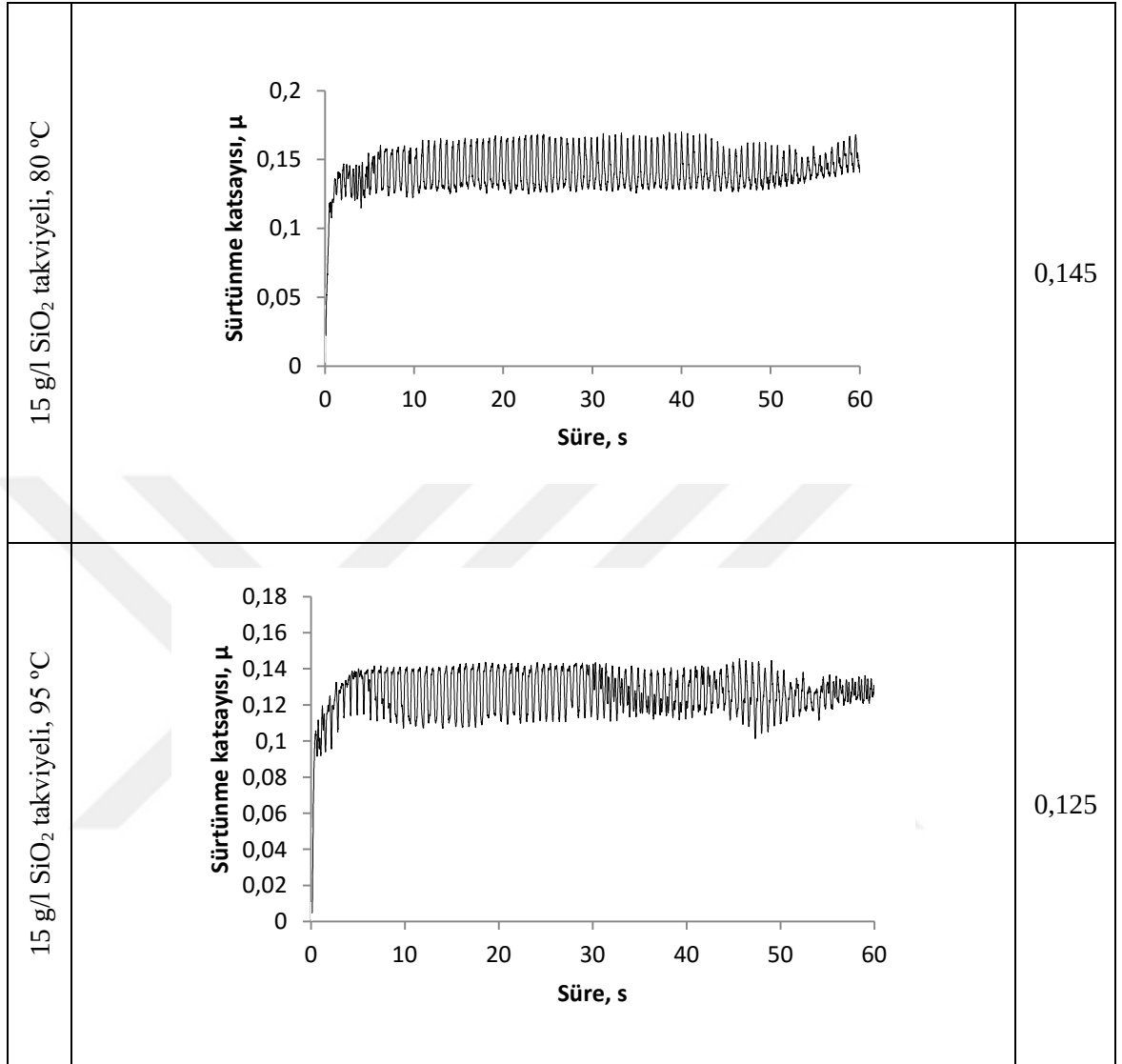


Şekil 4.19. 10 g/l sabit SiO₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri

Şekil 4.18 – 4.20 incelendiğinde SiO₂ nanopartikül takviye miktarı ile kaplama sıcaklığının artması sürtünme katsayısını kısmen düşürücü etkiye sebep olabilmektedir.



Şekil 4.20. (devam)



Şekil 4.20. 15 g/l sabit SiO₂ nanopartikül takviye , değişken sıcaklığa göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri

Numune	SiO ₂ nanopartikül takviyesiz artan sıcaklığa göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri	Ortalama sürtünme katsayısı, μ
60°C, SiO ₂ takviyesiz		0,14
80°C, SiO ₂ takviyesiz		0,14
95°C, SiO ₂ takviyesiz		0,135

Şekil 4.21. SiO₂ nanopartikül takviyesiz artan sıcaklığa göre Sürtünme katsayısı-süre ilişkileri

Sonuç olarak söylenebilir ki sabit sıcaklıkta takviye miktarının artışı sürtünme katsayısı değerini düşürmüştür, SiO₂ nanopartikül takviye miktarının sabit tutulması sıcaklığın değiştirilmesinin sürtünme katsayısı üzerine bir etkisi olmadığı gözlenmiştir, nanopartikül takviye girişi ile grafik kararlı halden salınımlı hale geçmiştir.

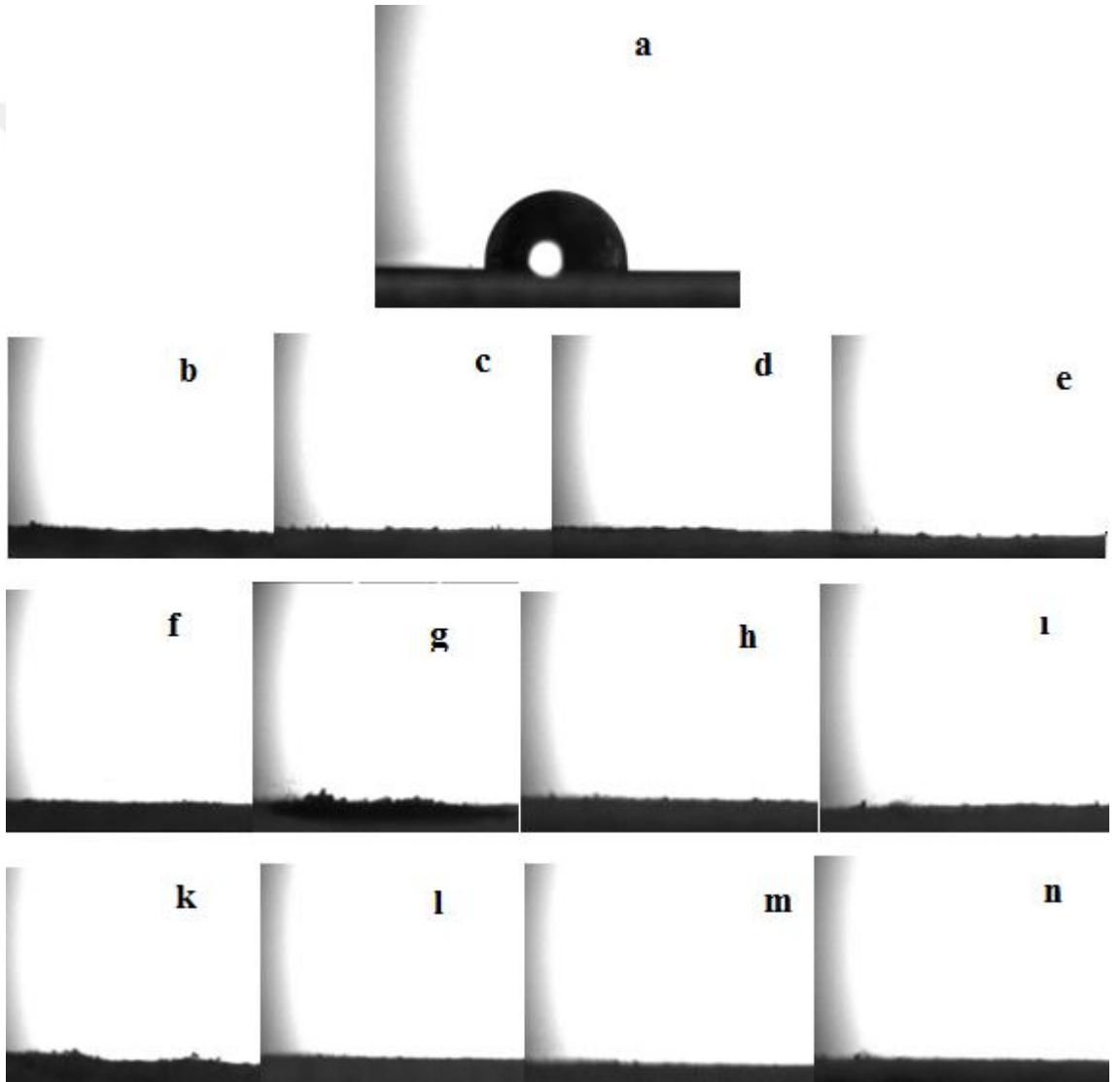
4.2.4. Islanma açısı

Farklı kaplama parametreleri ile üretilen elektriksiz kaplama yöntemi ile üretilen takviyesiz MgB₂, SiO₂ nanopartikül takviyeli MgB₂ kaplamaların ve taban malzeme olarak kullanılan AISI/SAE 1020 çelik malzemenin yüzeyindeki ıslanma açıları ölçülmüştür. Taban malzeme yüzeyinin farklı noktalarından olmak üzere her numune yüzeyinden üçer adet ölçüm yapılmıştır. Elde edilen ıslanma açılarının aritmetik ortalaması Çizelge 4.4 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.4. AISI/SAE 1020 taban malzemenin ve Elektriksiz kaplama yöntemi ile üretilen takviyesiz MgB₂ ve SiO₂ nanopartikül takviyeli MgB₂ kaplamaların yüzey ıslanma açıları

	Islatma Açısı (°)	Süre(dk)	Sıcaklık(°C)	Nanopartikül Mik.(g/l)	Islatma Açısı (°)
AISI 1020 taban malzeme	93°	60	60	Takviyesiz	Süperhidrofilik (Islanma Açısı <5°)
				5	
				10	
				15	
				Takviyesiz	
				5	
			80	10	
				15	
				Takviyesiz	
			95	5	
				10	
				15	

Şekil 4.22’de çeşitli parametrelerde ıslatma açıları görülmektedir. Şekil 4.22.a’da ıslatma açısı değeri $\approx 93^\circ$ olarak ölçülmüştür bu açı taban malzemenin hidrofobik bir yüzeye sahip olduğunu göstermektedir, diğer resimlerde ise ıslatma açısı değeri alınamamıştır. Bunlarda su damlacığının yüzeye tamamen yapıştığı görülmektedir. Süper hidrofilik yüzey (suyu seven yüzey) yani su yüzeyle ıslatma alanını maksimum yapmaya çalışır ve ıslatma açısı $\approx 0^\circ$ olan yüzeylerdir.



Şekil 4.22. Islanma açısı ölçümleri

*a-AISI 1020 taban malzeme, b-60 °C MgB₂ Kaplama, c-60 °C 5 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, d-60 °C 10 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, e-60 °C 15 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, f-80 °C MgB₂ Kaplama, g-80 °C 5 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, h-80 °C 10 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, i-80 °C 15 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, k-95 °C MgB₂ Kaplama, l-95 °C 5 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, m-95 °C 10 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama, n-95 °C 15 g/l Np Takviyeli MgB₂ Kaplama

5. SONUÇ

Nanopartikül takviyesiyle morfolojik olarak kaplamanın yoğunluğu arttığı gözlenmiştir, kaplama yapısı amorf olduğu için belirgin bir morfoloji görülmemiştir. Takviye miktarı ve sıcaklığın morfolojik açıdan bariz bir etkisi yoktur.

Yapılan X ışını spektrumu incelemelerinden; sabit sıcaklıkta artan takviye miktarı ile kristallerin piklerinin perdelendiği ve yapının amorflaşma eğilimi gösterdiği gözlenmiştir. Sabit takviye miktarında sıcaklığın artışı ile tabandan gelen kristal piklerinin perdelendiği gözlenmiştir.

Aşınma testleri sonucunda üç durumun ortaya çıktığı gözlenmiştir; sabit sıcaklıkta takviye miktarının artışı sürtünme katsayısı değerini düşürmüş, SiO₂ nanopartikül takviye miktarının sabit tutulması ve sıcaklığın değiştirilmesinin sürtünme katsayısı üzerine bir etkisi olmadığı gözlenmiştir, nanopartikül takviye girişi ile grafik kararlı halden salınımlı hale geçmiştir.

Kaplama işlemi taban malzemenin dayanımını artırırken, takviyesizde 220-230 HV'lik sertlik değerleri elde edilirken, partikül takviyesiyle sertlik değerleri yaklaşık 5 kat artmıştır.

Islanma açısı üzerine sıcaklığın ve takviye miktarının görünen bir etkisi yoktur.

Literatüre göre elektriksiz kaplama yöntemi ile MgB₂ üretimi ikinci kez yapılmış ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen en çarpıcı sonuç ise kaplamanın süperhidrofilik özellikte olmasıdır. Buda kaplama sektöründe MgB₂'nin ucuz ve hidrofil kaplama olarak kullanma potansiyeli olduğunun bariz bir göstergesidir.

KAYNAKÇA

- Adamson, A.W., 1990. *Physical Chemistry of Surfaces* 5th Edition; Wiley Interscience; New York, pp 777
- Aydar, A.Y., 2012. Determination of Contact Angle of Olive oil and Canola Oil on a PTFE surface at Elevated Temperatures. Master of Science Thesis, NCSU.)
- Bhushan, B. (Editor) , 2001, *Modern Tribology Handbook*, CRC Press LLC (pdf form), Ch. 13,1-18p., Ch.7,1-28 p.
- Bhushan, B. and Gupta, B.K., 1991, *Handbook of Tribology*, McGraw-Hill, Inc., USA., 1168 p.); Bhushan, 2001 (Bhushan, B. (Editor) , 2001, *Modern Tribology Handbook*, CRC Press LLC (pdf form), Ch. 13,1-18p., Ch.7,1-28 p.)
- Bunshatta R.F., 1980. "High Rate Physical Vapour Deposition Processes", Agard Lecture Series No: 106, Material Coating Techniques, Hardford House, London, s (21-26).
- Delaunois F, Pelitjean JP, Jacob Duliere M. Autocatalytic electroless nickel boron plating on light alloys. *Surf & Coat Technol* 2000;124;201.
- Dervos, C. T., Novakovic, J., and Vassiliou, P. 2004. "Vacuum heat treatment of electroless Ni-B coatings", *Material Letters*, 58, 619-623.
- Duncan, R.N. 1986. "Corrosion Resistance of High-Phosphorus Electroless Nickel Coatings", *Plating Surface Finishing*, 73(7), 52-57.
- Duncan, R.N. 1986. "Corrosion Resistance of High-Phosphorus Electroless Nickel Coatings", *Plating Surface Finishing*, 73(7), 52-57.
- Erbaş, İ.S. 2009. Karbon Esaslı Filmlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, pp 77, İstanbul
- Gawrilov, G. G. 1979. *Chemical (Electroless) Nickel Plating*, Portcullis Press Ltd.
- Gawrilov, G. G. 1979. *Chemical (Electroless) Nickel Plating*, Portcullis Press Ltd.
- H.W. Hayden, W.G. Moffatt ve J. Wulff, "The Structure and Properties of Materials", Cilt 3, Wiley, 1965, s.12.
- Hu, C.C., and Bai, A. 2001. "Composition control of electroplated nickel-phosphorus deposits", *Surface and Coatings Technology*, 137, 181-187.
- Jones, Morton E. Marsh, Richard E., 1954. The preparation and structure of magnesium boride, MgB_2 . *Journal of the American Chemical Society*. 76(5), 1434.
- Jun Nagamatsu, Norimasa Nakagawa, Takahiro Muranaka, Yuji Zenitani, Jun Akimitsu., 2001. Superconductivity at 39 K in magnesium boride. *Nature* 410, 63-64.
- Keong, K.G., Sha, W., and Malinov, S. 2002. "Crystallisation kinetics and phase transformation behaviour of electroless nickel-phosphorus deposits with high phosphorus content", *Journal of Alloys and Compounds*, 334, 192-199.
- Keong, K.G., Sha, W., and Malinov, S. 2002. "Crystallisation kinetics and phase transformation behaviour of electroless nickel-phosphorus deposits with high phosphorus content", *Journal of Alloys and Compounds*, 334, 192-199.
- Krishnaveni, K., Narayanan, T.S.N., and Seshadri, S.K., 2006. "Electrodeposited Ni-B coatings: Formation and evaluation of hardness and wear resistance", *Materials Chemistry and Physics*, 99(2-3), 300-308.

- Krishnaveni, K., Narayanan, T.S.N., and Seshadri, S.K., 2006. "Electrodeposited Ni-B coatings: Formation and evaluation of hardness and wear resistance", *Materials Chemistry and Physics*, 99(2-3), 300-308.
- Lewis, D.B., and Marshall, G.W. 1996. "Investigation into the structure of electrodeposited nickel-phosphorus alloy deposits", *Surface and Coatings Technology*, 78, 150-156.
- Lewis, D.B., and Marshall, G.W. 1996. "Investigation into the structure of electrodeposited nickel-phosphorus alloy deposits", *Surface and Coatings Technology*, 78, 150-156.
- Mallory, G.O., and Hadju J.B. (Eds.). 1991. *Electroless Plating: Fundamentals and Applications*, AESF, Orlando.
- Mallory, G.O., and Hadju J.B. (Eds.). 1991. *Electroless Plating: Fundamentals and Applications*, AESF, Orlando.
- Mallory, G.O., and Hadju, J.B. 1990. *Electroless Plating: Fundamentals and Applications*. American Electroplaters and Surface Finishers Society. Colloque GOTS, 1984. Le nickel chimique dans l'industrie.
- Mirsasaani S.S., Manjili H.M., Baheiraei N., 2011. Dental Nanocomposites, *Advances in Diverse Industrial Applications of Nanocomposites* Eds.; Boreddy Reddy: InTech, Chapter 19.
- Mutlu, H., 1996. Al-SiC Kompozitlerin Termomekaniksel İşlem Sonrası Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Nagarajan, V. R., Putatunda, S.K., Kharel, P., and Lawes, G. 2009. "Synthesis of superconducting thin films of magnesium diboride by electroless plating", *Materials and Manufacturing Processes*, 24, 633-636.
- Oraon, B., Majumdar, G., and Ghosh, B. 2006. "Application of response surface method for predicting electroless nickel plating", *Materials and Design*, 27, 1035-1045.
- Özgür, H., Gemici, Z. ve Bayındır, M., 2007. Çöl böceği ve nilüfer çiçeğinden öğrendiklerimiz akıllı nanoyüzeyler. *Bilim ve Teknik* Nisan : 52-56
- Parker, K. 1972. Recent advance in electroless nickel deposits. In: Eighth Interfinish Conference, Basel.
- Riedel, W. 1991. *Electroless nickel plating*. Stevenage, Hertfordshire, UK: Finishing Publications Ltd.
- Riedel, W. 1991. *Electroless Plating*, ASM International, Ohio.
- Sarı, N.Y., Akay, S., Kaluç, E., "Aşınmayı Önlemede Etkili YöNemler: Isıl Püskürtme", *Mühendis ve Makine*, cilt: 38, sayı: 448, 19-24. (aldığım kaynak Sağbaş A 2006)
- Skoog A., Holler F. J., Nieman T. A., (Çeviri editörleri: Kılıç E., Köseoglu F., Yılmaz H.), *Fundamentals of Analytical Chemistry (Seventh Edition)*, Saunders College Publishing,(1996))
- Solmaz, M.Y., 2002. Ni₃Al+B Metaller Arası Bileşiğinin Değişken Sıcaklık Şartlarında Aşınma Davranışının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, F.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Stachowiak, G. W. and Batchelor, A. W., 2000, *Engineering Tribology* (2nd ed.), Publisher Butterworth Heinemann, 430-440, 769 p.
- Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., 2001. *Engineering Tribology*, Butterworth-Heinemann Publications, Riverport, ABD.

- Şahin, Y., Demir, D., 2013. *X ışını spektroskopisi*
- Tekin, M., 2009. Alüminyum-Titanyum Alaşımlarının Aşınma ve Korozyon Davranışlarına Yaşlandırma Isıl İşleminin Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, K.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Ulutan, M., 2007. AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması, *Doktora Tezi*, O.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Anonim, 2016. Vikipedi, “İslanma”, Erişim tarihi: 10.10.2016, <https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=İslanma&oldid=14951062>
- Vijayaragavan, K.S., Putatunda, S.K., Dixit, A., and Lawes, G. 2010. “Electroless deposition of superconducting MgB₂ films on various substrates”, *Thin Solid Films*, 519, 658–661.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2009 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

2015 yılı ocak ayında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı, 2015 haziran ayında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.