



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**EPOKSİ KAPLAMALARIN NANO
ÇİNKO OKSİT PARTİKÜLLER
İLAVESİYLE MEKANİK VE KOROZİF
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Mehmet Kubilay ASKERDEN

Mayıs-2021

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

M. Kubilay ASKERDEN tarafından hazırlanan “Epoksi Kaplamaların Nano Çinko Oksit Partiküller İlavesiyle Mekanik Ve Korozif Özelliklerinin İyileştirilmesi” adlı tez çalışması 25/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mesut UYANER

.....

Danışman

Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Şakir YAZMAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mehmet Kubilay ASKERDEN

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EPOKSİ KAPLAMALARIN NANO ÇİNKO OKSİT PARTİKÜLLER İLAVESİYLE MEKANİK VE KOROZİF ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Mehmet Kubilay ASKERDEN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR

2021, 87 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ahmet Akdemir

Prof. Dr. Mesut UYANER

Dr. Öğr. Üyesi Şakir YAZMAN

Araçlarda kullanılan boya ve kaplamalarda anti-korozif ve mekanik özelliklerinin iyi olması istenmektedir. Bu tez çalışmasının amacı metal ile hava ortamı arasında bariyer görevi gören kaplamanın mekanik özellikleri ve anti-korozif özellikleri geliştirilerek, astar boya katında bariyer görevindeki kaplamada iyileşme elde edebilmektir. İki aşamadan oluşacak bu tez çalışmasının aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

İlk aşamada seçilen epoksi reçineye oranları farklı olacak şekilde (% 0.5, 1, 1.5) ZnO nanopartikülleri ilavesiyle nanokompozitler elde edilmiştir. Elde edilen ve kontrol amaçlı hazırlanan saf epoksi reçine numuneleri statik yük altında maksimum çekme kuvvetlerini belirleyebilmek için ASTM D638 çekme testi standartlarına göre numunelere çekme testi uygulanmıştır. Ağırlıkça %1 nanopartikül ilaveli kompozit kuponların çekme dayanımı, saf epoksiye oranla %21 oranında iyileşmiştir. Kompozitlerdeki termal özellikler DSC ve TGA testleri ile incelenmiş ve bağ yapıları ise FTIR ile analiz edilmiştir. Testlerin yorumlamaları için SEM görüntüleri kullanılmıştır.

Diğer aşama olarak aynı parametrelere göre hazırlanan nanokompozitleri ortalama 60 mikron kalınlığında DKP7114 sac üzerine kaplanmıştır. Hazırlanan numunelere hasarlı korozyon testi uygulanarak çizikler atarak antikoroziv özelliklerini incelemek için 72 saat asidik ortamda bırakılmıştır ve yine hasar verilen numuneler 96 saat salt sprej testine maruz bırakılmıştır. Yapılan korozyon testleri sonucunda kaplamaya ilave edilen ZnO nanopartikülü korozyon dayanımına katkıda bulunarak kaplamayı güçlendirmiştir. Ağırlıkça %1 ZnO nanopartikül ilaveli kaplama korozyon testlerinde en iyi sonucu göstermiştir. Uygulanan kaplamaya çatlama ve darbe direncini ölçmek için ASTM D 2794 standartlarına göre darbe testi yapılmıştır. Ayrıca numunelere ISO 6860 ve ASTM D522 standartlarına göre konik bükme testide yapılmıştır. Numune üzerinde kaplamanın yapışkanlığını ölçmek için ASTM D 3359 standartlarında kafes çizgi testi yapılarak kaplamanın yapışkanlığı ölçülmüştür. Yapılan mekanik testler sonucunda ZnO nanopartikül ilavesi epoksi kaplamanın mekanik özelliklerini olumsuz yöne etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Epoksi Reçine, Kaplama, Korozyon, Nanopartikül, ZnO Nanopartikül



ABSTRACT

MS

IMPROVEMENT OF MECHANICAL AND CORROSIVE PROPERTIES OF EPOXY COATINGS BY ADDITION OF NANO- ZINC OXIDE PARTICLES

Mehmet Kubilay ASKERDEN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR

2021, 87 Pages

Jury

Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR

Prof. Dr. Mesut UYANER

Dr. Şakir YAZMAN

It is desirable to have good anticorrosive and mechanical properties in paints and coatings used in vehicles. This thesis aims to improve the mechanical properties and anticorrosive properties of the primer. The stages of the thesis study, which will consist of two steps, are explained below.

In the first stage, nanocomposites were obtained by adding ZnO in different proportions (0.5, 1, 1.5%) to the selected epoxy resin in the form of nanoparticles. The tensile test was applied to samples according to ASTM D638 tensile test standards to determine the maximum tensile strength of pure epoxy resin samples obtained and prepared for control purposes. The tensile strength of composite coupons with 1.0 wt. % nanoparticle addition has improved by 21% compared to neat epoxy. FTIR analysis revealed the bond structures. Also, the tests were interpreted by SEM images.

As another step, nanocomposites prepared according to the same parameters were coated on a 60-micron thick DKP7114 sheet. The prepared samples were left in an acidic environment for 72 hours to examine their anticorrosive properties by scratching by applying a damaged corrosion test. The damaged specimens were subjected to a 96-hour spray test. As a result of the corrosion tests, the ZnO nanoparticles added to the coating strengthened the coating by contributing to the corrosion resistance. 1.0 wt.% ZnO

nanoparticle added layer showed the best result in corrosion tests. Impact test was performed according to ASTM D 2794 standards to measure the crack and impact resistance of the applied coating. Besides, the samples were conical bent according to ISO 6860 and ASTM D522 standards. The scratch test determined the coating's adhesion rate according to ASTM D 3359 standards to measure the adhesion of the coating on the sample. According to the mechanical tests, the addition of nano ZnO particles adversely affected the epoxy coating's mechanical properties.

Keywords: Coating, Corrosion, Epoxy Resin, Nanoparticle, ZnO Nanoparticle,



ÖNSÖZ

Lisans, Yüksek Lisans ve tez sürecim boyunca; her zaman destek olarak mühendislik bakış açısını en iyi şekilde aşıl原因an, vatanıma iyi bir mühendis olarak hizmet etmem için bana yol göstereren, derin bilgi birikimi, tecrübe ve deneyimlerini her daim benimle paylaşan ve benimle yakından ilgilenen çok kıymetli hocam Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca deneysel ve tez yazım çalışmalarımın yürütülmesindeki her aşamada bizzat yanımda olan, zorlandığım her zamanda beni yalnız bırakmayan, bilgi birikim ve desteklerini maddi manevi hiçbir şekilde esirgemeyen Dr. Öğr. Görevlisi Şakir YAZMAN'a ve çalışmamın başlangıcında sunduğu yardımları ile Doç. Dr. Fazliye KARABÖRK'e en içten teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim. İhtiyacım olduğunda yönlendirme ve her türlü yardımını benden esirgemeyerek desteklerini bana her zaman sunan Prof. Dr. Mesut UYANER hocama da teşekkürlerimi borç bilirim.

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca beni bir an yalnız bırakmayan, beni her zaman eğitime teşvik eden, bana inanan ve her türlü maddi ve manevi desteğini bir an bile esirgemeyen canım annem Havva Askerden'e sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım. Eğitimimle, başarımla, benimle gurur duyan ve elinden gelen her türlü maddi manevi desteğiyle benim bu günlere gelmemeye vesile olan ve hep bu günlerimi görmek istediğini dile getiren rahmetli babam Bestemi Askerden'i özlem ve rahmetle anıyor, minnet ve şükranlarımı sunuyorum. Beni örnek alarak eğitimini hayatını yönlendiren, her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen sevgili kardeşim Sibel ASKERDEN'e teşekkürü borç bilirim.

Hayatımda kardeşten öte bildiğim, beni sürekli motive edip ilerlemem için her zaman çaba gösteren ve tecrübelerini bana aktaran sevgili dostum Arş. Gör. Enes GÜNALTILI'ya, deneysel aşamalarımda malzemelerin hazırlanmasında, aparatlarımın yapılmasında, deneylerimin yapılmasında ve diğer işlerimde bana yardımlarını esirgemeyen sevgili abilerim Abdurrahman ÖZCAN, İlyas GÖKÇE, Mevlüt KARAMAN ve Süleyman ATAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Mehmet Kubilay ASKERDEN

KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. KURUMSAL TEMELLER	10
3.1. Korozyon Ve Korozyondan Korunma Yöntemleri.....	10
3.1.1. Korozyon mekanizması	10
3.1.2. Korozyon türleri.....	12
3.1.3. Korozyondan korunma	16
3.1.4. Kaplama çeşitleri	17
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
4.1. Malzeme Özellikleri.....	30
4.2. Epoksi/Nanopartikül Kompozitin Üretilmesi	31
4.3. Epoksi/Nanopartikül Kompozitin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	33
4.4. Epoksi/Nanopartikül Kompozitin Karakterizasyonu	33
4.5. Epoksi Kaplama Uygulaması.....	33
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
5.1. Kaplamanın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	36
5.1.1. Çekme testi	36
5.1.2. Kaplama kalınlık ölçümü.....	36
5.1.3. Darbe testi	37
5.1.4. Konik bükme.....	38
5.1.5. Kafes çizgi testi.....	39
5.2. Kaplamanın Koroziv Özelliklerinin Belirlenmesi	40
5.2.1. Hasarlı korozyon testi	40
5.2.2. Salt sprey (Tuz püskürtme) testi	41
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	43
6.1. ZnO Nanopartikül İlavesinin Nanokompozit Özelliklerine Etkisi.....	43
6.1.1. Nanokompozit hasar analizleri	43
6.2. ZnO Nanopartiküllerin Kaplama Özelliklerine Etkisi	46

6.2.1.	Kaplama mekanik özellikleri	46
6.2.2.	Kaplama korozif özellikleri	51
6.3.	Nanokompozit Analiz Sonuçları	55
6.3.1.	Nanokompozit TGA analizleri.....	55
6.3.2.	Nanokompozit DSC analizleri	57
6.3.3.	Nanokompozit FT-IR analizleri.....	58
6.3.4.	Nanokompozit SEM analizleri.....	60
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
7.1.	Sonuçlar.....	65
7.2.	Öneriler	66
KAYNAKLAR		67
ÖZGEÇMİŞ		75



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Z00	: ZnO nanopartikül ilavesi yapılmamış saf epoksi
Z05	: Ağırlıkça %0.5 ZnO nanopartikül ilavesi yapılmış epoksi
Z10	: Ağırlıkça %1.0 ZnO nanopartikül ilavesi yapılmış epoksi
Z15	: Ağırlıkça %1.5 ZnO nanopartikül ilavesi yapılmış epoksi
ZnO	: Çinko Oksit
µm	: Mikrometre
T_g	: Camsı geçiş sıcaklığı
T_{d05}	: %5 ağırlık kaybının olduğu sıcaklık
T_{d30}	: %30 ağırlık kaybının olduğu sıcaklık
T_{d50}	: %50 ağırlık kaybının olduğu sıcaklık
T_s	: İstatiksel ısı direnç sıcaklığı
T_{onset}	: Bozulma başlama sıcaklığı

Kısaltmalar

DGEBA	: Diglisidil Eter Bisfenol A (Diglycidyl Ether of Bisphenol A)
TGA	: Termo Gravimetrik Analiz (Thermogravimetric Analysis)
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Differential Scanning Calorimetry)
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometre (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (American Society for Testing and Materials)
EN	: Avrupa Standartları (European Standards)

1. GİRİŞ

Son yıllarda malzeme biliminin gelişmesiyle birlikte otomotiv sektöründe, mutfak eşyalarında, ev aletleri sektöründe, radyatörlerde ve havalandırma ekipmanları gibi birçok sektörde kaplama ve boyalarda mekanik ve antikorozyif özelliklerin iyileştirilmesi çok önemli hale gelmiştir. Gelişen teknoloji ile birlikte bu alanda yapılan çalışmalarda oldukça çoğalmaktadır. Boya ve kaplamalarda birçok yöntem bulunmakla birlikte aynı zamanda da kaplamaların mekanik ve antikorozyif özelliklerini iyileştirmek için nanoteknoloji kullanılarak kaplamaların yapısının iyileştirilmeye çalışıldığı uygulamalar oldukça fazla yer almakta ve önem arz etmektedir.

Kaplama ve boya işlemi yukarıda belirttiğimiz ve daha birçok sektörde önemli bir yere sahiptir. Çünkü malzemelerin yüzeylerinin dış etkenlere karşı korunmasında, kullanılan malzemelerin dış ortamla birlikte tepkimeye girip korozyif etkiler göstermesine karşı korunmasında, aşınma direncinin artırılmasında, darbelere karşı korumada ve ayrıca malzemelerde görsel olarak da güzel bir görünüm sağlamaktadır. Bu işlemlerle birlikte malzemelerin ve parçaların ömürleri uzamaktadır ve bir bariyer görevi görmektedir. Son yıllarda kaplama ve boyalara nanopartiküller ilave edilerek özelliklerinin iyileştirilmeye çalışıldığı birçok çalışma bulunmaktadır.

Nanoteknolojinin özünde atom ve moleküllerin en küçük birimlerini tanımlar ve maddeyi atomik boyutu ile kontrol etmek için moleküler yapısı yenilenmiş büyük yapılar üretilmesi de amaçlanmaktadır. Malzemelerin nano boyuttaki özellikleri ile makro boyuttaki özellikleri değişkenlik göstermektedir; nano boyuttaki malzemeler makroya göre daha üstün özellikler gösterdiği bilinmektedir. Nano boyuttaki malzemeler normalden daha az miktarlarda oldukça yüksek etkilere sahiptirler. Bu da nanopartiküllerin önemini son yıllarda oldukça arttırmaktadır.

Bu çalışmada ise araçlara uygulanan boya ve kaplamalarda astar kata uygulanan epoksi kaplamaların mekanik ve antikorozyif özelliklerinin iyileştirmek için epoksi kaplamalar kullanılacaktır. Birçok çalışmada antikorozyif özelliği ile bilinen Zn elementinin oksitlendikten sonra oluşumu olan ZnO 'in nano boyutta kaplamalara ve boyalara belli oranlarda eklenerek kaplamalar ve boyalar üzerindeki mekanik ve antikorozyif özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada seçilen epoksi reçineye oranları farklı olacak şekilde (% 0.5, 1, 1.5) nanopartikül halinde ZnO eklenerek nanokompozitler elde edilmiştir. Elde edilen ve kontrol amaçlı hazırlanan saf epoksi reçine numuneleri statik yük altındaki maksimum

çekme kuvvetlerini belirlemek amacıyla ASTM D638 çekme testinin standartlarına göre numuneler için çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi uygulanarak kıyaslamalar yapılmış, termal özellikleri DSC ve TGA testleri ile incelenmiş ve bağ yapıları FTIR ile analiz edilmiştir. Testlerin yorumlamaları için SEM görüntüleri kullanılmıştır.

Diğer aşama olarak aynı parametrelere göre hazırlanan epoksi reçine 60 mikron kalınlığında DKP7114 sac üzerine kaplanmıştır. Hazırlanan numunelere hasarlı korozyon testi uygulanarak çizikler atarak antikorozyf özelliklerini incelemek için 72 saat asidik ortamda bekletilmiştir. Aynı zamanda malzemenin tuzlu ortamdaki korozyf özelliklerini incelemek için 96 saat boyunca tuz püskürtme testi yapılarak sonuçları gözlemlenmiştir. Uygulanan kaplamaya çatlama ve darbe direncini ölçmek için ASTM D 2794 standartlarına göre darbe testi yapılmıştır. Ayrıca numunelere ISO 6860 ve ASTM D522 standartlarına göre konik bükme testide yapılmıştır. Numune üzerinde kaplamanın yapışkanlığını ölçmek için ASTM D 3359 standartlarına göre kafes çizgi testi yapılarak kaplamanın yapışkanlığı ölçülmüştür. Bu çalışmada iyileştirmeleri gözlemek amacıyla çalışılan numunelere standartlar doğrultusunda mekanik ve korozyf testler yapılmıştır. Bu çalışmayla birlikte birçok sektörde kaplama ve boya işlemlerinde ZnO nanopartikülü ekleyerek eklenen nanopartikülün etkisinin ve iyileştirmelerinin ilerleyen çalışmalara örnek olması da amaçlanmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaplamalar çoğunlukla dekoratif, koruyucu olarak; darbelere, korozyona, ışığa vb. karşı koruma veya işlevsel amaçlar için yüzeylere uygulanır, ancak çoğu zaman amacı bunların hepsini kapsamaktadır. "İşlevsel kaplamalar" terimi, bir kaplamanın klasik özelliklerinin yanı sıra (başka bir deyişle dekorasyon ve koruma) ek bir işlevselliğe sahip sistemleri tanımlar (Wulf, M., Wehling, A. and Reis, O., 2002).

Özel özelliklerinin yanı sıra, fonksiyonel kaplamalar genellikle ek gereksinimleri karşılamalıdır; çizilmeye karşı dirençli olmalı, aşınmaya ve ısıl etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. İşlevsel kaplamalardan beklentiler genellikle yüksek dayanıklılığa sahip olması, kolay uygulayabilme, maliyetli olma ve çevre dostu da olması gerekmektedir (Mathiazhagan, A. and Joseph, R., 2011).

Fonksiyonel özelliklerine bağlı olarak kaplamalar birkaç tip olarak sınıflandırılabilir. Fonksiyonel kaplamalar fiziksel, kimyasal, mekanik, termal ve özellikleri ile gerçekleştirilir. Örneğin; kimyasal olarak aktif fonksiyonel kaplamalar, etkinliklerini ya film-materyal ara yüzlerinde (antikorozif kaplamalar), filmin kütlesinde veya hava-film ara yüzlerinde (antibakteriyel, kendi kendini temizler) gerçekleştirir (Mathiazhagan, A. and Joseph, R., 2011).

Kullanım ömrü boyunca kaplamalar, koruyucu ve dekoratif fonksiyonlarını kötüleştiren çeşitli çevresel faktörlere maruz kalmaktadır. Doğal hava koşullarına maruz kalan otomotiv sektöründe, mutfak eşyalarında, dayanıklı ev aletleri sektöründe, radyatörlerde ve havalandırma ekipmanları vb. birçok sektörde uygulanan kaplamaları etkileyen maruz kaldıkları faktörler arasında aşağıdakiler en yaygın olanlardır: iklim faktörleri (ultraviyole ışınımı, ısı, nem), agresif ortam ve aşındırıcı parçacıklar (Kotnarowska, D. and Wojtyniak, M., 2009).

Polimer kaplamalar dış ortamdaki fiziksel nedenlere bağlı olarak aşınma, soyulma, çizilme, parçalarının kayıplarının yanı sıra, kaplamanın uygulandığı yüzey ile arasındaki deformasyonunda, aşındırıcı parçacıkların kaplamayı etkilediği yerlerde kendini gösterir (Kotnarowska, D. and Przerwa, M., 2013).

Demir ve çelikler atmosfere maruz kaldıklarında pas oluştuğu bilinmektedir. Genel olarak paslanma korozyon olarak adlandırılrsa da, ikincisi bir malzemenin çevresel ile etkileşime, tepkimeye girerek tahrip ediciliğini tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir. Korozyon genellikle metalleri ifade etse de, plastik, beton gibi

metalik olmayan materyallerde ortamda bozulabilmektedir. Korozyon ile birlikte bir çok endüstriyel kayıplar yaşanmaktadır (Mathiazhagan, A. and Joseph, R., 2011).

Korozyon aslında, elektrik hücresinde bir anot (korozyon alanı), bir elektrolit (aşındırıcı ortam) ve bir katotun (korozyon sürecinde aktif olan, ancak korozyon sürecinde aktif olan metalin bir kısmı) oluştuğu bir elektrokimyasal süreçtir (Verkholantsev, V.V., 2003).

Uygulanan kaplamanın antikoroziv performansı çeşitli parametrelere dayanmaktadır. Bu parametreler; metale yapışkanlığı, kalınlığı, geçirgenliği ve kaplamanın farklı özelliklerini de içine alır. Çoğu durumda astar katın korunmasında ve diğer katlarda da materyalin korunmasında kaplamalar görev almaktadır. Bu bağlamda kaplamada astar katta astarın metalik yüzeye iyi yapışmasını sağlamak ve bunun hazırlığını yapmak önemli bir noktadır (Gellings, P.J., 1985).

Kurban olarak belirlenen; materyali korumak için çinko gibi kurban anotların kullanımı uzun süredir endüstriyel alanda kullanılan bir uygulamadır. Galvanizli malzeme üzerindeki çinko katman, olumsuz bir ortamla karşılaştığında bozunur ve bu sayede alt yüzey korunmuş olur. Benzer bir yaklaşım olarak çeşitli metal materyalleri korumak için inorganik ve organik reçine bazlı kaplamalar çinko bakımından zenginleştirilerek uygulanmıştır (Kouloumbi, N. and Moundoulas, P., 2002).

Mikro boyuttaki bir ZnO le nano boyuttaki ZnO'in yüzey özellikleri incelendi. Bir nano ZnO'in kaplamalara eklendiğinde veya farklı polimerlere eklendiğinde termal bozulmasını ve çapraz bağlanmasını geciktirdiği aynı zamanda dengeleyici bir özelliğe sahip olduğu bulundu. Bununla birlikte geleneksel mikron boyutundaki ZnO ve ayrıca nano boyuttaki ZnO'den daha büyük belirli bir yüzey alanına sahip olmasına rağmen mikron boyutunda hiçbir stabilize edici etkiye rastlanmadı (Cho, K.S., Hong, J.I. and Chung, C.I., 2004).

Çinko tozunun iki bileşenli bir epoksi ile tek bileşenli poliüretan bir epoksi ile ve epoksi reçinelerinden oluşan bağlayıcılar ile kaplama bileşenlerinin antikoroziv özelliklerinin inceledi. Kaplamada yapılan testleri elektron mikroskobu ve kaplama morfolojisine göre değerlendirdi. Kaplamanın sonucunda bariyer mekanizmaların korozyon önleyici olarak yapılan bu çalışma etkinliği, elektrokimyasal kaplama mekanizmasından daha fazla etkili olduğunu gösterdi (Kalendova, A., 2002).

Çinkonun kaplamada partikül boyutlarına göre ve antikoroziv özellikleri incelendi. Bağlayıcı olarak epoksi ester reçinesi kullanıldı. Çinkonun partikül büyüklüğünün şekil etkileri, mekanik özellikleri, su buharını filme geçirgenliği, ve

korozyon direnci incelenir. Küresel parçacık boyutlarının kaplama üzerindeki etkinliği arasında bağlantı kuruldu. Küçük partikül boyutları daha iyi antikorozyon ve mekanik özellikler gösterdi (Kalendová, A., 2003).

Pigment ve bağlayıcı oranının korozyon direnci kaplamalarda ve karbon çeliği üzerinde denendi. Kaplama yapılmış çelikler %3.5 NaCl çözeltisine 1000 saat maruz bırakıldı. Çalışma ve deneyler ZnO hem nano ZnO arasındaki farkı ölçebilecek şekilde iki ayrı seride yapıldı. Korozyon direnci pigment ve bağlayıcı oranından etkilendiği gözlemlenmiştir. Geleneksel çinko oksidin pigment bağlayıcı oranı P/B= 1 iken nano çinko oksidin P/B=0.3 tür. Aynı zamanda nano ZnO 'li pigmentli kaplamalar daha iyi koruma sağlamıştır. Aynı zamanda korumayla birlikte oranlardan da görüleceği üzere daha az nano ZnO gerekir (Yang, L.H., Liu, F.C. and Han, E.H., 2005).

Tetrapod benzeri nanopartikül ZnO akrilik reçine kompoziti, çok fonksiyonlu bir kaplama hazırlandı. Akrilik reçinede homojen dağılımlı nano ZnO içeren kompozit anti elektrostatik hem de anti bakteriyel fonksiyonlara sahip özellikler gösterdi (Xu, T. and Xie, C.S., 2003).

Silikonla modifiye edilmiş alkid bazlı kaplamaya farklı konsantrasyonlar da nano ZnO eklenerek kaplamaların mekanik özellikleri, ısı dayanımları ve yüzey morfolojisi incelendi. Kaplama çelik panele uygulanarak FTIR, DSC, TGA ile karakterizasyonu incelenerek. SEM ile yüzey Morfolojisine bakıldı. Nano ZnO ilaveli kaplamaların % 0.3 oranındaki nano ZnO eklenmiş kaplama en iyi şekilde kaplamanın mekanik özelliklerini ısı direncini önemli ölçüde geliştirmiştir. (Dhoke, S.K., Bhandari, R. and Khanna, A.S., 2009).

Bir epoksi reçinede mekanik özellik ve dielektrik özellikleri incelenmek için karbon nanotüp ve ZnO nanokompozit içerenleri incelenerek kıyaslandı. Epoksi reçinede nano ZnO varlığında daha iyi mekanik özellikler gözlemlendi. Burdaki nano ZnO oranı % 1.0 daki hacmi en iyi değeri verdi. Isıl dayanımında DSC verileri nano ZnO içeren kompozitlerde daha iyi sonuçlar göstermiştir. Epoksi iletkenliği ise kıyaslandığında Karbon nano tüpe göre ZnO varlığı iletkenliği geliştirdi (Vu, P.G., Truc, T.A., Chinh, N.T., Tham, D.Q., Trung, T.H., Oanh, V.K., Hang, T.T.X., Olivier, M. and Hoang, T., 2018).

Nano ZnO partikülünün su bazlı poliüretan dispersiyonu üzerindeki etkileri incelenen bu çalışmada % 0.1 nano ZnO eklenmiş kaplama % 1.0 nano ZnO ilave edilmiş kaplamaya kıyasla, optik geçirgenliği koruyan korozyon direnci, UV direnci ve

mekanik özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir (Dhoke, S.K., Rajgopalan, N. and Khanna, A.S., 2012).

Kaplamalarda en çok kullanılan nanopartiküller SiO₂, TiO₂, ZnO, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaCO₃ tür. En yaygın olarak nanopartiküllerin kullanım alanı sahip oldukları özelliklere dayanır. Örneğin nano titanya ve nano çinko oksit, en yaygın olarak UV bloke edici olarak kullanılırken nano alümina ve nano silika kaplamanın çizilme ve aşınma direncini arttırdığı görülmüştür (Dhoke, S.K., Rajgopalan, N. and Khanna, A.S., 2012; Baer, D.R., Burrows, P.E. and El-Azab, A.A., 2003).

Poli vinil alkol ile modifiye edilmiş ZnO nanopartiküllerinin epoksi kompozitlerinin üzerindeki mekanik ve termal özellikleri incelendi. Ağırlıkça % 0-2 aralığında modifiyeli ve modifiyesiz numuneler hazırlandı. Hazırlanan numunelerde camsı geçiş sıcaklığında nano ZnO içeren kompozitler de önemli gelişmeler görüldü. Mekanik testler(basınç dayanımı, eğilme dayanımı, eğilme katsayısı) sonucunda PVA destekli nano ZnO takviyeli nanokompozitlerden % 2 konsantrasyona sahip olan numune en iyi mekanik sonucu vermiştir (Halder, S., Prasad, T., Khan, N.I., Goyat, M.S. and Chauhan, S.R., 2017).

Ağırlıkça % 0.5 ve % 1 oranlarında ZnO nanopartikülleri içeren ve % 0.78 PANI (polianilin) içeren epoksi nanokompozitlerle kaplama hazırlanıp ve kaplamanın mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Numunelerin mekanik karakterizasyonlarını belirlemek için pendulum sertlik, çizilme, darbe direnci ve nanoiz kullanmıştır. Tg ve termal stabilizasyonlarını incelemek amacıyla da DSC ve TGA kullanmıştır. Mekanik analiz sonuçları ZnO ilave edilmiş ağırlıkça % 1lik kaplamanın kaplamanın sertlik değerinin (0.180 Gpa'dan 0.206 Gpa'ya) , çizilme direncinin ZnO ilavesiz kaplamaya göre max % 15 oranında artarak değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir. Darbe dayanımı ile elastiklik modülünün (3.76 Gpa'dan 3.46 Gpa'ya) düştüğünü ve ZnO eklenmesinin kaplamanın Tg (59.450C den 56.950C'ye) ve termal olarak stabilitesini azalttığı gözlemlenmiştir (Samad, U.A., Alam, M.A., Chafidz, A., Al-Zahrani, S.M. and Alharthi, N.H., 2018).

PANI(polianilin) nano çinko ve epoksi reçine karışımı ile DIN St 12 demir numuneleri üzerinde kaplama yapılarak kaplamanın antikorozyon özellikleri araştırılmıştır, polianilin ile kaplamaya ek olarak nano Zn eklenmesi kaplamanın mekanik özelliklerinde artışa neden olmuştur. Hibrit karışımda &3-7 arasında nano Zn kompozisyonları hazırlanmış olup en iyi antikorozyon performansı % 4 nano çinko tanecikleri vermiştir. Bu çalışmada sadece mekanik özellikler değil aynı zamanda

kaplamanın elektro kimyasal korozyon önleyici özelliklerinin de geliştiği görülmüştür (Olad, A., Barati, M. and Behboudi, S., 2012).

Epoksinin kaplamaların mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla epoksiye çeşitli nanopartiküller yapılarak FTIR, nanoiz ve mekanik özellikleri incelendi. Epoksiye % 2 oranında ZrO₂, ZnO, Fe₂O₃ ve SiO₂ nano partükülleri eklenmesiyle sertliğinde % 28, % 56, % 61 ve % 71'lik bir artış görülmüştür. Takviyesiz epoksi ile nanopartikülün eklendiği epoksi kaplama kıyaslandığında takviyesize göre kaplamada çizilme direnci, darbe direnci artmıştır. Ayrıca en iyi mekanik özellikleri SiO₂ göstermiştir (Boumaza, M., Khan, R. and Zahrani, S., 2016).

Çalışmada karbon çeliği üzerine polianilin (PANI) –ZnO nanopartükikülünün epoksi kaplama uygulaması üzerine çalışılmıştır. Çalışmada kaplamanın korozyon direnci, ısı dayanımı, elektrik iletkenliğine bakılmıştır. X-ışını difraksiyon modeli (XRD), Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR), taramalı elektron mikroskobu (SEM), transmisyon elektron mikroskobu (TEM), termal gravimetrik analiz (TGA) ve elektriksel iletkenlik teknikleri ile karakterize edildi. PANI- nano ZnO saf epoksiye göre daha iyi bariyer özelliği göstermiştir. Nano hibrid kaplama saf epoksiye göre yüzeyde çatlaksız, homojen ve daha kopmak olduğunu göstermiştir. Ayrıca %3.5 NaCl oda şartlarında korozyon direnci incelendiğinde saf epoksiye göre daha iyi korozyon direnci göstermiştir (Mostafaei, A. and Nasirpour, F., 2014).

Polianilin (PANI) –ZnO nanopartikülünün epoksi kaplama uygulamasındaki antikorozyf özelliklerini karakterize etmek için Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi, X ışını kırınım desenleri, alan emisyon taramalı elektron mikroskobu ve transmisyon elektron mikroskobu teknikleri kullanıldı. ZnO nanopartiküllerinin eklenmesiyle elektriksel iletkenliği kaplamada gelişmiştir. ZnO-polianilin-nano kompozit, bir çözelti karıştırma usulü ile polivinil klorür (PVC) ile karıştırıldı ve üç bileşenli hibrid PVC / ZnO-polianilin malzemesi, çözelti döküm yöntemi ile demir kuponlar üzerine kaplama olarak uygulandı. % 3.5 NaCl çözeltisi içerisinde korozyon testine tabi tutularak korozyf özellikleri incelendi. Korozyon testi sonucunda nano ZnO nun bulunduğu hibrid çarpıcı bir şekilde korozyona karşı dirençli olduğu görülmüştür. Ayrıca nano ZnO'in bulunduğu hibrid kaplamada kaplamanın bariyer etkisi oldukça gelişti (Olad, A. and Nosrati, R., 2013).

Epoksi nanokompozitlere ağırlıkça % 2, % 3.5, 5 ve % 6.5 ZnO nanopartikülleri eklenerek çelik alt tabakalara nanokompozitler uygulanmıştır. Numuneler % 3.5 NaCl çözeltisi içerisinde 1344 saat boyunca daldırılarak korozyon direnci incelendi ve

kaplamanın korozyon direnci oldukça gelişmiştir. Kaplamaya aynı zamanda DMTA (Mekanik termal analizi), (Elektro kimyasal empedans spektroskopisi) EIS incelendi. Kaplamaların kürlenme davranışı (Diferansiye taramalı kalorimetre) DSC ile çalışıldı. Kaplamanın yüzey morfolojisi için (Atomik kuvvet mikroskobu) AFM kullanıldı. Hidrolitik bozulmaya karşı FTIR ile çalışıldı. Camsı geçiş sıcaklığındaki artış ve çapraz bağlanma yoğunluğundaki azalama düşük nanopartikül yüklenmesinde elde edilebildi. Nanopartiküller eklenmesiyle hidrolitik bozulmaya karşı bariyer özellikleri ve kaplama direnci gelişmiştir (Ramezanzadeh, B., Attar, M.M. and Farzam, M., 2011).

Mikro ve nano boyutlu parçacıkların korozyon direnci ile birlikte kaplamanın hidrolitik bozunması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektro kimyasal empedans spektroskopisi (EIS), dinamik termal mekanik analiz (DMTA) ve korozyon direncini ölçebilmek adına % 3.5 NaCl çözeltisi içerisine daldırılarak değerlendirilmiştir. Korozyon etkisinde nano parçacıklar korozyon direncini arttırmıştır fakat nanopartikül olarak eklenen ZnO korozyon direncini oldukça arttırmıştır. Kaplamanın yapışması nanopartiküller de daha iyi sonuç vermiştir (Ramezanzadeh, B. and Attar, M.M., 2011).

Düşük karbonlu çelik üzerinde uygulanan polianilin- ZnO nanopartikülleri içeren organik kaplamanın korozyon direnci incelenmiştir. Kaplamaların XRay kırılımı, FTIR analizi, SEM yorumlanması, TEM analizleri yapıldı. Korozyon direnci için 65 °C de % 3.5 NaCl çözeltisine daldırılmıştır. % 2 ağırlıkla nano ZnO'nun eklendiği kaplama en iyi özelliği göstererek korozyon direncini oldukça arttırmıştır. Nano ZnO aynı zamanda kaplamanın bariyer özelliklerini de oldukça arttırmıştır (Mostafaei, A. and Nasirpour, F., 2013).

Korozyonu önleyen epoksi reçine çapraz bağlanmada içi boşluklu olduğundan erken bozulur aynı zamanda zayıf yüzey bariyerine sahiptir. Bu çalışmada garafen oksit ile nano ZnO kaplama dağılımı yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi ve korozyon direnci için hibrid edildi. FTIR analizi yapıldı, X ray ışını geçirgenliği incelendi, SEM ile yüzey morfolojisi yorumlanmıştır. Bu hibrid normal epoksilerle karşılaştırıldığında kaplamalar etkin bir şekilde su bariyer özellikleri, yüzeye yapışması ve korozyon koruması iyileşmiştir (Othman, N.H., Yahya, W.Z.N., Ismail, M.C., Mustapha, M. and Koi, Z.K.).

Nano ZnO parçacıklarının poliüretan kaplamalar üzerinde % 0.1 ile 2.0 arasında değişken yüklemeleriyle birlikte imal edildi. Kaplamalar bakterilere karşı tarandı ve korozyon performansı, mekanik özellikleri incelendi. Kaplamaların yüzey dağılımı,

mekanik özellikleri gelişti ve korozyon direnci oldukça yükseldi (El Saeed, A.M., El-Fattah, M.A. and Azzam, A.M., 2015).

Nano ve mikro ZnO partikülleri içeren epoksi poliamid kaplamanın mekanik ve viskoelastik özellikleri incelendi. Farklı yüklerde nano ve mikro boyut olarak ağırlıkça kaplamalar hazırlandı. DMTA (dinamik mekanik termal analiz) ve mikro Vickers kullanılmıştır. Viskoelastik özelliklerini belirlemek için çekme testi yapıldı. Yüzey morfolojisi SEM ile yorumlandı. Camsı geçiş sıcaklığı mikroda artarken nano boyutta azalmıştır. Nano boyutlu kaplamalarda yüksek tokluk elde edildi. Epoksi kaplamanın serleşme davranışı da değişmiştir (Ramezanzadeh, B. and Attar, M.M., 2011).

ZnO nanopartiküllerinin kaplamanın mekanik özellikleri üzerindeki etkisi ve epoksi nanokompozitin sertleşme davranışı incelenmiştir. Nanokompozitler, ortalama 40 nm'lik bir büyüklüğe sahip önceden dağılmış ZnO nanopartiküllerin farklı yüklemeleri kullanılarak hazırlandı. Nanokompozitlerin yüzey topografyası ve morfolojisi atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılarak incelenmiştir. Nanokompozitlerin mekanik özellikleri, dinamik mekanik termal analiz ve mikro-Vickers sertliği dâhil olmak üzere incelenmiştir. ZnO nanopartiküllerin bu nanokompozitlerin kürlenme davranışı üzerindeki etkileri izotermal ve izotermal olmayan diferansiyel taramalı kalorimetre teknikleri kullanılarak çalışılmıştır. Ayrıca farklı ZnO nanopartikül içerikleri içeren kaplamaların kimyasal bileşimleri, çıkarılan bir Fourier dönüşümü kullanılarak incelenmiştir. ZnO nanopartiküllerinin, epoksi kaplamanın mekanik özelliklerini etkili bir şekilde etkileyebildiği bulundu. Dahası, düşük sertleşme dereceleri ve dolayısıyla daha yüksek ZnO nanopartikülleri içeren epoksi kaplamanın çapraz bağlanma yoğunluğu elde edildi. Bu etki parçacıkların alçak ve yüksek yüklerinde tamamen farklıydı (Ramezanzadeh, B., Attar, M.M. and Farzam, M., 2010).

3. KURUMSAL TEMELLER

3.1. Korozyon Ve Korozyondan Korunma Yöntemleri

Korozyon bir materyalin kimyasal veya elektro kimyasal saldırısı sonucu sürekli olarak bozulmasına denilmektedir (Oturaklı, Ş., 2010) .

Altın ve platin dışında metaller doğada oksitlenmiş halde bulunabilirler. Genellikle çelik ve demir; Oksijenin ve suyun bulunduğu her ortamda deformasyon yaşar. Korozyon oranı ortam koşullarına bağlı olarak değişir (EKER, B. and AKDOĞAN, A.).

Bronz, pirinç, paslanmaz çelik, çinko ve alüminyum, koruma olmadan da korozyona dayanımları beklenen bazı koşullarda çok yavaş korozyona maruz kalırlar (ÜRGEN,M.1989).

Metallerin ve alaşımların kararlı hallerinin olduğu bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucu olarak da metaller içinde buldukları ortamdaki elemanlar ile birlikte reaksiyona girerek, önce iyonik hale ve oradan ise ortamdaki başka elementlerle de birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar; yani kimyasal değişime uğrararak bozunurlar. Sonuç olarak metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliği istenmeyen şekilde değişikliklere (zarara) uğrar. Korozyon, metalin birim zamanda çözünme miktarı olarak tanımlanır. Hızının belirlenmesi, metal ve alaşımlarının korozyona karşı dayanımlarının belirlenebilmesi için önemlidir. Son zamanlarda yapılan bilimsel çalışmalarda bu korozyona uğrama sürecinin gerçekleştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Korozyon hızı ve korozyon sonucu oluşan kayıp deneylerle ölçülebilmektedir.

3.1.1. Korozyon mekanizması

Korozyon birbiri ile elektriksel ve elektrolitik temas gerçekleşen ve aralarında potansiyel farkı oluşan ve oluşabilecek iki metalik bölge veya nokta arasında meydana gelir. Bu bölge veya noktalardan potansiyel olarak daha asil olanın yüzeyinde katodik reaksiyon meydana gelir ve daha aktif olan diğer bölge veya nokta ise çözünür. Potansiyel farkının oluşum nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Metal veya alaşımın kimyasal, yapısal, mekanik veya ısı farklılıklar gösteren bölgeleri arasında potansiyel fark oluşabilir.

- Farklı iki alaşım veya metal birbirine temas etmesi ile birlikte potansiyel fark oluşabilir.
- Ortamın katodik olarak redüklenebilen bileşenlerinin, metalin farklı bölgelerinde farklı oranlarda bulunması potansiyel farkı oluşturabilir.

HCl çözeltisi içerisine demir parçası daldırılırsa hidrojen kabarcıklarının ortaya çıktığı görülecektir. Demirin sahip olduğu yüzey pürüzlülüğü, yerel gerilmeleri, tane yönelmeleri vb. gibi faktörler demirde çok sayıda katot ve anot bölgeleri oluşturmaya müsait hale getirmektedir. Anot bölgesinde bulunan pozitif yüklü demir atomları parçanın yüzeyinden ayrılarak pozitif iyonlar olarak sıvı çözeltiliye geçerken, negatif yüklü elektronlar metal (demir) içinde kalırlar. Bu elektronlar, çözeltiliden metal yüzeyine ulaşan pozitif hidrojen iyonlarını karşılayarak onları nötrleştirir. Bu işlem devam ettiği sürece demir anot bölgesinde oksitlenerek korozyona uğrar. Parçanın katot olan bölgeleri ise hidrojenle kaplanır. Çözünen metal miktarı, uygulanan gerilim ile birlikte metalin direncine bağlı olan hareketli elektron sayısı veya akım şiddeti ile doğru orantılıdır.

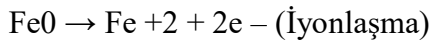
Korozyon esnasında anodik (elektron veren-yükseltgenme) reaksiyonlar ile katodik (elektron alan-indirgenme) reaksiyonları birlikte oluşmaktadır. (Oturaklı, Ş., 2010)

Anodik reaksiyon, metalik iletkenenden iyonik iletkene olan pozitif yük transferini gerçekleştiren elektron reaksiyonudur. Anodik reaksiyon, daima bir oksitlenme reaksiyonudur.

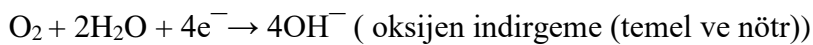
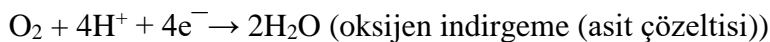
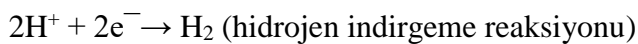
Katodik reaksiyon, metalden elektrolite negatif yükün transfer olduğu elektrot reaksiyonudur. Katodik reaksiyon, daima indirgenme reaksiyonudur.

Elektrot reaksiyonu, elektrolit ve metal ara yüzeyinde yük transferine neden olan kimyasal reaksiyondur.

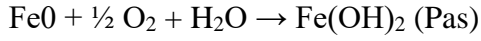
Anodik Reaksiyon:



Katodik reaksiyon:



Toplam Reaksiyon:



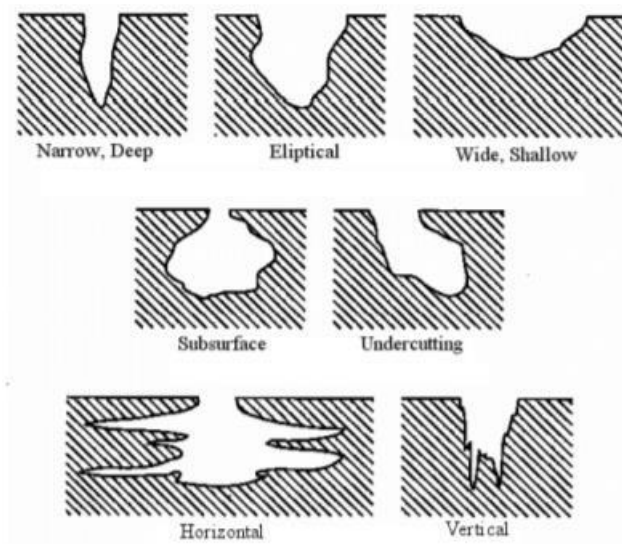
Hidrojen indirgeme reaksiyonu, bir metal bir asit ortamına maruz kaldığında görülür, oysa oksijen indirgeme reaksiyonu en çok hava ile temas halinde bu reaksiyonu üretebilen sulu çözeltilerde yaygındır. Metal iyon azaltma reaksiyonu kimyasal ortamda sıklıkla bulunmaz. Anodik ve katodik reaksiyonlar metal yüzeyde aynı anda gerçekleşmelidir. Anodik reaksiyon tarafından üretilen elektronların miktarı katodik reaksiyon tarafından tüketilir ve bu nedenle yüklerin nötrlüğü korunur (Oturaklı, Ş., 2010).

3.1.2. Korozyon türleri

Korozyonlar oluş türlerine göre sınıflandırılabilirler. Bu oluşumlar farklı ortam ve şartlar altında gerçekleşmektedir. Korozyon türleri aşağıdaki gibidir:

3.1.2.1. Çukurcuk korozyonu

Korozif ortamlara maruz kalan malzemelerin yüzeylerindeki pasif film üzerinde meydana gelebilen lokal korozyon tipi olarak da bilinir Şekil 3.1 de görüldüğü gibi çoğu zaman çukurlar gözle görülmeyecek kadar küçük olabilmektedir ve çukurcukların derinliği çapları kadar olabilmektedir (Karadirek, 2013).



Şekil 3.1. Çukurcuk korozyon tipleri

Çukurcuk korozyonları genellikle paslanmaz çelik ve alüminyum alaşımları gibi pasifleşebilen metallere değişik Şekil 3.2. de de görüldüğü gibi kendini gösterir.

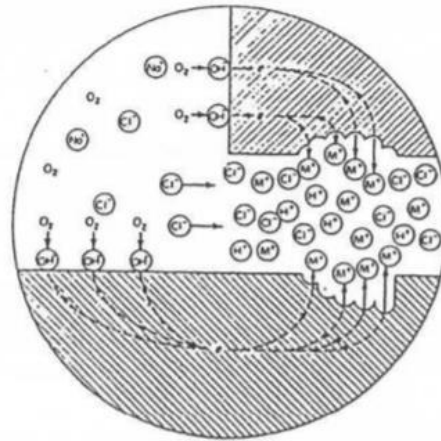


Şekil 3.2. Çukurcuk korozyon örnekleri

Bu korozyon türü en riskli olandır. Çünkü az malzeme kaybına karşın makine elemanını kısa sürede devre dışı bırakır.

3.1.2.2. Aralık korozyonu

Birbiri ile temas etmeyen iki yüzey arasındaki aralıkta kalan bölgedeki oksijen farklılaşması nedeni olan bir korozyon türüdür aralık korozyonu. Genellikle hızlandırılmış bir korozyon türü olan bu korozyon tipi sızıntı nedeniyle dar aralıklarda oluşacaktır. Oksijenin çok olduğu yerin katot az olduğu yerin anot olarak davranmasıyla gerçekleşir ve herhangi bir alaşımın homojen olmaması da korozyonu hızlandırır. Bu korozyon metalin çözünerek hidroksit iyonuna indirgenmesiyle oluşmaktadır (Tanattı, 2015). Şekil 3.3. de aralık korozyonunun oluşumu şekilsel olarak gözlemlenmektedir.

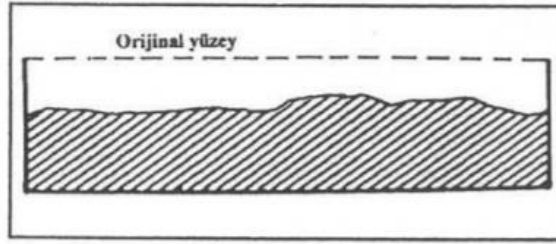


Şekil 3.3. Aralık korozyonu oluşumu

3.1.2.3. Homojen korozyon

Korozyona uğrayan tüm yüzeyde anot ve katodun düzgün olarak dağılım gösterdiği korozyon türü olan bu korozyon türü, metalin yüzeyinde aynı hızda ilerler ve

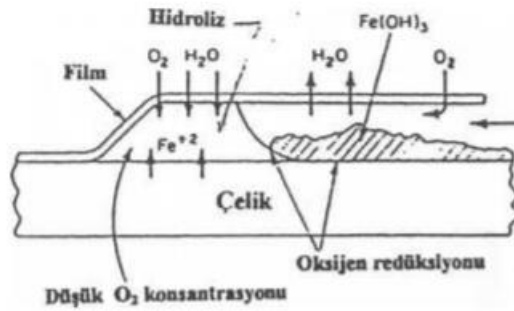
sonuç olarak metal kaybı yaklaşık olarak yüzeyin her yerinde aynı olmaktadır (Şekil 3.4.). Bu korozyon atmosfere açık olan metal yüzeyde gerçekleşmektedir. Kesitte homojen bir azalma olan yüzeye sahip olduğundan korozyon hızı pek tahmin edilemeyecektir. Meydana gelen kayıp oldukça yüksek olduğundan korkulan bir korozyon türüdür (Coşkan, 2011).



Şekil 3.4. Homojen korozyon

3.1.2.4. Kabuk altı (filiform) korozyonu

Metal yüzeylerde boya altından ilerleyen bu korozyon türü çatlak korozyonunun biri türü olarak da değerlendirilebilmektedir (Şekil 3.5.). Bu korozyon boya altında solucan hareketine benzeyen bir şekilde ilerlemekte ve birbirleri ile kesişmeden birleşerek de devam etmektedirler.

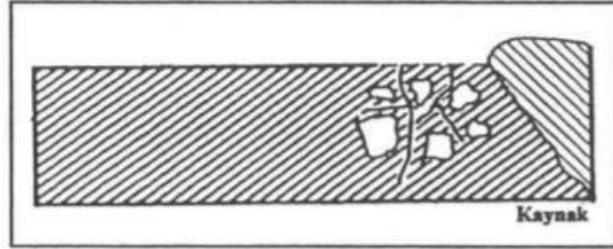


Şekil 3.5. Kabuk altı korozyonu

3.1.2.5. Taneler arası korozyon

İki veya daha fazla metalin homojen şekilde birleşiminden doğan katı fazlı karışımlarda taneler arasında boşluklarda sınır çizgileri oluşur ve bu korozyon bu sınır çizgilerinde meydana gelir. Bu bölgelerde metallerin konsantrasyonu farklılık göstermekle birlikte korozyon içinde uygun ortam oluşmaktadır. Genellikle kaynak yapılan bölgelerde bu korozyonu Şekil 3.6. daki gibi görebiliriz. Taneler arası

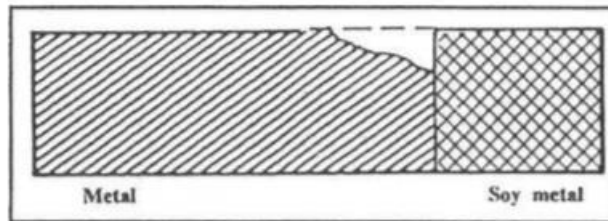
korozyonda herhangi bir elementin fazla veya az olması durumunda örneğin; alüminyum içerisinde demir çok az çözünür, bu nedenle korozyon bu bölgelerde daha çok toplanır (Saraloğlu, 2010).



Şekil 3.6. Taneler arası korozyon

3.1.2.6. Galvanik korozyon

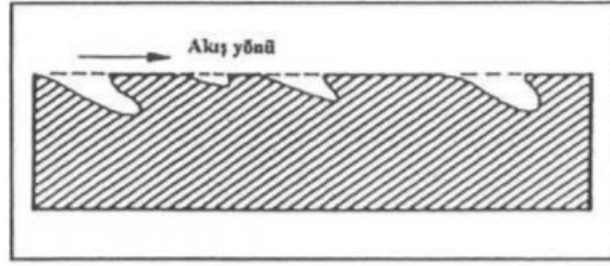
İki farklı metalin bağlantısından doğan ve çok rastlanan bir korozyon türüdür. Tehlikeli sonuçlar ortaya çıkarabilen bu korozyon türünde farklı metaller çözeltiye daldırıldığında potansiyel bir fark mevcuttur ve korozyon ilerleme hızı bu potansiyel farka bağlılık göstermektedir (Şekil3.7.). Bu iki farklı metal birbirine temas ediyorsa, aralarından da akım geçebiliyorsa elektron akışı meydana gelir (Aydın, H. (2009)). Kuru pil bu korozyon şekline iyi bir örnektir. İki farklı metal bir korozif ortama daldırılırsa ve elektriksel bir bağ ile birbirine bağlanırsa pil oluşur.



Şekil 3.7. Galvanik korozyon

3.1.2.7. Erozyon korozyonu

Ortamdaki ve malzeme yüzeyi ile arasındaki hız farkından dolayı oluşan bozunmaya erozyon korozyonu adı verilmektedir. Erozyonlu korozyonda kimyasal ve mekanik etki ikisi de metali etkilemektedir. Ve oluşacak bozunma bu ikisi arasındaki ilişkiye bağlı olarak değişmektedir (Tanattı, 2015).

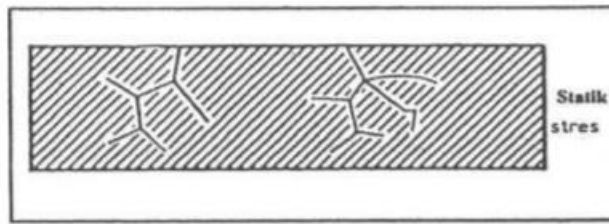


Şekil 3.8. Erozyon korozyonu

Akış yönündeki oyuklar gözle görülebilecek şekildedir ve Şekil 3.8.'de de görüldüğü gibi oluklar dalga biçiminde ve yuvarlak oluşurlar. Bu korozyon tipi hareketli akışkanların bulunduğu ekipmanlarda genellikle borular, kanat ve pervaneler vb materyallerde gözlemlenebilmektedir. Akış hızı korozyonu etkilemektedir.

3.1.2.8. Gerilmeli korozyon

Korozif ortamdaki metal aynı zamanda da statik bir gerilme altında ise, metalin çatlayarak kırılması kolaylaşabilmektedir. Metal yüzeyinde oluşabilecek herhangi bir çukur hendek mikro çatlak korozyona uygun bir ortam yaratmaktadır. Normalde korozyon metal yüzeyde bir koruyucu katman oluşturduğu halde stres altında iken kabuk oluşturamaz ve korozyon hızlanır. Bu durumdaki metallerin korozyona karşı korunması oldukça önem arz etmektedir. Çünkü bu kabuk oluşmaması korozyonu oldukça hızlandıracaktır ve çatlamlar olmasına neden olacaktır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Gerilmeli korozyon

3.1.3. Korozyondan korunma

Çeşitli endüstrilerde metallerin korozyon kontrolünün maliyeti yalnızca ABD'de yılda birkaç milyar dolardan fazladır (Dickie 1986).

Korozyon uçak, otomobil, boru hatları ve hatta ev aletleri gibi birçok alanda kullanılan metallerde meydana gelebilmektedir. Korozyon kaçınılmaz olmakla birlikte metal yüzeyinin korunması maliyeti oldukça azaltacaktır (Oturaklı, Ş., 2010).

Korozyondan korunmak için bazı önlemler mevcuttur ve bu uygulanan önlemler aşağıdaki gibi beş başlık altında toplanabilmektedir. Bunlar;

1. Uygun malzeme seçimi
2. Uygun tasarım
3. Çevre koşullarının uygunluğu
4. Elektrokimyasal koruma
5. Kaplama uygulamaları (Aydın, 2009)

Bazı metal ve alaşımlarını etkileyen koroziif ortamlar Çizelge 3.1. de görülmektedir (Aksun, E. (2014).

Çizelge 3.1. Metal alaşımlarını etkileyen koroziif ortamlar

Paslanmaz Çelik	Derişik H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃
Nikel ve Nikel Alaşımları	NaOH
Aluminyum	Hava
Kurşun	Sulu H ₂ SO ₄
Kalay	Saf Su
Titan	Sıcak kuvvetli oksitleyici çözeltiler

Korozyondan korunmak amacıyla bu unsurların birçoğu göz önüne alınarak en ergonomik tasarım çalışması yapılmalıdır. (Aydın, 2009)

3.1.4. Kaplama çeşitleri

Korozyondan korunma yollarından biri olan metallerin yüzeylerinin kaplanması; metalik kaplama, inorganik kaplama ve organik kaplama şeklinde sınıflandırılır (Uyanık, 2012).

Kaplamalar ve organik bağlayıcılar bir alt tabakayı korumak amacıyla uygulanırlar. Birçok kaplama türü buna dâhil değildir. Mutfakta kullanılan porselen emayeler bir kaplamadır ama kimyasal bağlayıcıları yoktur. Elektrolizle kaplanmış bakır, nikel ve çinko kaplamalar aynı nedenden ötürü hariç tutulmuştur (Wicks 2007).

Koroziif yüzeyle metalin bağlantısını kesmek, korozyondan korunmak için en yaygın yöntemlerin başında gelmektedir. Bu doğrultuda kaplama yapılacak yüzeye en uygun kaplama malzemesi seçilmelidir. Kaplama yüzeyinin temiz kuru olması kaplamanın işlevini en iyi şekilde yerine getirmesi amacıyla önem arz etmektedir. Aksi halde yüzeyde kaplamasız kalacak olan yüzeylerde korozyon hızı artacaktır. Kaplama olmayan yüzeyler zamanla diğer yüzeylere göre korozyona çok daha hızlı maruz kalacaktır (Aksun, 2014).

Kaplamalar bir bariyer görevi görerek anodik ve katodik etkileşimleri sınırlarlar. Bu sınırlama kaplamanın yüzeyi çok iyi ıslanmasıyla, yüzeyin temizliği bu noktada

önemli, oluşmaktadır. Kaplamalar yüzeyde oluşacak korozyonu tetikleyen tepkimeleri sonsuza kadar durduramaz buradaki amaç bir bariyer oluşturup korozyonu geciktirmektir ve korozyon hızını yavaşlatmaktır (Bierwagen 1998).

Astar kata yapılan kaplamalar yüzeyde bulunan kaplama zarar gördüğünde ortaya çıkan çatlaklardan süzülen ve sızan kromatlar ve fosfatlar gibi pigmentler ve inhibitörler içinde ayrıca bir ön koruyucu bariyer görevi görür (Sinko 2001).

Kaplama uygulamaları ile korozyon aşağıdaki gibi olan üç mekanizmadan birinin veya ikisinin kombinasyonu ile önlenir.

1. Metalik malzeme ile aşındırıcı ortam arasındaki temasın önlenmesi bariyer ile koruma
2. Kaplama malzemesinin fedakâr anot görevi gördüğü katodik bir koruma.
3. İnhibisyon / pasivasyon yöntemi ile anodik bir koruma (Aydın, 2009)

Korozyondan korunurken kaplamanın seçiminde genel bazı kurallara uyulması ve doğru yöntemi seçmek için faydalı olacaktır. Örnek vermek gerekirse asidik, indirgeyici ortamlar için bakır, nikel ya da alaşımları, oksidatif ortamları için ise titani krom ya da bunların alaşımları kullanılabilir. Diğer yandan asil metallerin kendinden daha az asil metallere göre daha az korozyona uğradıklarından uygun yerlerde kaplama malzemesi olarak kullanılabilir. Ek olarak korozyonu önlemek ya da azaltmak amacıyla metallerin yerine doğal veya sentetik mühendislik polimerleri, seramikler, karbon malzemeler ve kompozitlerin kullanılması da seçenekler arasına girmektedir (Acar, 2015).

3.1.4.1. Metalik kaplamalar

Metal yüzeylerinin ana metale göre korozyona direnci daha iyi olan bir metal ile kaplanması olarak adlandırılır. Kaplamanın uygulanış biçimlerine göre bu işlemler sınıflandırılmaktadır (Kaftan, 2006).

- püskürtme yöntemi ile metalik kaplama
- sıcak püskürtme yöntemi ile metalik kaplama
- elektrolitik kaplama
- daldırma yöntemi ile metalik kaplama (Kaftan, 2006).

Metalik kaplamalarda kaplamanın uygulama türünün seçimi; korozyon direnci, kaplanan malzemenin ömrü, üretilen parçaların sayısı ve çevresel faktörler gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Aydın, 2009).

Metalik kaplamalara örnek olarak ve sıcak daldırma işlemi ile yapılan Şekil 3.10. daki galvanik kaplama uygulaması örnek gösterilebilir (Baker, 1992).



Şekil 3.10. Galvaniz kaplama

Tüm kaplamalar aslında aşındırıcı çevre ile metal yüzeyi arasında bir engel oluşturarak bariyer görevi görmektedir. Nakliye ve taşıma sırasında tüm metal kaplamaların bir miktar gözenekli olması metalin zarar görmesine mutlak neden olabilmektedir. Bu nedenle, bu zararlara karşı galvanik etki kaplama performansını belirleyecektir. Korozyon açısından metal kaplamaları iki sınıfa ayrılabilir; sadece bariyer koruması sağlayan asil kaplamalar ve bariyer kaplamaya ek olarak katodik korumada sağlayan kaplama çeşitleri (Revie, 2008).

Metalik kaplamalara verilecek başka bir örnek olarak da çelik konserve kutuları üzerine kaplanan kalay, motorlu taşıtlar veya ev aletlerinde de kullanılan hem estetik görünüş hem de parlaklık sağlayan krom/nikel kaplama örnek verilebilir. Özel bir kullanım alanı olarak da alüminyum alaşımlı uçak yüzeylerinin saf alüminyum ile kaplanması korozyondan korunmada metalik kaplamalara güzel bir örnek verilebilmektedir (Bardi et al., 2009).

3.1.4.2. İnorganik kaplamalar

İnorganik kaplamalar; kromat kaplama, fosfat kaplama ve anodik işlemler olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Uygun bileşimdeki banyolar içerisine daldırılan metaller, ortam ile reaksiyona girerek yüzeyde tuzlardan oluşan bir tabaka meydana getirir ve bu işlemlere en iyi örneklerden biri olan fosfat kaplamadır. Fosfatlamadan sonra,

pasifleştirme işlemi olarak da kromatlama kullanılır. Fosfatlama çelik parçalara uygulanabilirken kromatlama yalnızca Zn, Cd ve Al vb. gibi hafif metallere uygulanabilir. Çelik parçaların yüzeyi temizlenerek asit (özellikle Zn ortofosfat) çözeltilerinde bekletilerek fosfat tabakasıyla kaplanırlar. Malzemenin dokusunda bulunan gözenekler korozyon direncini düşüreceğinden bir tabakayla kaplanmaktadır (Kaftan, 2006).

İnorganik kaplamalar, kimyasal etki ve elektrik yardımıyla veya olmadan da üretilir. Sualtı, seramik ve kil, cam, karbon, silikat ve diğerlerini de ayarlayabilen su çimentoları gibi birçok sayıda malzeme içerir. İnorganik kaplamalar üretmek için bazı işlemler, bir metalin yüzey katmanını metal oksit veya koruyucu bir film haline getirebilir. Bu film doğal oksit filminden daha iyi korozyon direncine sahip ve boyalar gibi ek koruma amacıyla etkili bir baz veya anahtar sağlar. Bazı durumlarda ise bu işlemler boyamadan önce hazırlık aşaması olarak kullanılmaktadır (Roberge & Eng, 2005).

3.1.4.3. Organik kaplamalar

Metalik yüzeylerin korozyondan korunması organik kaplamaların gerçekleştirdiği önemli rollerden biri olmuştur. Bu tür kaplamalar, sadece bir kez kaplanmış alt tabakalara sahip olmak, görünüm ve fonksiyonun korunacağını varsaymak isteyen birçok kullanıcı için maliyeti uygunlaştırır. Organik kaplamalar, genellikle bir nesnenin işlevine ve görünümüne zararlı bir şekilde oksitlenmesini önlemek için metal yüzeyler üzerinde koruyucu bir katman olarak kullanılır (Bierwagen 1996).

Organik kaplamaların kullanımı, korozyon kayıplarını en aza indirmek için en önemli yaklaşımlardan birisidir. Yenilenebilir kaynakların çeşitli korozyon koruyucu kaplamaların hazırlanmasında kullanımı ve aynı zamanda çevresel kaygılar nedeniyle yeniden canlandırılmıştır (Riaz, Nwaoha, & Ashraf, 2014).

Organik kaplamaların etkinliği, sadece kaplamaların özelliklerine göre değil, polimerik ağ ile ve bu ağdaki muhtemel kusurlara bağlı değil, aynı zamanda da metal yüzeyinin karakterine, yüzey ön işlemine ve uygulama prosedürlerine de bağlıdır. Bu nedenle, bir kaplama uygulaması düşünüldüğünde, tüm sistemin özelliklerini dikkate almak gerekir (Aydın, 2009).

Koruyucu organik kaplamaların başlıca kullanıldığı alanlar; otomotiv parçalarının kaplama endüstrisi, cihazların metal yüzeyleri, metal rulo kaplamaları, ağır

hizmetler için toz kaplamalar, özellikle boru hatlarının kaplamaları, tarım ve inşaat malzemelerinin kaplamaları ve dış ortama maruz kalan nesnelere için genel kullanımı, ayrıca, endüstriyel, mimari uçakların ve denizcilik ekipmanlarının kaplamaları korozyona karşı korunması için önemli olduğu diğer alanlardır. Organik kaplamalar sıklıkla çok katmanlı sistemler olarak uygulanır (Sinko 2001).

Epoksi reçineleri, poliüretanlar, alkidler, polisiloksanlar, akrilatlar, primer olarak kullanılan reçinelerden bazılarıdır. Astar sisteminin üzerine astar ve son kat sistemleri gelir. Bunlar tipik olarak polyesterler gibi UV ışınlarına dayanıklı boyalardır, estetik çekicilik sağlamak için son bir kaplama sağlanır. Bu katmanların tümü bir son işlem sisteminde kullanılamaz, belirli katmanların kullanımı veya kullanılmaması, ürünün boyutu ve şekli, gereken koruma, maruz kalma ciddiyeti, üretim maliyeti gibi faktörlere bağlıdır, tipik kaplama sistemini gösterir (Oturaklı, Ş. 2010).

Organik kaplamalar, substrat metalini dış ortamdan ayırmak için bir bariyer tabakası görevi görebilir. Bazı durumlarda kaplamalarda korozyon önleyici kimyasalların bulunması koruma performanslarının önemli ölçüde artmasını sağlayabilir. Çok katmanlı kaplama sistemlerinde, genellikle üstte organik kaplama kullanılır. Organik kaplama, toz kaplama, e-kaplama, boyama, sol-jel kaplama ve plazma polimerizasyonunda dâhil olmak üzere çeşitli yaklaşımlarla uygulanabilir veya oluşturulabilir. Bir kaplamanın ana bileşimi akrilik poliüretan, polivinil bütiral, vinil, epoksi ve çinko kromat veya stronsiyum kromat içeren fırınlanmış fenolik gibi çeşitli tiplerdeki reçinedir. Metal substratı aşındırıcı dış ortamdan korumak için, kaplamalar düzgün şekilde, gözeneksiz yapıda, yüzeye iyi şekilde yapışmış ve kendi kendine iyileşen olmalıdır. Bunların gerçekleşmesi kaplamada korozyon önleyici pigmentlerin veya katkı maddelerinin mevcudiyeti ile olabilir veya filmde kurban anodik bir bileşik kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir (Hu, Zhang, Bu, Lin, & Song, 2012).

3.1.4.4. Nanokompozit kaplamalar

Birçok geleneksel ve ileri teknolojik uygulamalar hem malzemeyi değerlendirerek hem de ilgili teknolojiyi ilerletmeyi amaçlayarak özel gereksinimleri karşılayan, iyi tanımlanmış yüzey özelliklerine sahip malzemeler gerektirir. Günümüz teknolojilerinde, yüzey mühendisliği, nanoteknoloji ve nano malzemelerdeki gelişmelerle birlikte, malzemelerin bileşiminin moleküler ölçeğe kadar manipüle edilmesine izin vererek yeni ileri teknoloji fonksiyonel malzemelerinin önünü

açmaktadır. Birçok malzemenin yüzeyinin kaplamalar uygulanarak işlevselleştirilmesi sağlanabilir (Gan, 2012).

Nanokompozit yapıda bir kaplama, nanokompozit bir yapıya sahip bir kaplamadır. Bu kaplama en az bir fazın nanometre ölçeğinde bir boyutla sınırlı olduğu iki veya daha fazla karışmayan fazdan oluşan bir yapı anlamına gelmektedir. Bu nedenle, nanokompozit bir kaplamada dolgu nano yapılarının dağıldığı bir matris tarafından oluşturulmaktadır. (Nguyen-Tri, Nguyen, Carriere, & Ngo Xuan, 2018a).

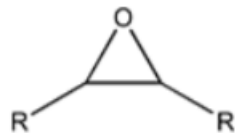
Nanokompozit malzemeler, polimerler ve metal seramik olmak üzere matris malzemelerine göre sınıflandırılabilirler. İki tip nanokompozit kaplama türü vardır; takviyeli matristeki takviye, bileşeninin nano ölçekte olduğu kaplamalar ve ayrı tabakaların oluşturduğu tabaka kalınlıklarının nano ölçekli boyutlarda olduğu katmanlı kaplamalardır (Camargo, Satyanarayana, & Wypych, 2009).

Nanokompozit yapılarda hem organik hemde inorganik yapıları matris tipleri bulunabilir. Bu bağlamda aşağıdaki gibi 4 ana gruptan oluşan nanokompozit kaplama çeşidi bulunmaktadır;

- 1) Organik - inorganik nanokompozit kaplamalar
- 2) Organik - organik nanokompozit kaplamalar
- 3) İnorganik - organik nanokompozit kaplamalar
- 4) İnorganik - inorganik nanokompozit kaplamalar (Nguyen-Tri, Nguyen, Carriere, & Ngo Xuan, 2018b)

3.1.4.5. Epoksi kaplamalar

Epoksi reçineleri, epoksit, epoksi, etoksil veya oksiran grubu olarak bilinen birden fazla üç üyeli halka bulunması ile karakterize edilen ve Şekil 3.11. de de görülen önemli bir polimerik malzeme sınıfıdır (Oturaklı, 2010).



Şekil 3.11. Üç üyeli halka yapısı (Jones, Nichols, & Pappas, 2017)

özellikleri, çok yönlü üstün formülü ve makul maliyetleriyle de birleştiğinde, epoksi reçineler çok sayıda yapıştırma uygulaması, yapısal ve koruyucu kaplama uygulaması için tercih edilen malzemeler olarak kabul edilmektedir (Oturaklı, 2010).

3.1.4.6. Epoksi nanokompozit kaplamalar

Epoksi nanokompozitler, epoksi matrisine dağılmış olarak 1 ila 100 nm aralığında değişen inorganik partiküllerden meydana gelen iki fazdan oluşmaktadır. Nanopartiküllerin nispeten düşük oranlarda epoksi kaplama sistemine ilave edilmesi yapının mekanik özelliklerinde, termal kararlılığında ve epoksi reçinenin yapışmasında kayda değer bir şekilde geliştirmeler gösterdiği gözlemlenmiştir (Wetzel, Hauptert, & Zhang, 2003; Zhang, Rong, Yu, Wetzel, & Friedrich, 2002).

Kaplamalarda kullanılan ilk epoksi reçine aynı zamanda halen en çok kullanılanı, BPA ve ECH reaksiyonu ile oluşan bisfenol A (BPA) epoksileridir. Temel koşullar altında, ilk reaksiyon, ECH'ye saldıran BPA anyonunun oluşumu ve Klorür anyonunun ortadan kaldırılmasıyla yeni oksiran halkası oluşumu ile sonuçlanmaktadır. Epoksi kaplamalarda elektrolize maruz kalan metalik bir yüzeyin korozyonunu genellikle iki şekilde azaltma mevcuttur (Galliano & Landolt, 2002).

İlk olarak, zararlı bileşenlerin girişini kontrol ederek fiziksel bir engel katmanı oluşturarak hareket ederler. İkincisi ise çelik yüzeye klorür anyonları gibi agresif türlerde saldırıya direnç göstermesi ile yardımcı olmak ve korozyon inhibitörleri için bir rezervuar görevi görebilirler (Shi et al., 2009).

Bununla birlikte, epoksi matrisin sadece kaplama malzemesi olarak tek başına kullanılması kolay yüzey aşınmasına, yüzeyde yıpranma hasarlarına ve çatlak başlamasına karşı zayıf direnç gösterme nedeniyle çoğunlukla sorun teşkil etmektedir (Wetzel et al., 2003; Zhang et al., 2002).

Epoksi matrisin bu tür özelliklerine bağlı olarak kaplamalarda bölgesel kusurlara neden olması kapamaların mekanik özelliklerinde düşüğe sebebiyet verir. Bunun yanı sıra da bu kusurlar metalik yüzeyine su, oksijen ve agresif türlerin girişine yol açarak lokal korozyonların oluşmasına neden olabilir. Epoksi kaplamalar hidrofobik özellik göstermekle birlikte ve kürlenme sırasında büyük hacimli büzüşme yaşayarak çevreden su emebilme çelliğine de sahiptirler (Perreux & Suri, 1997).

Kürlenmiş epoksi kaplamadaki gözenekler su emilimi ve diğer bileşenlerin epoksi/metal ara yüzeyinde geçişine sebep olabilir, bu da korozyon ve aşınma

başlangıcına sebep olmakla birlikte kaplamanın bozulmasına neden olur. Epoksi kaplamaların bariyer performansını, gözenekliliği azaltarak ve zararlı türler için difüzyon yolunu kapatarak ve epoksi polimer ile karışabilen ikinci bir fazın eklenmesi ile mümkün olur (Shi et al., 2009).

Nanopartiküllerin epoksi reçinelere dâhil edilmesiyle birlikte, kaplamalarda dağılan ince partiküllerin boşlukları doldurabileceği aynı zamanda çatlak köprüsüne, çatlak eğilmesine ve çatlak sapmasına yol açabileceğinden dolayı, kaplamaların dayanıklılığını, bütünlüğünü artırmak için çevresel olarak olumlu çözümleri sunabilmektedir. (Dietsche, Thomann, Thomann, & Mülhaupt, 2000).

Nanopartiküllerin ayrıca kütleme esnasında epoksi ayrışmasını önleyerek daha homojen bir kaplama oluşumu sağlar. Nanopartiküller, epoksi reçinenin sertleşmesi esnasında bölgesel büzülmeden dolayı oluşan küçük delik kusurlarını işgal etme eğilimindedir ek olarak da daha fazla molekülü birbirine bağlayan bir köprü görevi görür. Bu gerçekleşen olay azaltılmış bir toplam serbest hacmin yanı sıra çapraz bağlama yoğunluğunda bir artışa yol açacaktır. (Becker, Varley, & Simon, 2002; Crosky et al., 2006).

Nanopartiküller içeren epoksi kaplamalarda korozyon koruması amacıyla önemli bariyer özellikleri sunar aynı zamanda kaplamanın kabarma veya delaminat olma eğilimini azaltır (Lamaka et al., 2007; Yang, Liu, & Han, 2005) .

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Kaplamalarda korozyon ve metalik özelliklerin iyileştirilmesi oldukça önemli bir konu arz etmektedir. Epoksi kaplamalar son yıllarda oldukça fazla bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Ve epoksi kaplamalara antikorozif ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için çeşitli nanopartiküller ilave edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan değerler literatür taramasından sonra ortaya konulmuş değerlerdir literatür taraması sonucu kaplama üzerine yapılan çalışmalarda bazı veriler Çizelge 4.1. deki gibidir. Ve tezde çalışmalar bu tablodaki yapılan çalışmalarda baz alınarak yapılmıştır.

Bu çalışmada otomotiv sektöründe, dayanıklı ev aletlerini oluşturan sektörde, mutfak eşyalarının, radyatörlerin ve havalandırma ekipmanlarının imalatında, mukavemet, tokluk ve sünekliğin istendiği birçok uygulamalarda sıkça kullanılan DKP 7114(EN 10130:2006) sac üzerine uygulanacak olan kaplamanın içerisine ZnO nanopartikül eklenerek kaplamanın mekanik ve korozif özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada nanokompozitin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla literatür taramasında edinilen bilgiler ile birlikte epoksi reçineye ağırlıkça % 0.5, 1.0, 1.5 oranlarında nano ZnO ilave edilerek numuneler ASTM D638 çekme testi standartlarına göre üretilerek çekme testi uygulanmıştır. Çalışmada epoksi ile oluşturulan nanokompozitlerin mekanik etkilerini incelemek için ayrıca çekme testleri uygulanmıştır. Hasarlı yüzeyler SEM ile incelenmiştir. DSC ve TGA analizleri ile termal özellikleri incelenirken hazırlanan epoksi reçine ile nanopartikül arasındaki ara yüzey etkileşimleri FTIR ile incelenmiştir. ZnO ilavesinin jelleşme süresine etkisi de ayrıca gözlemlenmiştir.

Diğer aşamada ise ağırlıkça % 0.5, 1.0, 1.5 ZnO nanopartikül içeren epoksi reçine ile 80x160x0.5mm ve 25x160x0.5 mm boyutundaki DKP sac üzerine ilk önce daha iyi yapışması için 1200 grid zımpara ile zımparalanıp aseton ve etil alkol ile temizlenip kurutulup ıslak film aplikatörü ort. 60µm kalınlığında kaplandıktan sonra mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi darbe testi, kafes çizgi testi ve konik eğme testleri yapılmıştır. Antikorozyon özelliklerini belirlemek için hasarlı korozif testi uygulanacaktır. Hasarlı korozif testinde numuneler çizilerek asidik ortamda ve salt sprey testi uygulanılarak korozif bekletildikten sonra oluşan korozyon incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Kaplamaların mekanik ve korozif özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmalar

Referans	Baz Malzeme	Katkı	Katkı Oranı (% ag)	Altık	Kaplama Kalınlığı	Uygulama	Testler
Sajjadi ve ark. 2013	Poliakrilik	<ul style="list-style-type: none"> Detonation nanodiamond 4-6 nm Nondetonation nanodiamond 50-60 nm Nanoalümina 50 nm 	1.5-3 1.5-3 1.5-3	Çelik: 120x70x0,8 mm Cam: 75x25x1 mm	110±10µm	Sonikatörde nanopartikül ve boya 1,5 saat karıştırılmış, spreysel şekilde yüzeye uygulanmış, 140°C de 20 dk kürleştirilmiş.	Kaplama kalınlığı Kaplama mikroyapısı Çizik testi ASTM G 171 Kalem Sertlik FTIR
Lonyuk ve ark. 2008	Polyester, ürethan modifiye polyester vb.	-	-	Çelik: 0.7 mm kalınlığında fosfatlı ve elektro kaplı (19µm) Polipropilen: 3x40 mm numune	40µm	Elektrokaplama ve son kat hepsinde aynı, astar kat için 10 farklı uygulama yapılmış	Geleneksel taş çarpma testi İki etkili taş çarpma testi DMA Çift noktadan eğme testi
Kotnarowska ve ark. 2014	İki kat epoksi tabaka+ katkılı ve katkısız poliüretan tabaka	<ul style="list-style-type: none"> Al₂O₃ nanopartikül 20 nm Silika nanopartikül 12 nm (Katkıların yüzeyi üretici tarafından modifiye edilmiş) 	3.5	Çelik: 160x80x2 mm	Üç tabaka toplam: 190µm poliüretan tabaka: 70µm	Boya ve nanopartikül 18 saat topaklanmaması için karıştırılmış. Boya yüzeye spreysel uygulandıktan sonra 10 gün 20 °C de %65 nemde koşullandırılmış.	Kaplama kalınlığı Kaplama yüzey pürüzlülüğü Erozif aşınma
Kotnarowska 2008	Akrilik	Cu nanopartikül 66 nm	3.5		189 µm	-	SEM+EDS Erozif aşınma testi DMA Sertlik Yüzey Pürüzlülüğü
Ramazan zadeh ve ark 2011 (a)	Epoksi	<ul style="list-style-type: none"> Nano ZnO :40 nm Micro ZnO : 	Nano komp: 2,3,5,5,6.5 Micro komp:	Cam	90 µm	Mekanik karıştırıcıda 2000 rpm, 20 min, Perl-mill karıştırıcıda 3 h, Cam levha üzerine uygulandıktan sonra 120 °C de 30 dk kürleştirilmiş ve oluşan filmler camdan ayrılmış	Viskoelastik özellikler Mekanik özellikler: DMA SEM Optik özellikler

Referans	Baz Malzeme	Katkı	Katkı Oranı (% ağı)	Altlık	Kaplama Kalınlığı	Uygulama	Testler
Ramazan zadeh ve ark 2011 (b)	Akrilik/Me lamin (75/25) Otomotiv clearcoat	<ul style="list-style-type: none"> Polisiloxan additive (Si-1, Si-2, Si-3) Nano SiO₂(pre dispersed) 40 nm 	1.25, 2.5, 3.75, 6 Not:% 5 in üzerinde çok etkili değil.	Çelik: 100x200x2 mm (fosfatlanmış ve epoksi uygulanmış) Cam		140 °C de 20 dk kürleştirilmiş	FTIR AFM Nanoindentation Çekme testi (bulk)
Khun ve ark 2014	Epoksi reçine ve sertleştirici (3/1oran)	<ul style="list-style-type: none"> MWCNT Çap: 5-20nm Uzunluk: 1-10 µm 	0 0.1 0.5	AA2024-T3 20X20 mm 1200 grit Sic zımpar ile etil alkol içinde zımparalandı, ultrasonik olarak temizlendi ve havayla kurutuldu	AFM ile adezyon ölçümü için: 2 µm Diğer testler için 50 µm	MWCNT epoksi içinde 45 dk sonikasyonla dağıtıldı.	AFM, Yapışma mukavemeti, Çekme testi, SEM TGA Elektrokimyasal test
Shi ve ark 2009	Epoksi reçine + sertleştirici (Alifatik aminler)	<ul style="list-style-type: none"> Zn nanopartikül, 35 nm SiO₂ (15 nm) ve Fe₂O₃ (20 nm) nanopartiküller Halloysite nanokil 	1	Çelik: 2 cm ² (yüzey alanı)		Epoksi içinde nanopartikül solventle veya ısıtılarak dağıtıldı. 10 dk 1550 dev de karıştırma. Çelik altlığa bir kere sürüp oda sıcaklığında 7 gün kürleştirildi.	Sem: yüzey morfolojisi Elektrokimyasal karakterizasyon AFM
Dhoke ve ark 2013	Su bazlı poliüretan (WPUD)	<ul style="list-style-type: none"> Nanoalümina, 35 nm (30-47nm)(35 m²/g) 	0 0.1 1	Çelik: 3"x6"	10 µm	Ultrasonik karıştırma Soguk haddelenmiş çelik altlığa daldırma kaplama ve oda sıcaklığında 24 saat kürleşme.	TEM SEM ve AFM (nanoindenter) Kalem setliği testi
Dhoke ve ark 2009	alkid reçine melamine (HMMM)	<ul style="list-style-type: none"> Nano-ZnO , 40nm (29m² g⁻¹) 	0 0.05 0.1 0.2 0.3	Çelik: 76.2×152.4×0.8mm	9-10 µm	Daldırma kaplama, ardından 130 C de 30 dk kürleştirilmiş	FTIR ve DSC: Taber Optik mikroskop SEM

Referans	Baz Malzeme	Katkı	Katkı Oranı (% ag)	Altlık	Kaplama Kalınlığı	Uygulama	Testler
Dhoke ve ark 2012	Su bazlı poliüretan (WPUD)	<ul style="list-style-type: none"> Nano-ZnO , 35-40nm (29m² g⁻¹) 	0 0.1 1		10 µm	Ultrasonik karıştırma Çelik altlığa daldırma kaplama ve oda sıcaklığında 24 saat kürleşme.	FTIR Elektrokaplamanın karakterizasyonu Kalem sertliği SEM ve AFM
Flores ve ark 2013	Akrilik	<ul style="list-style-type: none"> SWCNTs OH-SWCNTs aniline-SWCNTs 	0.038 0.077 0.20 0.38 0.77	Alüminyum çelik		2 ml için SWCNTs + 0,5 ml tiner + 1 ml boya 5 dk sonikatörde karıştırıldı, metal yüzeye spreyle şeklinde uygulandı. 20 dk sonra 200 C de 5 saat kürleştirildi.	TEM SEM FTIR AFM
Sandrina thesis	poliüretan ve katkıları	<ul style="list-style-type: none"> polimerik nanopartikül 	1 2 5 10	ST 1405 Aluminum coated with a cationic lacquer OEM panels with black basecoat glass	39-45 µm	Nanomalzeme bütületsatta çözündürülüp katılmış. Boya spreyle tabancasıyla uygulanmış, sonra ; 30 dk oda sıcaklığında, 25 dk 140 C de 16 saat 60 C de kurutulmuş	Çapraz kesim testi Çoklu darbe testi (VDA) Tek darbe testi Çizgi testi
Barna thesis 2012	polyurethane	<ul style="list-style-type: none"> silica, 40 nm alumina 13 nm mixed oxide nanoparticles 20-100 nm 	Vol 6 10 20	glass	0.22-0.33 mm		TEM, XRD, TGA,NMR DSC, DMA Mekanik özellikler Gerilme testi NST

4.1. Malzeme Özellikleri

Çalışmada kullanılan epoksi reçine literatür taramasında elde edilen bilgiler doğrultusunda eğme ve akma dayanımı yüksek olan viskozitesi düşük olan RA (% 90)+ RDDDF(%10) +HR 3 karışımı ile elde edilmiş reçine ve sertleştirici kullanılmıştır. Bu karışım yüksek eğme ve basma dayanımına sahiptir. Ayrıca bu viskozitenin seçilmesindeki amaç yukarıda belirtildiği üzere akma dayanımının yüksek ve viskozitesinin düşük olmasıdır (Özeren, E., 2006).

Bu malzeme özelliklerine uygun epoksi reçine ADS markasına ait A tipi laminasyon reçinesi olup viskozitesi 700-900 mPa·s ve kürleştiricisi ise ADS marka B tipi 10-50 mPa·s viskoziteli kürleştiricidir.

Burada ZnO nanopartikülünün incelenmesinin sebebi Zn oksitlendikten sonra partikülün mekanik ve korozyon özelliklerine bir bakış açısı oluşturmaktır. Kullanılan nanopartikülün özellikleri Çizelge 4.2. de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Reçine özellikleri

<i>Spesifikasyonlar</i>	
Renk	Şeffaf
Yoğunluk (g/cm³, 20°C)	1.20-1.24
Depolama Koşulları	Doğrudan güneş ışığı almayab ağzı kapalı ambalajlarda 5-35°C arasında depolayınız
Uygulama Sıcaklığı	10°C-30°C arası
Kap Ömrü (jelleşme)	40-45 dk (ortam sıcaklığına gre değişkenlik gösterir)
Kuruma Zamanı (20°C)	23°C de ve %50 bağıl nemde dokunma kuruması 5 saat, üzerine kat uygulama süresi 18 saat, kimyasal dayanıklılığını kazanma süresi 7 gündür

Kaplanan malzeme 0.5 mm DKP7114 sac olarak seçilmesinin sebebi literatür araştırmasında kullanılan sac kalınlıklarının ortalama değerlerinden kaynaklanmaktadır. Bu sacın seçilmesinin sebebi otomotiv sektöründe, dayanıklı ev aletlerinin oluşturulduğu sektörde, mutfak eşyalarında, radyatörlerde ve havalandırma ekipmanlarının imalatında, mukavemet, tokluk ve sünekliğin istendiği birçok uygulamalarda sıkça kullanılan bir sac olmasından dolayıdır. Sacın kimyasal analizi ve özellikleri Çizelge 4.3. te verilmektedir.

Çizelge 4.3. Dkp Sac Kimyasal Analizi

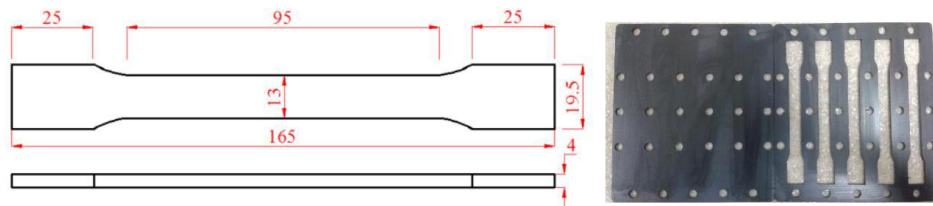
Standart Karşılığı		ERDEMİR	C max.	P max.	S max.	Mh max.	Ti
Standart	Kalite	Kalite No					
EN 10130	DC01	7122	0.12	0.045	0.045	0.60	0.050-0.060
EN 10130	DC02	7123	0.10	0.035	0.035	0.45	0.060-0.070
EN 10130	DC03	7124	0.08	0.030	0.030	0.40	0.065-0.075

4.2. Epoksi/Nanopartikül Kompozitin Üretilmesi

Çalışmada ilk aşamada matrisin sahip olduğu mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine en uygun ilave oranı belirlenmiştir. Bu nedenle ilk olarak ASTM D 638 – 14 standardına göre çekme testi için kullanılmak üzere kütleli numuneler üretilmiştir.

Üretim aşamasına geçmeden önce oda sıcaklığında ZnO nanopartikül ilavesi katkısının jelleşme süresine olan etkisi incelenmiştir. Buradaki amaç ise üretim esnasında karşılaşılabilecek olan zaman kısıtlanmasının nasıl değiştiğinin belirlenmesidir. Ayrıca kaplama uygulaması için gerekli vizkozitenin olabildiğince düşük oranda olması gerekir. Bundan dolayı ise jelleşmeye başlama süresi bu çalışmada önem arz etmektedir.

Çalışmaya kontrol numunesi olarak adlandırdığımız saf epoksi numunelerin üretilmesiyle başlanmıştır. Epoksi reçineye sertleştiricisi ağırlıkça 1/4 oranında olacak şekilde birleştirilmiş ve mekanik karıştırıcıda 1000d/dk'da 10 dakika süresince mekanik olarak karıştırılmıştır. Bu esnada oluşan gaz kabarcıklarının giderilmesi amacıyla vakumlu etüvde oda şartlarında 0.75 bara ayarlanmış vakum şartlarında 10 dakika süresince gaz giderme işlemine tabi tutulmuş ve ardından standartlara uygun olarak hazırlanmış çekme numunesi kalıbına Şekil 4.1. deki dökülmüş, 24 saat boyunca oda şartlarında kütleme işlemine bırakılmıştır.



Şekil 4.1. Çekme numunesi örneği ve standardı(Ozcan, U.E., Karabork, F., Yazman, S. and Akdemir, A., 2019.)

Nanopartikül ilaveli numuneleri üretirken epoksiye ağırlıkça % 0.5, 1.0, 1.5 oranında ZnO nanopartikül ilavesi yapılmıştır. Literatür araştırmasında ağırlıkça oranlar genellikle bu şekilde uygulanmıştır. İçerisinde aglomer yapı oluşumu mekanik özellikleri kötü etkileyeceğinden (Deng, Rosso, Ye, & Friedrich, 2007) istenmeyen sonuçlar elde etmemek için nanopartiküllerin epoksiye eklenirken uygulanan işlemler çok dikkatli yapılmıştır.

Bu işlemlerde birlikte belirtilen oranlarda nanopartikül ilaveli nanokompozitler belirlenen ağırlıklarca ayarlanıp her seferinde 10 dk homojenizatörde olmak üzere 4 kez buz banyosunda karıştırılmıştır. Buz banyosunun da karıştırmanın nedeni ısı ile kürlenme işleminden kaçınmaktır. Bu işlemlerden sonra ise gaz giderme işlemi uygulanmıştır. ASTM standartlarında belirtilen şekilde çekme testi için numunelerin her bir parametresinden 5 er adet dökülmüştür. Sonrasında 7 gün bağıl nemi % 45 \pm 10 olan oda şartlarında kürlenmeye bırakılmıştır. Çekme numunesinin üretim aşaması Şekil 4.2.deki gibidir.



Şekil 4.2. Numune üretim aşaması

4.3. Epoksi/Nanopartikül Kompozitin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Saf epoksi ile nanokompozit numunelerin çekme deneyi yapılarak mekanik özelliklerine bakılmıştır. Çekme deneyleri ASTM standartlarına göre hazırlanan numunelerle 10000 N kapasiteli 1mm hassasiyetli Zwick Roell marka çekme basma test cihazında 2mm/dk hızında oda şartlarında yapılmıştır. Numunelerde & uzama, statik tokluk, maksimum gerilme ve çekme modülüne bakılmıştır.

Deney sonrasında hasarlı numuneler mikroskop ile incelenmiştir daha sonrasında yorumlanmıştır.

4.4. Epoksi/Nanopartikül Kompozitin Karakterizasyonu

Epoksi nanokompozitler ve kontrol numunesinin termal kararlılığı 30-800 derece arasında 10°C/dk ısıtma hızında TGA cihazında analiz edilmiştir.

Camsı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklıkları değerlerinin tespiti için 30-350°C aralığında 10°C/dk ısıtma hızında ısıtma hızında ve azot akışında DSC cihazında analizleri yapılmıştır.

Bağ analizleri 2 cm⁻¹ dalga hassasiyetinde FTIR cihazında analiz edilip yorumlanmıştır.

4.5. Epoksi Kaplama Uygulaması

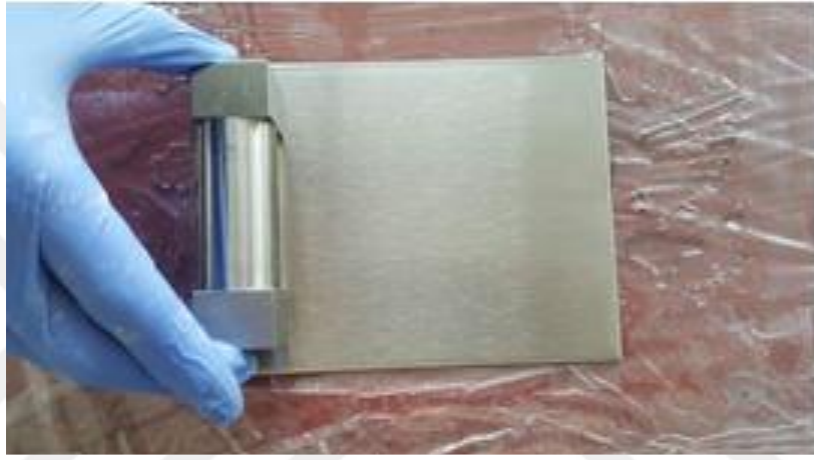
1200 grit ile zımpara işlemi tek yönde uygulanıp ardından aseton ve alkol ile temizlenerek yüzey hazırlığı yapılan DKP 7114 numuneler ağırlıkça % 0.5, 1.0, 1.5 lik ZnO nanopartikül ilaveli ve nanopartikül ilavesi içermeyen epoksi matris ile birlikte ıslak film aplikatörü kullanılarak ortalama 60µm kalınlığında kaplanmıştır. Islak film aplikatörü ile kaplama uygulaması aşağıda Şekil 4.3. Şekil 4.4. Şekil 4.5. Şekil 4.6. da gösterilmiştir. Kaplama kalınlığı aplikatör üzerinde bulunan 60µm kaplama kalınlık yüzeyi ile uygulanmış, kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra kaplama kalınlıkları kalınlık ölçer ile ölçülmüştür. Kaplama kalınlığında önemli olan husus mekanik özelliklerin test edilme aşamasında hesaplanan jelleşme süresini aşmadan kaplamanın tamamlanmış olması önem arz etmektedir.

Jelleşme süreleri numuneler kaplam için hazırlenırken ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kayıtlar doğrultusunda jelleşme süresi konulan nanopartikül ilavesi

artıkça sürede azalma meydana gelmiştir. Bu da partikül oranı artmasıyla epoksi kaplamanın uygulama süresinin kısalması anlamına gelmektedir. Hazırlanan numunelerin jelleşme süreleri Çizelge 4.4. de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Saf Epoksi ve Nanopartikül ilaveli kaplama için hazırlanan epoksilerin jelleşme süreleri

	Saf Epoksi	%0.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi	%1 Nano ZnO İlaveli Epoksi	%1.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi
Jelleşme Süresi	40-45 dk	30-35 dk	25-30 dk	15-20 dk



Şekil 4.3. Kaplamanın aplikatörle uygulanışı



Şekil 4.4. Kaplanmış Dkp sac numuneleri



Şekil 4.5. Kaplanmış Dkp sac numuneleri



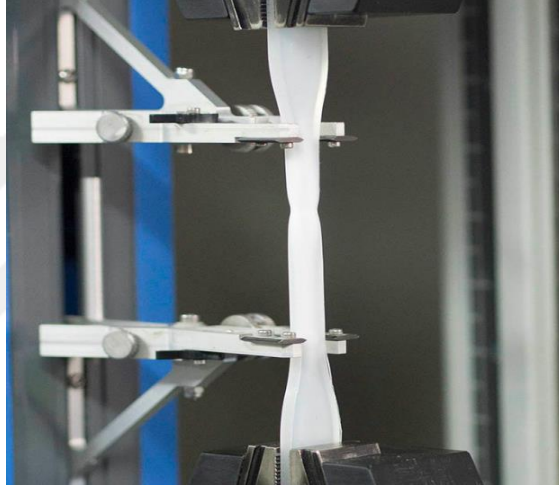
Şekil 4.6. Kaplanmış Dkp sac numuneleri

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Kaplamanın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

5.1.1. Çekme testi

İlk aşamada epoksi reçineye ağırlıkça % 0.5, %1 ve %1.5 lik ZnO nanopartikül ve kontrol numunesi olarak kullanılacak saf epoksi reçinenin statik yük altında oluşan çekme kuvvetini belirlemek için ASTM D638 çekme testi standardına uygun numunelerle çekme testi uygulanmıştır (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Çekme Testi

5.1.2. Kaplama kalınlık ölçümü

Kaplamanın mekanik özelliklerini belirlemek adına çeşitli testler yapıldı. Kaplama kalınlığını ölçmek için Salutron Messtechnik marka dijital kaplama kalınlık ölçüm cihazıyla (Şekil 5.2.) ASTM B659 (Standard Guide for Measuring Thickness of Metallic and Inorganic Coatings) standardına göre Combi Marka cihazla 10 farklı noktadan ölçülerek minimum ve maksimum değerleri kaydedilmiş ve ortalama kalınlık değerleri bu ölçüm sonucuna göre hesaplanmıştır. Kaplama kalınlığı malzeme üzerinde kurlenme tamamlandıktan sonra hesaplanmıştır.



Şekil 5.2. Kaplama kalınlığı ölçümü cihazı

5.1.3. Darbe testi

Kaplama üzerindeki darbe ve çatlama direncini ölçmek amacıyla ASTM D 2794 (Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact)) standardına uygun bir şekilde Neurtek marka boya ve kaplama darbe test cihazı ile darbe testi yapılmıştır. Kaplama yüzeyine darbe testi ile kaplamanın darbelere karşı yüzeye tutumunu gözlemlenmiştir (Knotek et al., 1992). Yatay bir şekilde konumlanan kaplanmış test plakası üzerine küresel bir ağırlık ile herhangi bir yırtık meydana gelene kadar üzerine düşürülen ağırlığın yüksekliği artırılmış ve sonucunda yırtılmanın meydana geldiği yükseklik darbe direnci olarak kaydedilmiştir. Kaplama yüzeyine düşürülen ağırlık 100 gramdır. Kaplamaya 50 cm yükseklikten başlayarak ve her seferinde yükseklik 25 cm artırılarak 50-75-100 cm yükseklikten kaplamanın farklı noktalarına darbe testi uygulanmıştır. Test sonuçları joule cinsinden kaydedilmiş ve yüzey üzerindeki hasar alanları ölçülerek hesaplanmıştır.



Şekil 5.3. Darbe Test Cihazı

5.1.4. Konik bükme

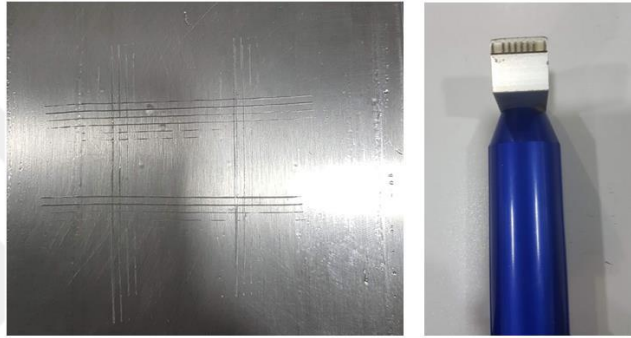
Yapılan kaplamanın eğilme ve bükülmelere karşı elastikiyetini ölçmek amacıyla ISO 6860 ve ASTM D522 standardına uygun olarak TQC marka test cihazıyla test numunelerine uygulanmıştır. Test numunesi test cihazına yerleştirilerek, genellikle daire ya da dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının, yönünü değiştirmeksizin konik olarak eğme kuvvetine maruz bırakıldığında oluşan biçim değişimidir. Numunelerde iç yüzeyde basma dış yüzeylerde çekme oluşmaktadır. Deney numunesinin çekmeye karşı gösterdiği direnç ölçülerek yorumlanmıştır. Bu deneyde malzeme konik büküm sınırına kadar bükülerek devam eder ve deney sonucunda numunelerin gösterdiği dirençler yorumlanmıştır.



Şekil 5.4. Konik Bükme Testi

5.1.5. Kafes çizgi testi

Kaplamanın DKP sac üzerinde yapışma kabiliyetini ölçmek amacıyla kafes çizgi testi ASTM D 3359 (Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test) standartlarına uygun TQC marka test cihazıyla yapılmıştır. Test yapılırken kaplama üzerine birbirine 90° açı olacak şekilde çizgi çizilmekte sonrasında çizilen yüzey üzerine bant yapıştırılıp çekilerek kaplama yüzeyinden kalkan boya miktarı standartlara göre karşılaştırılıp 0B ile 5B aralığında değişen sınıflara ayrılarak numunenin çizilmeye karşı gösterdiği direnci ölçüp kıyasladık. Kullanılan bıçak ve yüzey resmi aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Kafes Çizgi Testi

Sınıf	Boya Dökülmüş Alan (%)	Kopmanın Gerçekleştiği Boya Dökülmüş Yüzey Alanı
5 B	0	
4 B	5'ten az	
3 B	5 – 15	
2 B	15 – 35	
1 B	35 – 65	
0 B	65'ten büyük	

Şekil 5.6. Kafes Çizgi Testi Kopma Alanı Görseli

5.2. Kaplamanın Korozif Özelliklerinin Belirlenmesi

Kaplamanın korozif özelliklerinin belirlenmesinde hasarlı korozyon testleri ve gerilmeli korozyon testi uygulanacaktır. Çünkü birçok kullanım alanında malzemelere darbe ve hasara ve gerilmelere mutlaka maruz kalmaktadır.

5.2.1. Hasarlı korozyon testi

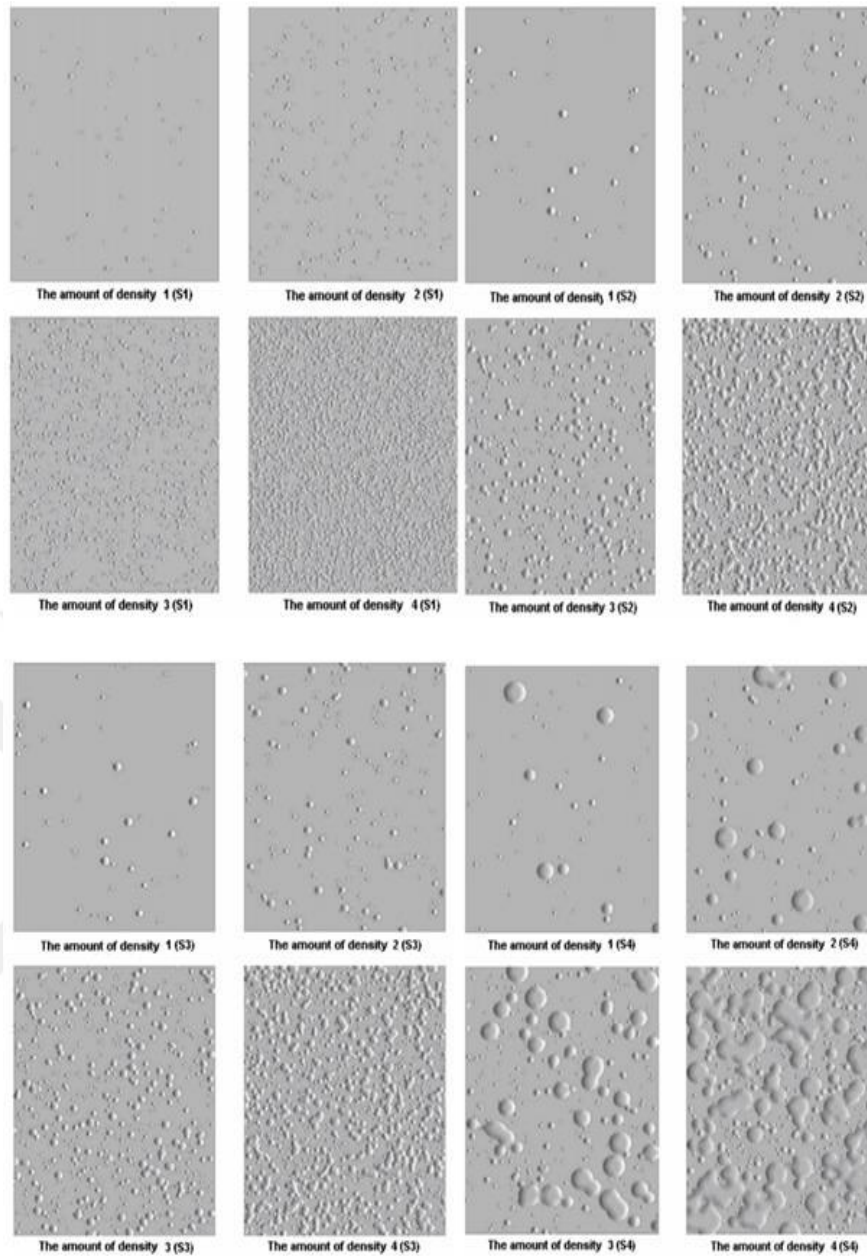
Bu çalışmada ise hasarlı korozyon testi uygulayarak malzemenin hasarlı bir şekilde iken korozyona karşı gösterdiği direnci iyileştirmeye çalışılmıştır.

Litaratürde HCl asit çözeltisi korozyon testi için kullanılmıştır(Feng, Hsu, Lu, & Shy, 2003). Kaplamanın korozif özelliklerini belirlemek adına ağırlıkça %5'luk HCl asit çözeltisi içerisine daldırma yöntemi ile 72 saat boyunca numuneler daldırılarak korozyon testine tabi tutulmuştur. Numunelere daldırma öncesinde çarpı şeklinde çizikler atılarak olası çiziklerde hasarlı numunede korozyonun ilerlemesi incelenmiştir.

Korozyon testi sonrası yüzeyde oluşan kabarcıklar ile, kabarcık Testi TS 9260 EN ISO 4628'e göre referans fotoğrafları kullanılarak kaplamanın korozyonu yorumlanmıştır (Yılmaz, 2010).



Şekil 5.7. Çizilerek Korozyon Testine Brakılacak Numuneler



Şekil 5.8. TS 9260 EN ISO 4628'e göre kabarcık testi referans fotoları

5.2.2. Salt sprey (Tuz püskürtme) testi

Döküm esnasında malzemelerde ilave eklenen farklı elementlerin korozyon direncini ölçmek amacıyla tuz püskürtme testi kullanılmış ve bu doğrultuda tuz püskürtme ile korozyon direnci korozyon ile meydana gelen ağırlık değişimi ve yüzeydeki hazarlar incelenmiştir(Manivannan, S., Dinesh, P., Babu, S. K., & Sundarrajan, S. (2015)).

Çeliklerde ve diğer metallerde kaplama seçimlerinde en hızlı ve doğru sonucu veren ve kaplamanın korozif özelliklerini kıyabilmek amacıyla tuz püskürtme testi önemli ölçüde kullanılmaya devam etmektedir (STANDARD, B., & ISO, B. (2006)).

Tuz püskürtme testi kaplanmış metalin malzeme ve yüzey korozyon direncini görmek amacıyla meteryalin üzerine belirli aralıklarla tuz püskürtülerek, korozif ortam oluşturulmasıyla yapılan hızlandırılmış bir korozyon testidir. Bu test ASTM B 117 standartlarında yapılarak korozif ortamda kaplamanın davranışının izlendiği ve yorumlandığı günümüzde yaygın olarak kullanılan da bir testtir. Burada kullandığımız DKP sacı kaplanarak yüzeyinde hasar oluşturularak ve hasarlı yüzeydeki korozyon oluşumu incelenip yorumlanmıştır.. Ağırlıkça % 0.5, 1.0, 1.5 nano ZnO partikül ve saf epoksi kaplı numunelerimizi bu teste tabii tutarak inceleyip korozyon direncini yorumlanmıştır.



Şekil 5.9. Çizilerek Korozyon Testine Bırakılacak Numuneler

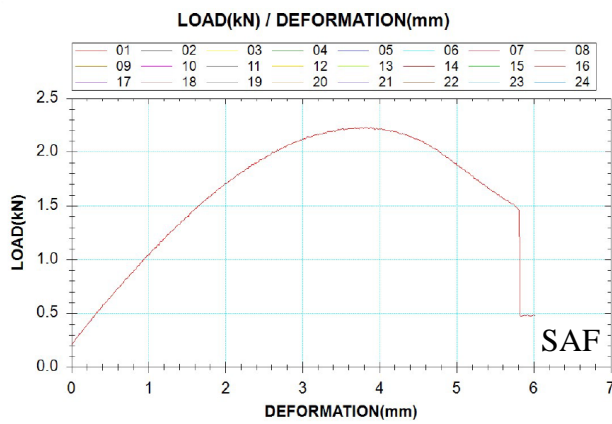
6. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. ZnO Nanopartikül İlavesinin Nanokompozit Özelliklerine Etkisi

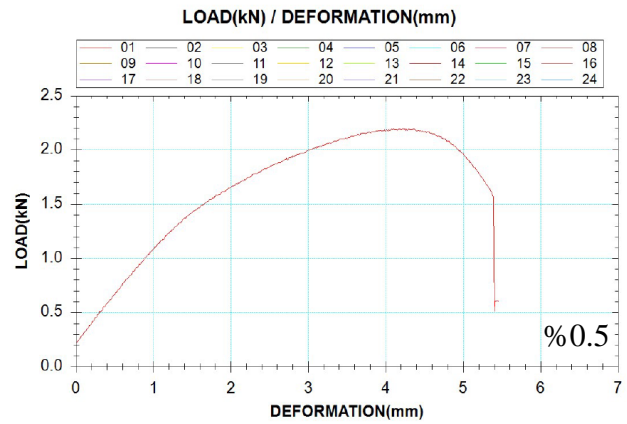
Burada, ZnO nanopartikül içeren epoksi nanokompozitin yapının mekanik özellikleri, DSC/TGA analizleri, hasar yüzeylerinin SEM görüntüleri ve FT-IR spektrumu incelenmiştir.

6.1.1. Nanokompozit hasar analizleri

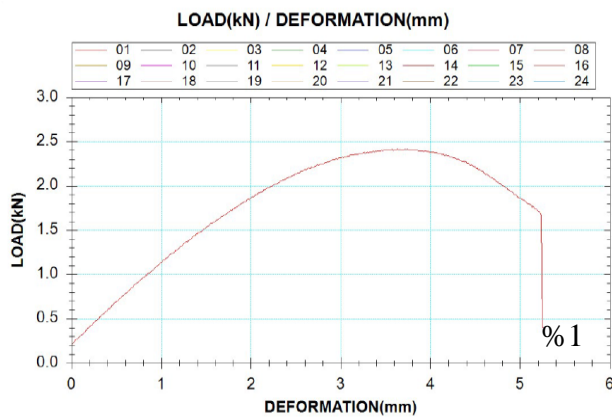
Çekme deneyi sonucu elde edilen birim şekil değiştirme / gerilme grafikleri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



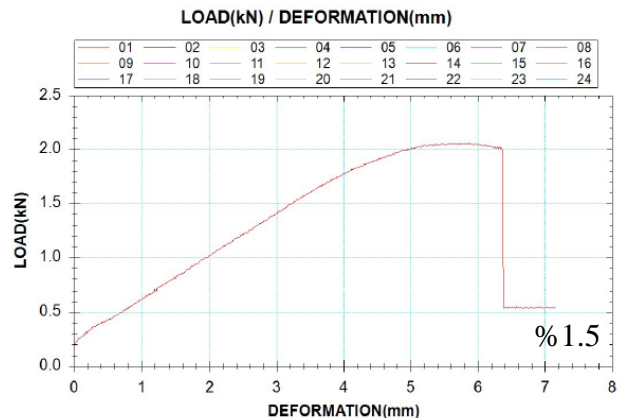
a) Saf epoksi kompozit



b) Ağırlıkça %0.5 nano ZnO ilaveli kompozit

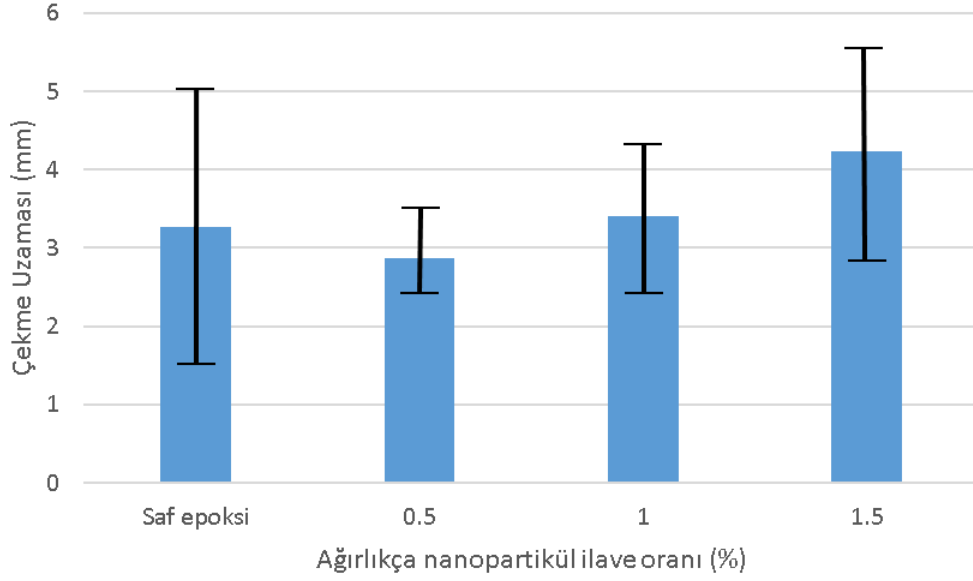


c) Ağırlıkça %1 nano ZnO ilaveli kompozit



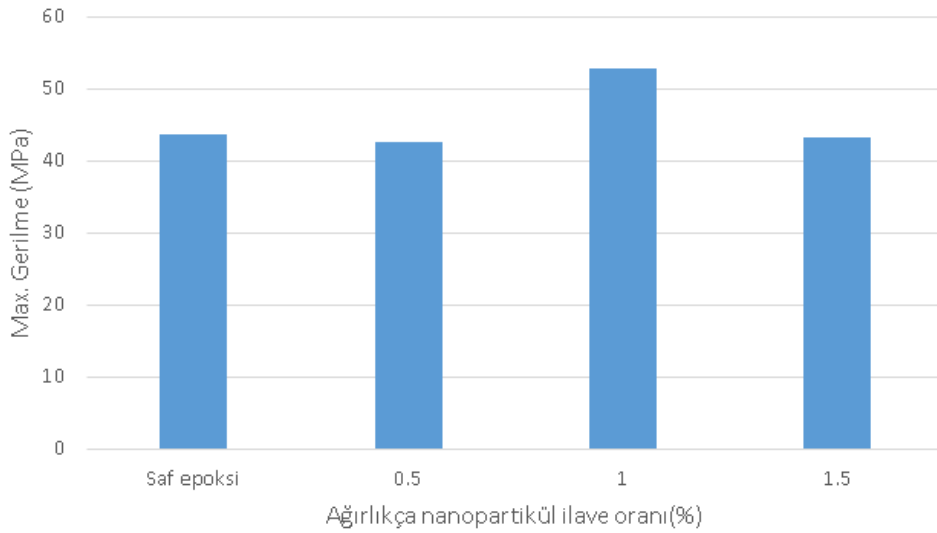
d) Ağırlıkça %1.5 nano ZnO ilaveli kompozit

Şekil 6.1. a)saf, b)0.5 nano ZnO ilaveli, c) %1 nano ZnO ilaveli, d)%1.5 nano ZnO ilaveli kompozit numunelerinin birim şekil değiştirme – gerilme grafiği

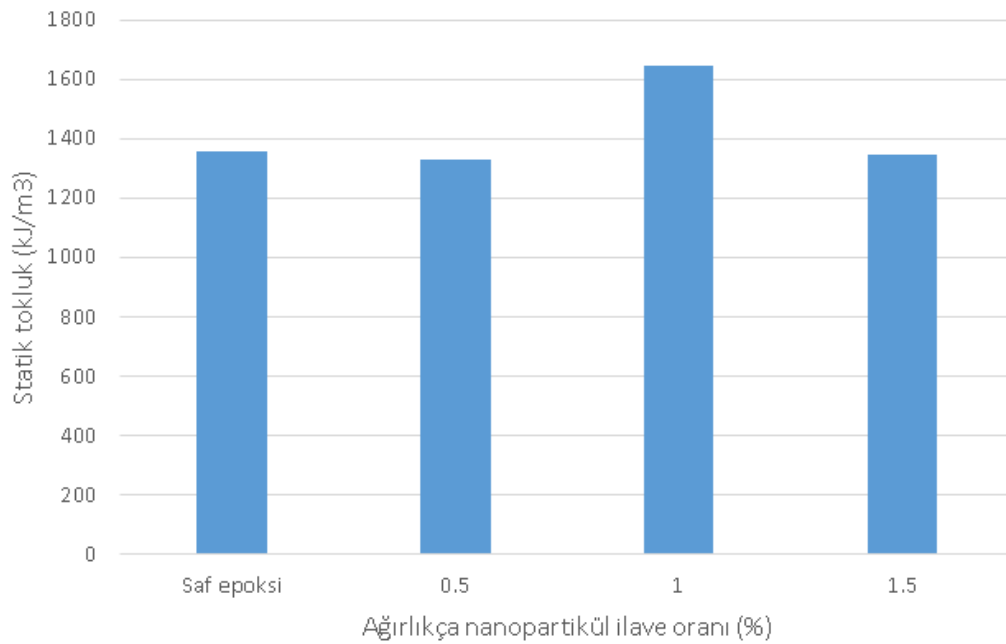


Şekil 6.2. Birim şekil değişirme- gerilme grafiği max ve min uzama

Test sonuçlarına göre alınan bilgiler doğrultusunda hesaplanan maksimum çekme uzanması %12 olarak ağırlıkça %1 nanopartikül ilaveli numune en iyi sonucu vermiştir. Saf epoksiden üretilen kontrol numunesinin özellikleriyle yapılan karşılaştırmalar çizelge oluşturularak aşağıda Şekil 6.3 6.4 te verilmiştir.



Şekil 6.3. Max Gerilme



Şekil 6.4. Statik Tokluk Grafiği

Nanokompozit uygulamasının olduğu 5 adet dogbone numunenin çekme testi sonucu elde edilen en yüksek çekme mukavemeti, statik tokluk değerleri ve çekme test cihazından okunan çekme uzaması sonuçları ortalamaları standart sapmaları ile birlikte verilmiştir. En yüksek çekme dayanımı açısından numuneleri incelendiğimizde maksimum değer saf epoksiyle kıyaslandığında %17.42 artış ile ağırlıkça %1 ZnO nanopartikül ilaveli numune ZnO10'da oluşmuştur. Ağırlıkça yüzde (%) nanopartikül ilave oranının artışıyla mukavemette düzenli bir artış gözlenmeyerek yalnızca % 1 nano ZnO da bir yükseliş gözlemlenmiştir. ZnO0 kontrol numunesine kıyasla en düşük çekme mukavemeti % 2.06 ile ağırlıkça % 0.5 ZnO nanopartikül katkılı numune ZNO05'te görülmüştür. Matriste ağırlıkça %1'lik katkı ile en iyi homojenize dağılımı göstermesiyle elde edilen bu homojen dağılım ile ZnO nanopartiküllerinin epoksi matris ile kuvvetli bir ara yüzey oluşturmasının sonucunda yapının mukavemetini artırıcı bir etki yaptığı düşünülmektedir. Bununla beraber tüm oranlardaki Zn nanopartikül katkıları ile çekme testinin sonuçları saf epoksiyle kıyaslandığında % 0.1 Nano ZnO ilaveli numune hariç çekme dayanımında numunelerinin diğerlerinde ise çekme dayanımı değerlerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Epoksi reçine içerisindeki % 1 değerinde nano ZnO katkılı numunedeki nanopartiküllerin varlığı yapıda termal bir etki oluşturarak makro moleküller arasındaki serbest alanı daraltarak çapraz bağ

yoğunluğunu arttırdığı ve aynı zamanda çapraz bağ yoğunluğunun artması ile doymamış bağ yoğunluğunun azalması sonucuyla da mukavemetin arttığı düşünülmektedir.

Grafikler statik tokluk değerleri açısından incelendiğinde, aynı şekilde saf epoksiye göre en iyi sonuç %21 artış ile % 1 ZnO nanopartikül takviyeli kompozit numunesinden elde edilmiştir. Statik tokluk değerinde ise saf epoksi ile kıyaslandığında en düşük sonuç % 2 ile %0.5 ZnO katkılı numunede görülmüştür. Ancak bu değerlerde olduğu gibi saf epoksiye oranla %1 harici diğer nanopartikül ilaveli kompozitlerde azalma vardır.

6.2. ZnO Nanopartiküllerin Kaplama Özelliklerine Etkisi

6.2.1. Kaplama mekanik özellikleri

6.2.1.1. Kalınlık ölçümü

Kaplamanın kalınlık ölçümleri için her bir parametreden 10 farklı noktadan değer ölçüm alınarak min. ve max. kalınlık değerleri ile alınan ölçümlere göre kaplamanın ortalama kalınlık ölçümleri bulunmuştur.

Çizelge 6.1. Saf epoksi ve ZnO nanopartikül ilaveli kompozit kaplamaların kalınlık ölçümleri

Numune / Kalınlık	Min. Kalınlık (μm)	Max. Kalınlık (μm)	Ort. (Kalınlık μm)
Saf Epoksi	65.2	82.2	73.7
%0.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi	68.3	85.6	76.95
%1 Nano ZnO İlaveli Epoksi	69.6	88	78.8
%1.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi	70.4	89.2	79.8

Çizelge 6.1 de görüldüğü üzere eklenen partikül oranı arttıkça kaplama kalınlığındaki düzenli artış oluşmuştur. Bunun nedeni partiküllerin aglomera etkisinden veya kürlenme sırasındaki oluşan partikül yoğunluğunun yüksek kaldığı düşünülen bölgelerdeki çekme veya topaklanma etkisinden olduğu düşünülmektedir (Shi et al., 2009).

6.2.1.2. Darbe testi

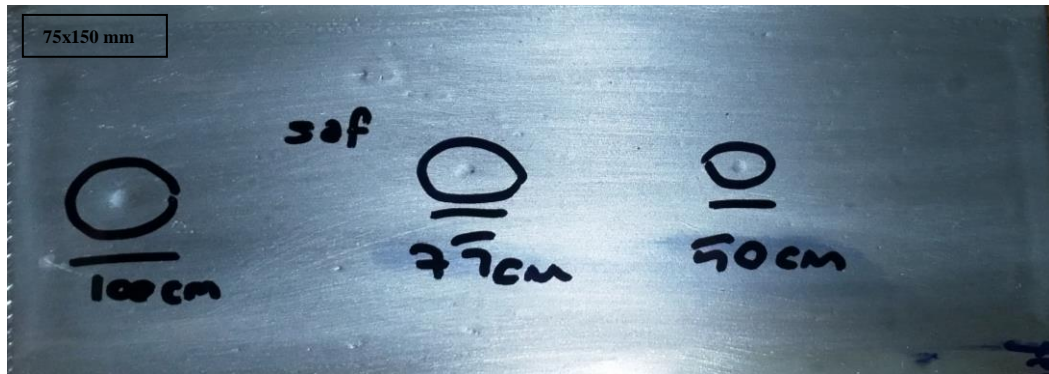
Kaplamanın darbe anındaki yüzeye tutunmasını incelemek ve gözlemlemek amacıyla kaplama ve kaplamanın yüzey arasındaki tutum, kuvvetini de gözlemlemek amacıyla darbe testi numunelere uygulanmıştır.

Test sonuçlarına göre numunelerin hangi yükseklikte yırtıldığı veya çatladığı ve başlangıç noktaları, yüzeye vurma enerjileri ve yüzey hasarı gözlemlenmiştir. Darbe esnasında oluşan hasarların çapları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tabloda numunelerin 50, 75 ve 100 cm de oluşan hasarlar ve buna bağlı oluşan hasar çapları mm olarak gösterilmiştir.

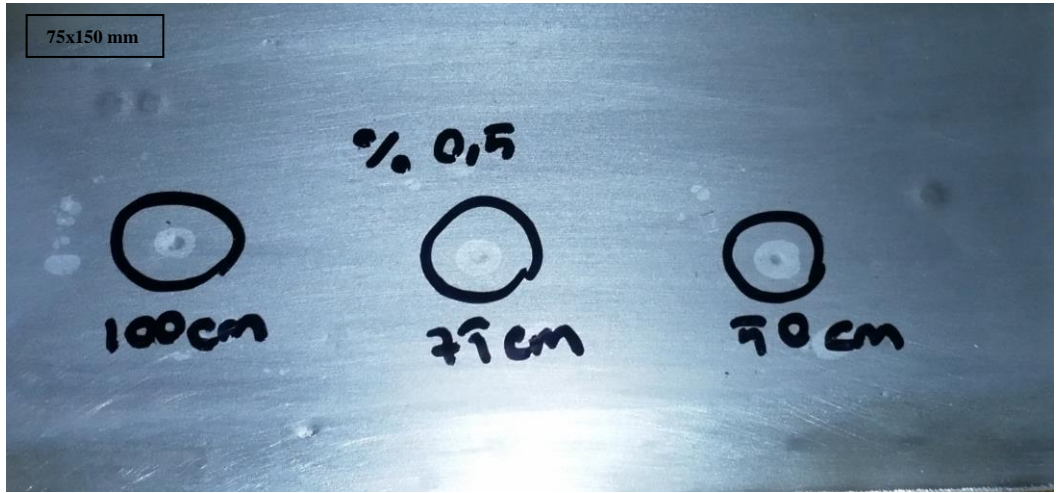
Çizelge 6.2. Darbe testi sonucu yüzeyde meydana gelen hasarların çap(\emptyset) olarak gösterimi

<i>Numune / Atılan Yükseklik</i>	<i>50 cm</i>	<i>75 cm</i>	<i>100 cm</i>
Saf Epoksi	*	*	*
%0.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi	5.95mm	5.55mm	4.50mm
%1 Nano ZnO İlaveli Epoksi	5.15mm	4.85mm	3.50mm
%1.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi	9.15mm	11.20mm	8.55mm

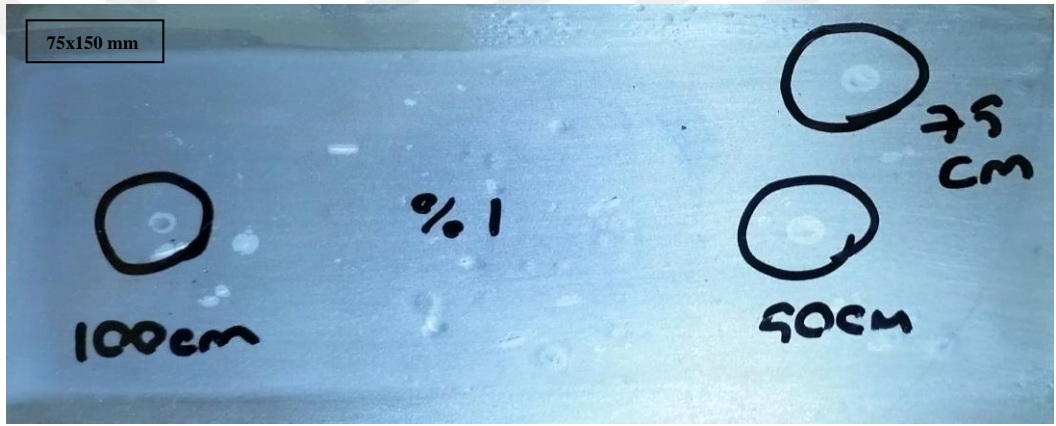
Bu sonuçlarda görüldüğü üzere nano ZnO kullanılan numuneler mekanik testler içerisinde yer alan darbe testinde iyileştirme göstermeyerek kaplamanın dayanımını azalttığı görülmüştür. Burada en çok hasara maruz kalan yapı çap olarak hasar gören yüzeyler tablodada görüldüğü üzere %1,5 nano ZnO oranına sahip kaplamada görülmüştür. Darbe sonucunda hasar alan yüzeylerin fotoğrafları aşağıda Şekil 6.5 te görülmektedir.



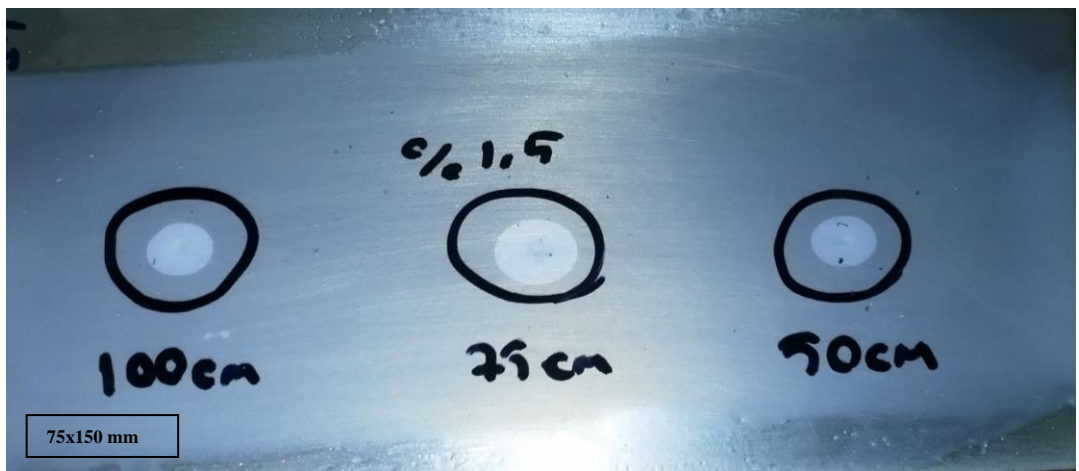
a)Saf epoksi kaplama numunesinin darbe testi sonucu



b)%0.5 nanopartikül ilaveli kaplamanın darbe testi sonucu



c)%1 nanopartikül ilaveli kaplamanın darbe testi sonucu



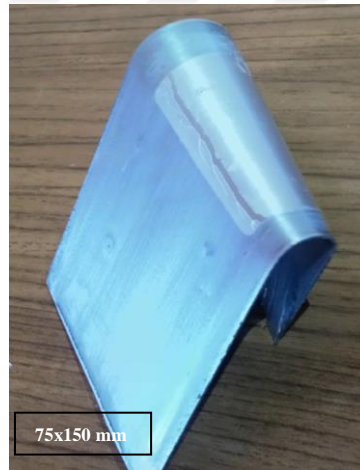
d)%1.5 nanopartikül ilaveli kaplamanın darbe testi sonucu

Şekil 6.5. a)saf epoksi b)%0.5 nanopartikül ilaveli c)%1 nanopartikül ilaveli d) %1.5 nanopartikül ilaveli epoksi kaplı yüzeylerin darbe sonucu hasar alan yüzeyleri

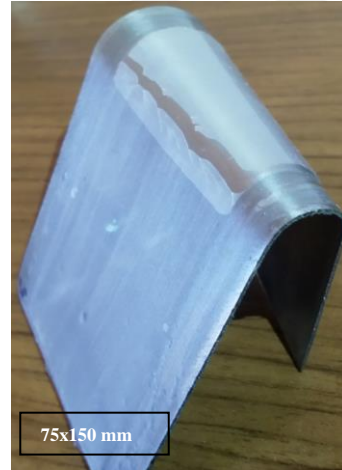
Test esnasında kullanılan ağırlığın kütlesi 100 gramdır. Testte Ağırlık numuneler üzerine 50 cm - 75 cm – 100 cm den bırakılmıştır. Şekil 6.5 da darbe yüzeyleri ve kaplamada meydana gelen hasarlar görünmüştür. En iyi darbe dayanımını Saf Epoksi göstermiştir. Bu sonuca göre reçine içerisindeki ZnO miktarına göre kaplama darbe direncini kaybetmiş ve tutunması artan ZnO oranına göre de azalmıştır. Bununla beraber en çok hasar gören numune içerisinde % 1.5 ZnO içeren kaplama görmüştür. Bu numunedeki kaplama patlayarak yırtılmış ve yüzeyden tutunmasını kaybetmiştir. En düşük hasarı ise saf epoksi kaplama göstererek en iyi yüzeye tutunma ve darbe dayanımına sahip olmuştur.

6.2.1.3. Konik bükme testi

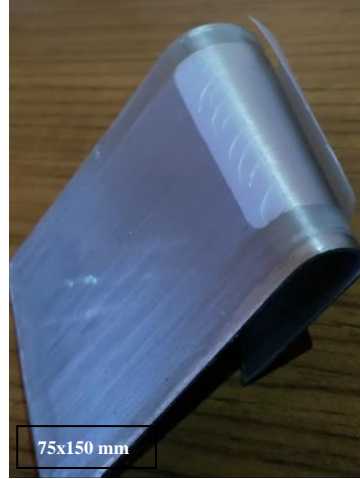
Kaplamanın elastikiyetini ölçmek için yapılan konik bükme testinde konik olarak bükülen ve numunene ki çekmeden dolayı oluşabilecek gerilmelere karşı dayanımını gösteren konik bükme testi numuneleri aşağıdaki Şekil 6.6 daki gibidir. Bu test ISO 6860, ASTM D522 standartlarına göre yapılmıştır.



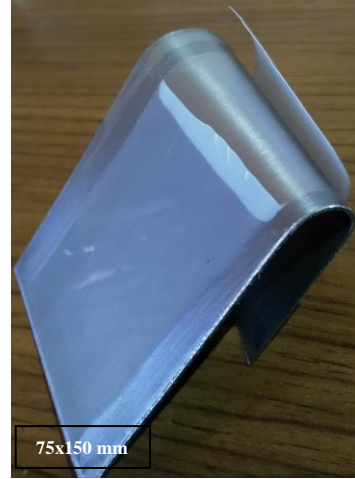
a)Saf Epoksi



b)ZnO % 0.5



c)ZnO % 1.0



d)ZnO % 1.5

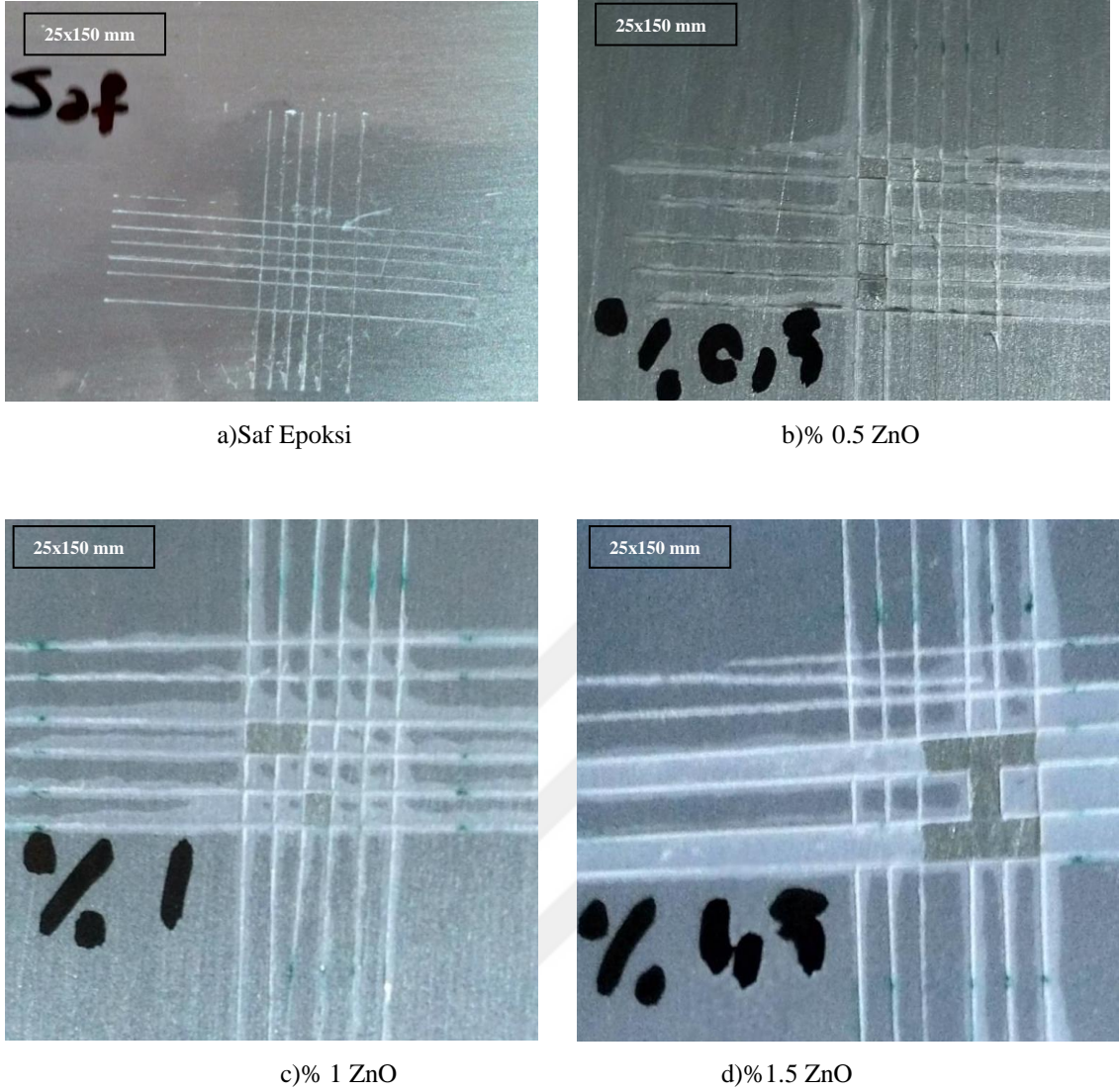
Şekil 6.6 a)saf epoksi b)%0.5 nanopartikül ilaveli c)%1 nanopartikül ilaveli d) %1.5 nanopartikül ilaveli epoksi kaplı yüzeylerin konik bükme sonucu hasar alan yüzeyleri

Konik bükme testinin sonuçlarında görülmüştür ki saf epoksi en iyi sonucu göstermiştir. Yüzeyde hasar olmasına karşın numune yapışkanlığını devam ettirmiştir. Eklenen nano ZnO partiküllerinin oranının artışına paralel olarak da bükülmeye karşı dayanım azalmış olup yüzeyden tamamen ayrılmalar görülmüştür. Nano ZnO epoksi kaplamaya takviyesiyle bükülmeye karşı direnç gösteremeyerek kaplamada kötü bir etki yaratmıştır.

6.2.1.4. Kafes çizgi testi;

Bu test ASTM D3359 test standartlarına göre yapılmış olup saf epoksi ve çeşitli oranlarda nano ZnO partikül eklenmiş numunelerin çizilmeye karşı davranışını ve yüzeye olan yapışkanlığını ölçmek amacıyla yapılmıştır.

Yapılan testte saf epoksi 5B özelliği göstermiş olup Nano ZnO partikülü eklenmiş numunelerde dayanım partikül oranının artışına paralel olarak azalmış ve yapışkanlık özelliği zayıflamıştır. %0.5 3B, %1.0 2B %1.5 1B özelliği göstermiştir.



Şekil 6.7. a)saf epoksi b)%0.5 nanopartikül ilaveli c)%1 nanopartikül ilaveli d) %1.5 nanopartikül ilaveli epoksi kaplı yüzeylerin kafes çizgi testi sonucu hasar alan yüzeyleri

Kafes çizgi testi sonucunda nano ZnO kaplamanın yapışkanlık ve çizilmeye karşı direncinde katkı sağlayamamıştır.

6.2.2. Kaplama korozyon özellikleri

Kaplamalar hasarlı korozyon testine tabi tutularak saf epoksi ve nanopartikül ilaveli kaplamaların korozyon dirençleri incelenerek nanopartikül ilavesinin kaplama üzerinde etkileri incelenmiştir.

6.2.2.1. Daldırma testi

İlk olarak saf numune, % 0.5 , % 1 ve % 1.5 nanopartükül ilaveli kaplamalar % 5 asit derişimi içeren sıvı içerisinde daldırılarak asidik ortamın hasarlı numunede korozyon oluşumu ve ilerlemesinde oluşan korozyon ilerlemesi aside verdiği tepkiler incelenmiştir. Numuneler 72 saat asidik ortamda bekletilmiştir ve ağırlıkça %1 nanopartükül ilaveli kaplamannın yapıldığı numune korozyona karşı en iyi direnci göstermiştir ve saf numuneye göre korozyon direncinde belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir. En fazla korozyona maruz kalan numuneler ise Saf ile birlikte %5 nanopartikül içeren numunedir.

Aşağıda numulerin asit daldırmasından sonra fotoğrafları ve korozyon ilerleyişleri Şekil6.8 de görülmektedir.



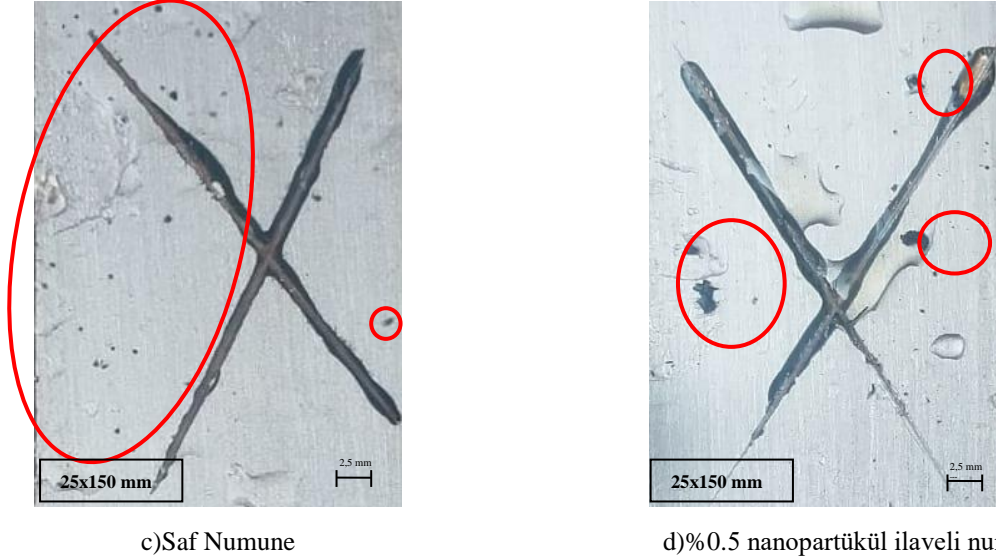
Şekil 6.8. Korozyon öncesi kaplanmış 250 x25x0.5mm boyutlarında çizilmiş numuneler



a)% 1 nanopartükül ilaveli numune



b)% 1.5 nanopartükül ilaveli numune



c)Saf Numune d)%0.5 nanopartikül ilaveli numune
Şekil 6.9. a) %1 nano partikül ilaveli b) %1.5 nano partikül ilaveli epoksi c) saf epoksi d)%0.5 nano partikül ilaveli kaplı yüzeylerin aside daldırma testi sonucu korozyon ilerleyişi

Çalışmalarda HCl asit kullanılmasının sebebi ise bu bileşiğin test sıvısı içine çok fazla sayıda Cl⁻ iyonları vermesi ve bu iyonlarında numunenin yapısı içerisindeki metal iyonlarıyla tepkimeye girmesi sonucunda yapıyı hızlandırılmış şekilde korozyona uğratmasıdır (Torchio, 1980).

DKP sac yapıda ise herhangi bir dış sebepten dolayı bariyer film tabakasından sacın iç kısımlarına doğru halojenlerin (Cl,Fl...) 7A grubu ametallerin sızması ve korozyonun hızla iç tabakalara doğru ilerlemesi ile pitting (çukurcuk) korozyonu oluşmaktadır. Bu tüm numunelerde gözlemlenmiştir.

Ayrıca hasar bölgesindeki film tabaklarında oluşan kalkmalar ve korozyonun ilerleyişi de net bir şekilde numunelerde görülmektedir. Bu film tabasında kalkmalar en çok saf ve % 0.5 nanopartikül katılmış numunelerde görülmektedir. Hasarın ilerlemesi ve film tabakasındaki oluşan deformasyonlar ortalama 2.5 mm ölçülmüştür.

Literatür araştırmalarında Zn ve ZnO nanopartiküllerinin polimer matris içerisine eklenmesiyle matrisin antikorozyon özelliklerini inceleyen bazı çalışmalar mevcuttur(Mostafaei & Nasirpour, 2014; Olad et al., 2012; Shi et al., 2009).

Bu çalışmalarda da matrise ilave edilen ZnO bazlı nanopartiküllerin kaplanan malzemeyi korozyondan koruma konusunda faydalar sağladığı belirtilmiştir. Ve bizim çalışmamızda da %1 nano ZnO ekli kaplamalar olumlu sonuç göstererek korozyona direnç göstermiştir.

6.2.2.2. Salt sprej testi

Hasarlı korozyon testi olarak Salt Sprej testi saf epoksi kaplama %0.5 %1 ve %1.5 nano ZnO ilaveli epoksi kaplamaların uygulandığı numuneler sektörde en yaygın olarak kullanılan hızlı korozyon testi olarak bilinen Salt sprej testine maruz bırakılmıştır. Bu test ASTM B 117 standartlarında yapılmış olup 96 saat teste maruz bırakılmıştır.

Salt Sprej testinde 96 sonrasında hasarlı numunelerin korozyon karşında dirençleri aşağıdaki Şekil 6.10 da gösterilmiştir.



a) %1.5 ZnO

b) %1 ZnO

c) %0.5 ZnO

d) Saf

Şekil 6.10. a) %1.5 nanopartikül ilaveli b) %1 nanopartikül ilaveli epoksi c) %0.5 nanopartikül ilaveli d) saf epoksi kaplı yüzeylerin salt sprej testi sonucu korozyon ilerleyişi

Salt Sprej testi sonucunda epoksi kaplamanın belirli oranlardaki nano partükül ilavesi ve saf epoksi kaplamalı numune fotoğraflarından gördüğümüz üzere hasar verilen yüzeylerde en iyi sonucu %1 nano ZnO ilaveli epoksi kaplanmış numune göstermiştir. Hasarın ilerleyişi ve genişliği açılma alanı diğer numuneler ve özellikle saf numuneye göre en iyi sonucu göstermiştir.

Numunelerde genelinde sacın yan taraflarından bir paslanma görünmektedir. Bunun sebebi kenarların tam kaplanamaması ve korozyon için açık bölgeler olmasıdır ama burada da %1.5 nano ZnO kaplı numune en kötü özelliği asit testindeki gibi göstermiştir. Bu sonucun olmasının nedenleri arasında oluşan aglomer yapı olduğu düşünülmektedir ve burada kabuk altı korozyon türünde ratlamaktayız. Kenarlardan oluşan korozyon türü bizlere %1.5 nanopartikül ilaveli kaplamada kabul altı korozyonuda belirgin bir şekilde göstermiştir.

Çukurcuk korozyonu salt sprejde en belirgin olarak %0.5 nano ZnO kaplı numunede görülmektedir. Diğer numunelerde çukurcuk korozyonu belli belirsiz olmamakla birlikte görülmediği fotoğraflarda da görülmektedir.

Salt sprej testi ile korozyona direnci en iyi % 1 nanopartikül kaplı numune daha sonra saf numune %0.5 ve ardından en son %1.5 nanopartikül kaplı numune gelmektedir.

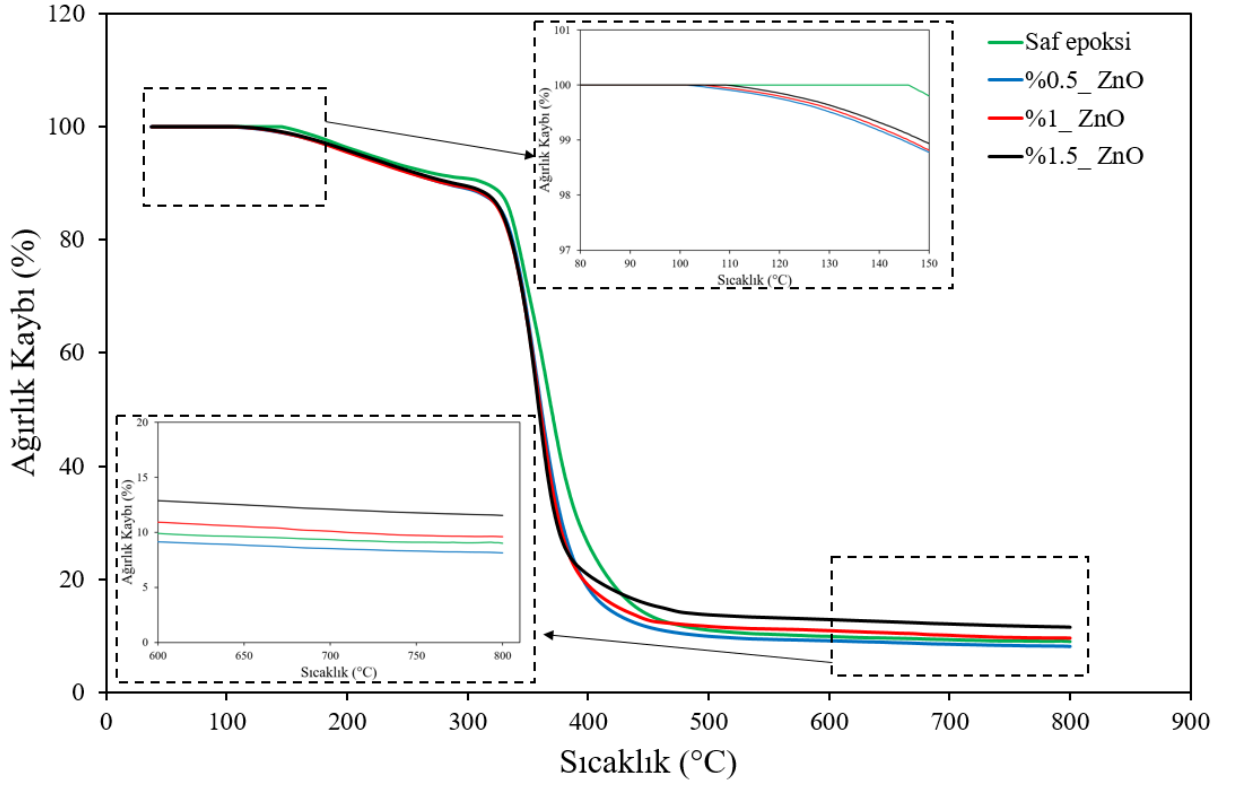
6.3. Nanokompozit Analiz Sonuçları

Saf ve nanopartikül ilaveli numunelerin termal kararlılıklarını gözlemek için TGA analizi, epoksi içinde farklı oranlardaki nano ZnO kürlenme davranışlarını incelemek için DSC analizi ve numunelerin bağ yapılarını incelemek için FT-IR analizleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezinde (BİTAM) yapılmıştır ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

6.3.1. Nanokompozit TGA analizleri

Saf ve nanopartikül ilaveli numelerin termal kararlılıklarını gözlemek amacıyla 30 ° C – 800°C sıcak aralığın da 10 °C/dk ısıtma hızında azot ortamında termogravimetrik analizi (TGA) yapılmıştır. Analiz sonuçları grafiksel olarak şematize edilmiştir. TGA analizinde numunelerin istatistiksel ısı direnci indeks sıcaklığı (Ts), %5, %10 ve % 50 kütle kaybının gerçekleştiği sıcaklıklarla (T_{d5} , T_{d10} , T_{d50}) birlikte sıcaklık 800°vardığında kalan kömür miktarı gibi parametreler elde edilebilmektedir (Jin, Ma, & Park, 2011; Jin & Park, 2012; Park & Jin, 2004).

TGA analizleri ile alaklı varılan sonuçlar aşağıda Şekil 6.11 de verilmiştir.



Şekil 6.11. TGA analiz sonucu çizelgeleri

Çizelge incelendiği zaman T_{d5} değerinde partikül ilave edildiği zaman düzenli olarak bir azalma görülmektedir. Bu azalmanın nedeni olarak nanopartikül ilavesinin oluşturduğu aglomera yapısı olarak düşünülmektedir. Aynı azalma istatistiksel ısı direnç sıcaklığı olan T_s değerinde de gözlemlenmektedir. Düşüşler çizelge incelendiğinde de, T_{d50} seviyesine gelindiğinde de aynı benzerlikle birlikte kütle kaybı görülmektedir. Burada aglomera yapının bir boşluk gibi davranarak kararlılığı olumsuz yönde etkilediğini düşünebiliriz.

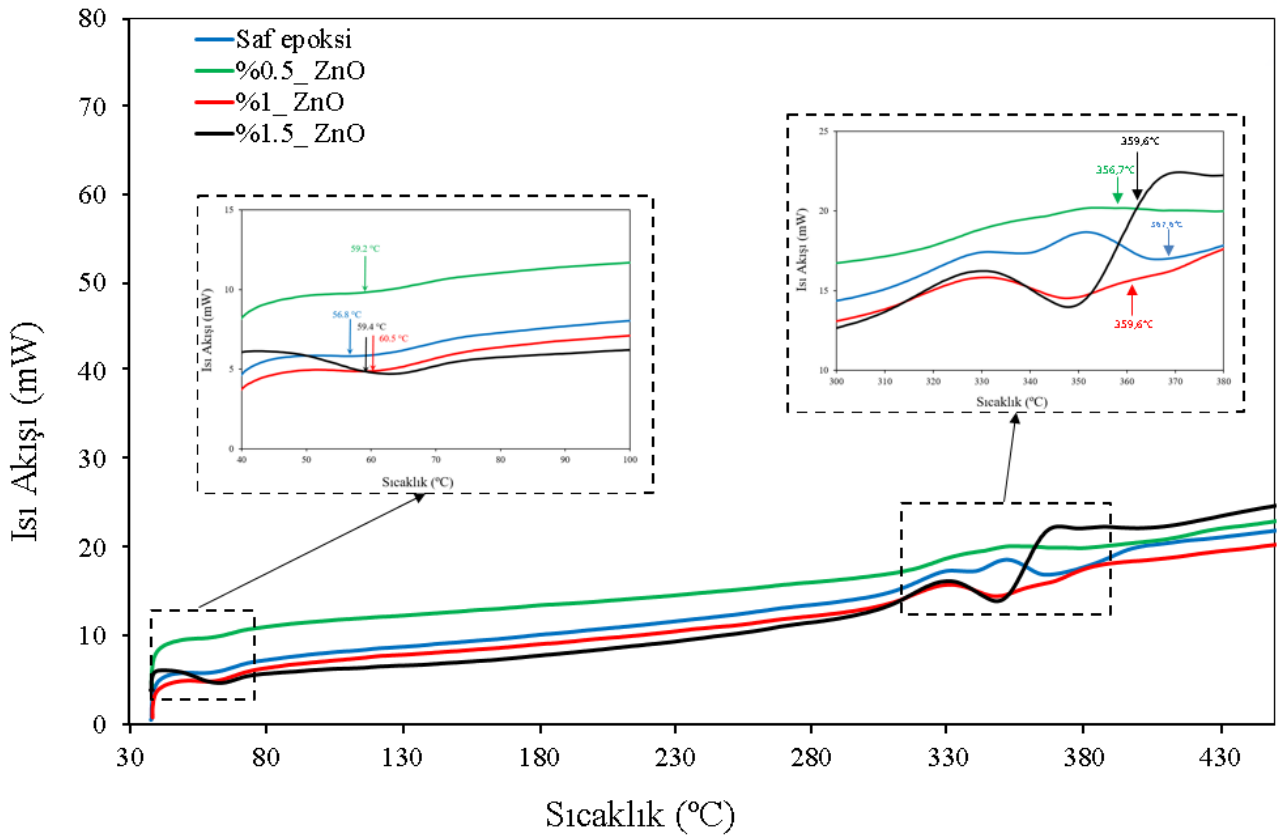
Çizelge 6.3. Saf epoksi ve nano ZnO ilaveli nanokompozitlerin TGA grafiklerinden elde edilen T_{d5} , T_{d30} , T_{d50} , T_s , ve 800 °C'de kömürleşme miktarları

<i>DeneySEL Sonuçlar</i>							
Numune	T_g (°C)	T_{onset} (°C)	T_{d5} (°C)	T_{d30} (°C)	T_{d50} (°C)	T_s (°C)	800°C de kömürleşme miktarı (%)
Saf Epoksi	59,2	146	218,6	351,3	369,7	146,1	9
%0,5 Nano ZnO	56,8	101,1	209,4	346,9	361,3	143,0	8,1
%1 Nano ZnO	60,5	104,8	207,1	346,1	360,3	142,4	9,6
%1,5 Nano ZnO	59,4	109,3	211,9	346,0	359,1	143,3	11,5

6.3.2. Nanokompozit DSC analizleri

Epoksi reçineye eklediğimiz oranlı farklı nano ZnO partiküllerini kürlenmeye karşı davranışını ve etkilerini diferansiyel taramalı kalorimetre analizi DSC cihazı ile birlikte 40°C den 350° C ye kadar 10°C/dk ısıtma hızı ile artan sıcaklık koşullarında BİTAM’da analizleri yapılmıştır.

Analiz sonucunda elde edilen DSC eğrileri aşağıda verilmiştir. Numunelerin camsı geçiş sıcaklığı (Tg) ve erime sıcaklık (Tm) değerleri grafikten tespit edilerek izelge haline getirilerek aşağıda verilmiştir. Bahsettiğimiz camsı geçiş sıcaklığı polimerik malzemelerin temel ayırt edici özelliklerinden biri olup malzemenin camsı özelliğiz kaybederek vizkoz özellikler kazanmaya başladığı sınır olarak ifade edilip tanımlanmaktadır. Erime sıcaklığından her zaman düşük olmaktadır. Camsı geçiş sıcaklığını etkileyen faktörler dallanmalar ve çapraz bağlanmadır. Çapraz bağ varsa ve oranı yüksekse dönmesi zorlaşır ve camsı geçiş sıcaklığı artar. Tüm endotermik reaksiyon göstermiştir.



Şekil 6.12. Saf epoksi ve ZnO nanopartikü l ilaveli kompozitlerin DSC eğrileri

Çizelge 6.4. Saf Epoksi ve ZnO nanopartikül ilaveli postkürü kompozitlerin camsı geçiş ve erime sıcaklıkları

<i>DeneySEL Sonuçlar</i>		
Numune	T_g (°C)	T_m (°C)
Saf Epoksi	59.2	367.6
% 0.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi	56.8	356.7
% 1 Nano ZnO İlaveli Epoksi	60.5	359.6
% 1.5 Nano ZnO İlaveli Epoksi	59.4	359.6

Moleküler ağırlıkta matris partikülü ara yüzey alanı çapraz bağ yoğunluğu ve partikül yönlenmesi gibi faktörleri termoset matrisli nanokompozitleride genel anlamıyla; camsı geçiş sıcaklığı T_g değerinin değişmesinde önemli bir role sahiptir(Sun, Zhang, Moon, & Wong, 2004).

Polimer matrisin camsı geçiş sıcaklıkları TG polimerin serbest hacmine bağlıdır. Kütle halindeki moleküllerin hareketleri boşluk ve boşlukların varlığı ile ilişki içerisindedir(Jana, Salehi-Khojin, & Zhong, 2007).

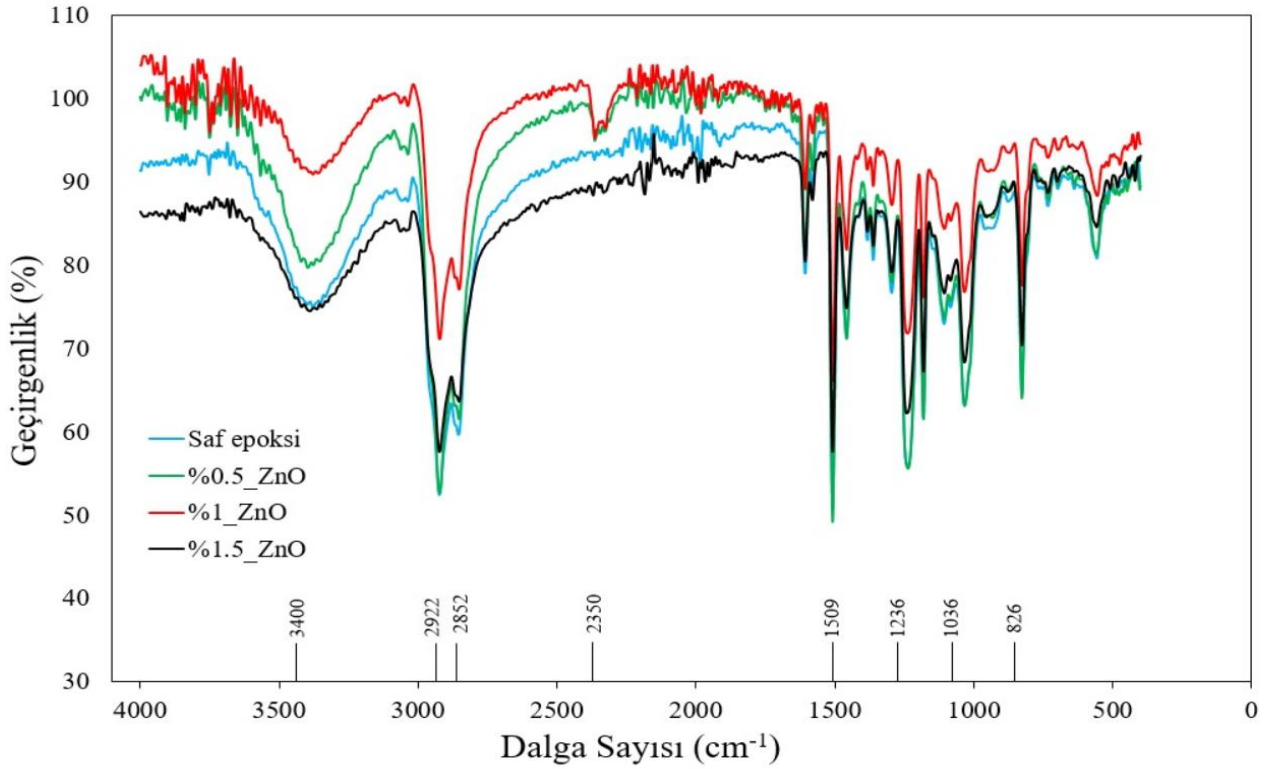
Çizelge 6.4 incelendiğinde %1 nanopartikülü ilaveli nanokompozitin camsı geçiş sıcaklığı saf epoksiye göre %6.5 yükselmiştir. Bunun nedeni ise partikülün ilavesi ile çapraz bağ yoğunluğunun artması olarak yorumlanmaktadır. Buna ek olarak matris içerisindeki nanopartiküllerinin çekirdeklenme bölgeleri oluşturmaları ise polimer matrisin kristalleşmesini arttırarak TG nin yükselmesine sebep olmaktadır(Ma, Siddiqui, Marom, & Kim, 2010).

Epoksi reçine içerisine takviye edilen nanopartiküller ile matris ve reçinenin kür kinetiğindeki hidroksil gruplarının nanopartiküller üzerindeki katalitik etkisinden dolayı etkilenebilmektedir (Ji, Zhang, Rong, Wetzel, & Friedrich, 2004). Postkür uygulaması olmadan yalnızca nanopartikül takviyesiyle camsı geçiş sıcaklığını artırması, nanopartikül takviyesinin epoksi reçine ile etkileşime girerek katalitik bir etkiye sebep vermesi ve bu durumda da kürlenmeye sebebiyet verdiği de düşünülmektedir.

6.3.3. Nanokompozit FT-IR analizleri

Fourier Dönüşümü Infrared (FT-IR) spektrum ölçümleri BİTAM da yapılmıştır. Yapılan tüm analizler 400 ile 4000 cm⁻¹ arasında oda sıcaklığında 2cm⁻¹ hassasiyet ile bulunmuştur.

FT-IR analizi numunelerin bağ yapılarını incelemek için yapılan bir alanlıdır. Ve saf epoksi ile birlikte nano ZnO partükülü ilaveli numunelerin FT-IR spektrumları aşağıda Şekil 6.13 de verilmiştir.



Şekil 6.13. Saf epoksi ve ZnO nanopartikül ilaveli kompozitlerin FT-IR spektrumları

Çizelge 6.5. Saf epoksi ve epoksi nanokompozitlerin farklı kimyasal grupların gerilim titreşimleri

Dalga Sayısı (bantlar)(cm-1)	Karakteristik Grup
3400	Hidroksil (OH) gerilmesi
2922	Oksiran halkasının C-H simetrik gerilmesi, N-Hgerilmesi
2852	-CH ₂ ve CH aromatik ve alifatik C-H gerilmesi
2350	-CO ₂
1509	Aromatik halkaların C-C gerilmesi
1236	-C-C-O-C gerilmesi
1036	Etet grupların C-C gerilmesi
826	Aromatik absorbance

FT-IR spektrumları incelendiğinde karakteristik bantların oluştuğu ve spektrum üzerinde piklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir ve yukarıdaki Çizelge 6.5 de

görülmektedir. Yeni piklerin oluşmaması nanopartikülve epoksi matris arasında kimyasal bir tepkimenin etkileşimin olmadığını, bundan ziyade fiziksel bir etkileşim meydana getirdiğini bizlere göstermektedir (Barletta, Vesco, Puopolo, & Tagliaferri, 2016). Şekillere bakıldığında nanopartikül ilave miktarlarınca pik değerleri absorpsiyon titreşim pik yoğunlukları farklılık göstermektedir. Nanopartikülü epoksi matris etkileşimi ile ortaya çıkan absorpsiyon yoğunluğunda genel anlamıyla bir artma gözlemlenmektedir (Dhoke, Sinha, & Khanna, 2009). İlave edilen nanopartiküller ve epoksi arasında kuvvetli bir adezyon ve esnek bir arayüzey kazandırılarak , bu durumun ara yüzeylerde dayanımını ve kırılma tokluğunu arttırdığının kanısını oluşturmuştur oluşturmuştur(Jalili, Moradian, Dastmalchian, & Karbasi, 2007).

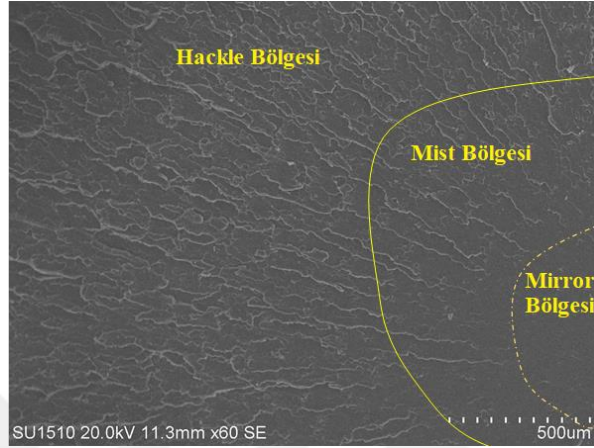
Bu etkileşimin kırılma tokluğunu aynı zamanda mekanik özellikleri iyileştirmede de önemli faktör olduğu düşünülmektedir. Nanokompozit numunelerde absorpsiyon titreşim pik yoğunlukları sırayla en fazla ağırlıkça %0.5 ZnO, %1 ZnO ilaveli nanokompozitlerde görülmüştür, %1.5 nano ZnO katkılı kompozitte farklı olmasının sebebi aglomera olduğu düşünülmektedir. Nanopartikül miktarı artmasıyla birlikte absorpsiyon pik yoğunluklarında düşüşler görülmüş fakat bununla birlikte tüm pik noktalarının saf epoksiden daha yüksek olduğuda görülmüştür. Nanopartikül miktarının artmasıyla birlikte ise aglomera olan nanopartiküller küreleşme esnasındaki otokatalitik etkiyi de azaltabilmektedir(Rajabi, Marzban, & Derakhshan, 2014).

6.3.4. Nanokompozit SEM analizleri

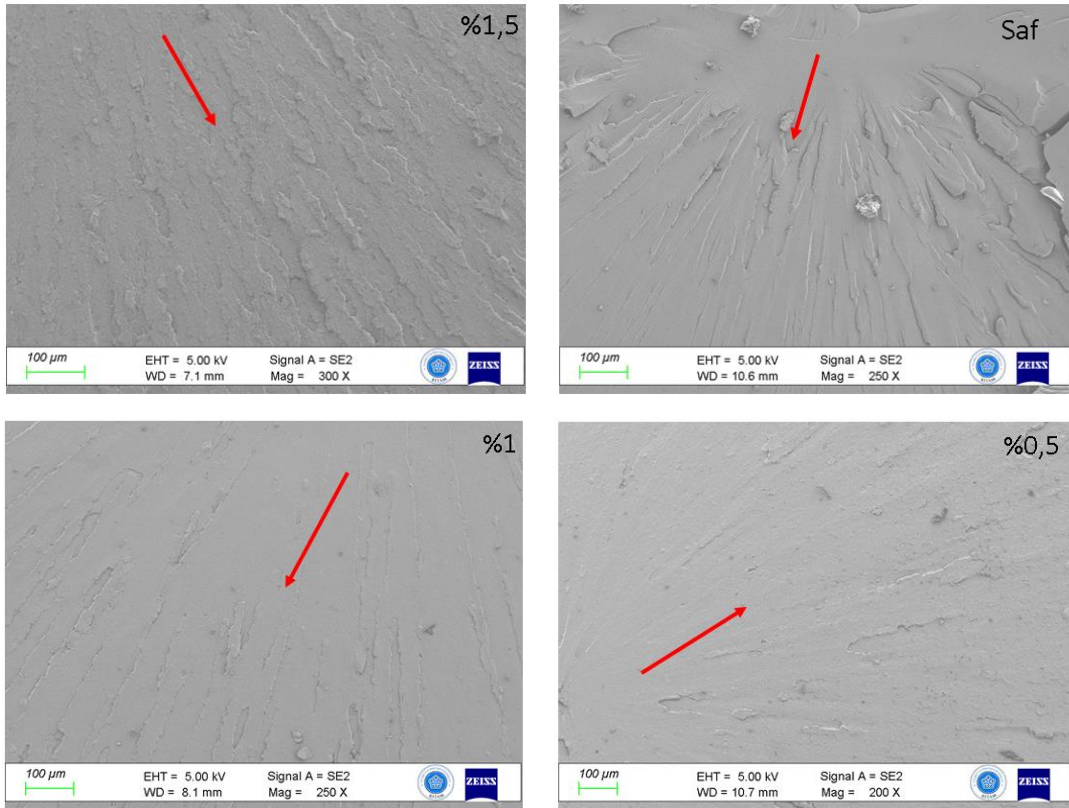
Epoksi reçinenin polimer yapıda olmasından dolayı çekme deneyinden sonra termoset yapısındaki polimerin kırılması yüzeylerinde genelde 3 farklı bölge oluşmaktadır;

- Kırılma esnasındaki çatlağın yavaşça büyürken aniden hızlanarak prüzsüz denilecek “mirror (ayna)” isimli bölgesi,
- Mirror bölgesinin ardından geçiş bölgesi olarak ifade edilen ve nispeten prüzlü olan “mist (pus)” bölgesi,
- Son olarak deformasyonun hızlanmaya başladığı zamanda nihai çatlak hızında, yüksek miktarda prüzlü kaba bir yapıya sahip olan ve belirgin akıntı çizgilerini içeren “hackle(kesme)” bölgesi oluşmaktadır. Bu bölge de mist bölgesinin etrafını sarmaktadır(Goyat, Suresh, Bahl, Halder, & Ghosh, 2015; Hayes, Edwards, & Shah, 2015).

Mirror, mist ve hackle bölgelerinin oluşumu malzemelerin tokluğu, yükleme şartları, çevresel faktörler, takviye elemanları, türü, miktarı, boyutu ve şekli gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Gao et al., 2012). SEM görüntüleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (BİTAM)'da yapılmıştır. Örnek bir mirror, mist ve hackle bölgesi aşağıdaki Şekil 6.14 de gösterilmiştir.

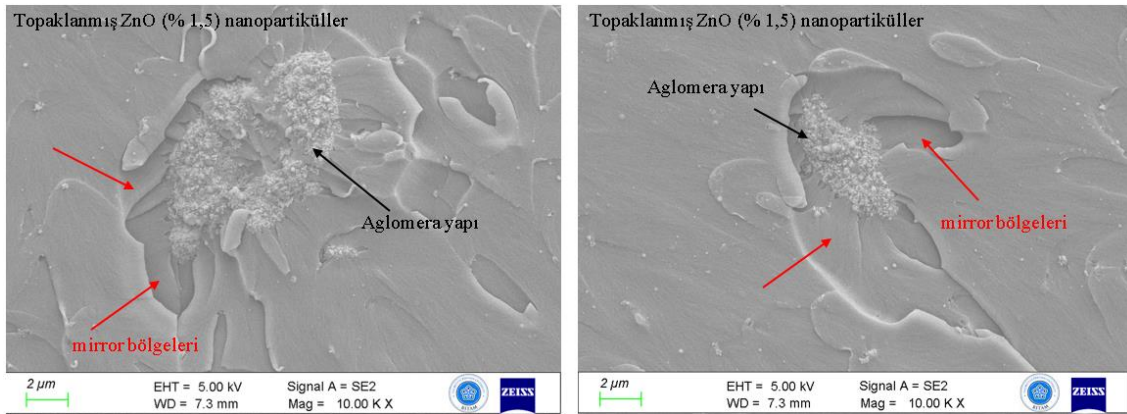


Şekil 6.14. Çekme numunesi hasar yüzeyi SEM görüntüsü, Mirror, Mist ve Hackle bölgeleri



Şekil 6.15. Çekme numunelerimizin hasar yüzeyi SEM görüntüsü, Mirror, Mist ve Hackle bölgeleri ve ilerleyişi

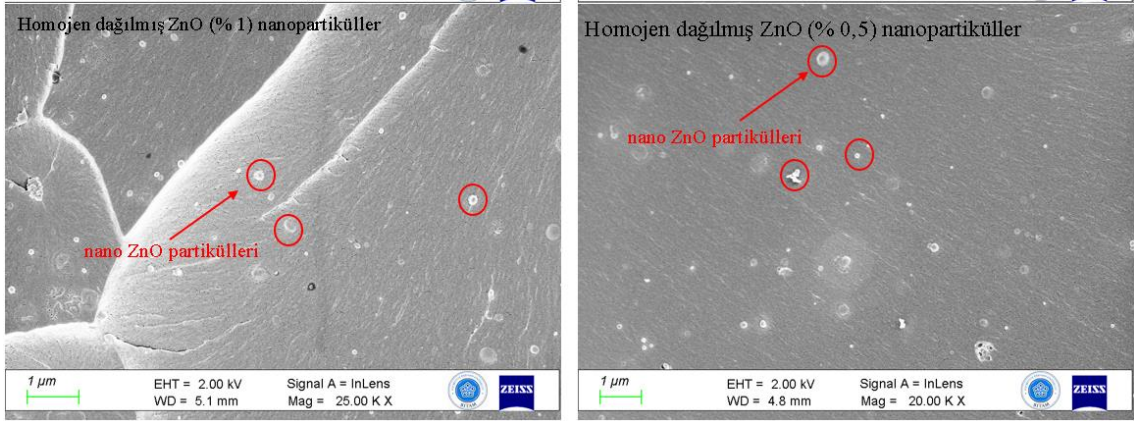
Saf epoksi ve nanopartikül konulmuş kompozitlerin çekme deneyi sonucunda oluşan kırılma yüzeylerinin SEM aracılığı ile alınan görüntüleri yukarıdaki Şekil 6.15 verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde saf epoksi kompozit te en iyi mirror bölgesi görülmektedir. Artan nanopartikül miktarıyla prüzlülüğün arttığı ve hackle bölgesinin daha da büyüdüğü görülmektedir. Mist bölgeleri incelendiğinde ise çatlak boylarının saf epoksidede daha belirgin olduğu görülmektedir. Numunelerde plastik deformasyon bölgelerinde gevrek kırılmaya bağlı yüzeyler nanopartikül artmasıyla dahada genişlemiştir. %1.5 nanopartikülü içeren kompozitin daha sık ve yoğun bir şekilde dağıldığı diğer numunelerle kıyaslandığında görülmektedir. Bu duruma da bakılarak Z15 in daha fazla enerji absorbe ettiğini söyleyebiliriz. Tabi bu görüntülerin bu şekilde oluşmasının sebebinin nanopartikül şekli, miktarı ve dağılmasına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir (Ayatollahi, Shadlou, & Shokrieh, 2011; Subhani et al., 2015). Bu şekilde yüzey prüzlülüğü çekme kuvvetini arttırdığını söylemiştik ama %1 nanopartiküle sahip olan numunenin en yüksek çıkma sebeplerinden biri %1.5 nanopartikül ilaveli kompozitin aglomera yapısının çekme testinde mukavemet ve tokluğunu etkileğini gözlemlenmiştir. Aşağıdaki nanokompozitlerden alınan görüntülerde %0.5 ve %1 nano patikül ilaveli numunelerin içerisinde nanopartikülün homojen dağılımı görünmektedir. Fakat %1.5 nanopartikül ilaveli nanokompozitin görüntülerinde ise topaklanma(aglomera) yapısı açık bir Şekil 6.16 de görülmektedir.



Şekil 6.16. Hasar Yüzeyleri SEM görüntüleri; homojen dağılma ve topaklanma (aglomera)

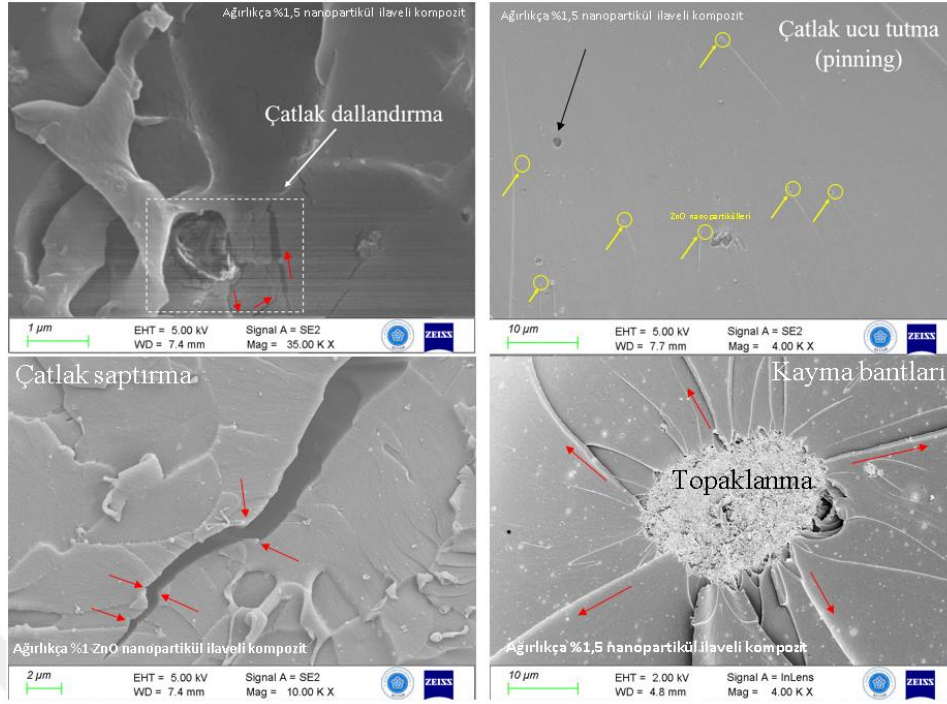
Epoksi matrise takviye edilen nanopartiküller kompozit yapı içerisinde mukavemet mekanizmalarıyla mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Çatlak saptırma(crack deflection), kayma bantları(shear bands), çatlak ucu pimleme (crack front pinning), plastik deformasyon (plastic deformation) ve çatlak

eğilmesi(crack bowing) gibi tokluk artırma işlevi gören çeşitli mekanizmaların oluşmasına sebebiyet vermektedir(Ghadami, Dadfar, & Kazazi, 2016; Subhani et al., 2015). Epoksi kompozitlerin SEM görüntüleri incelendiğinde bunlar gözlemlenmiştir. Bu mekanizmaları incelemek için özellikle kompozitlerden mist ve hackle bölgelerinden de görüntü alınmıştır.



Şekil 6.17. Hasar Yüzeyleri SEM görüntüleri homojen dağılma

Görüntüler incelendiğinde bir başka mekanizma olan çatlak ucu tutma(crack front pinning) aşağıdaki görselde görülmektedir. Bu mekanizmaya göre çatlak ucu ilerlemesi sırasında rijit partiküller arasında çatlak ucu ön kısmında meydana gelen eğilme meydana gelir, karşılaştığı nanopartikül bu ilerlemeyi tutarak ilerlemesine engel olur. Aynı zamanda bu işlem sırasında ikincil çatlaklarda meydana gelmektedir ve yeni kırılma yüzeyleri oluşmaktadır. Bu ikincil çatlaklarda nanopartikül engelini aştıktan sonra birleşip kuyruk şeklinde iz bırakmaktadır. Sonuç olarak soğurula enerji miktarı artmakta ve toklukta buna bağlı artmış bulunmaktadır(Goyat, Suresh, Bahl, Halder ve Ghosh, 2015b; Zhao ve diğerleri, 2008b).



Şekil 6.18. Hasar Yüzeyleri SEM görüntüleri; Çatlak ucu pimleme, çatlak körleme, nano çatlak ilerlemesi, çatlak dallandırma

Çatlak eğme /saptırma mekanizması çatlak yolunun farklı bir yöne eğilmesini ve bu şekilde ilerlemenin durdurulmasını sağlayarak kırılmadan önce daha fazla enerji emilimine neden olmakta ve yapıdaki tokluğun artmasına katkı sağlamaktadır. Yukarıdaki Şekil 6.16 da bu yapılar görülmektedir(Halder et al., 2017). Çatlak eğme mekanizmalarının ve çatlak körleme mekanizmalarının oluşumu tokluk ve maksimum çekme dayanımını arttırdığı düşünülmektedir. Yukarıdaki şekilde %1 nanopartikülü ilaveli kompozitin içinde çatlak saptırma mekanizması görülmektedir(Battistella et al., 2008). Çekme testlerimizde çekme mukavemeti en iyi sonuç veren numunemizde yine içerisinde %1 nanopartikül bulunan kompozitimizdi. Buda yukarıdaki görüşü doğrulamaktadır.

Partikül ve matris arasındaki ara yüzeyin kuvvetli olması bu mekanizmaların meydana gelmesinde oldukça önem arz etmektedir(Dittanet ve Pearson, 2012). Ama nanopartiküllerinin aglomera olması durumunda nanopartiküllerin özelliklerinden biri olan yüzey alanının değiştiği ve bunun sonucunda yüzeyinde bulunan atom sayısının azalıp nanopartiküllerin matris ile arasındaki etkileşimi zayıflattığı söylenebilir(Hanemann ve Szabó, 2010). Bunun etkisini %1.5 nanopartikül ilaveli kompozitin çekme testinde agloera etkisinden dolayı olduğu düşünülen mukavemetinin azalması örnek gösterilebilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasının amacı kataforez uygulamasında ki astar boya katında yapılan kaplama uygulamasına muadil olarak yüksek dirençli ve aynı zamanda ise mekanik ve korozif özellikleri yileştirilmiş bir kaplama yöntemi gerçekleştirmektir. Bu kapsamda nano ZnO ilavesi epoksi reçinenin mekanik ve korozif özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Ağırlıkça en uygun oranda ve literatür taramasında %ZnO ilavesinin belirnebilmesi için %0.5 %1 ve %1.5 oranında nanopartikül ilavesi epoksiye eklenmiştir. Çekme testleri sonucunda en iyi oran %1 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamında ise saclar üzerine kaplanan saf ve nanopartikül ilaveli epoksinin mekanik ve korozif özellikler nasıl geliştirdiği incelenmiştir.

Mekanik özelliklerde darbe, çizilme, konik bükme testleri korozyon için ise salt spre ve aside daldırma testleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ise maddeler halinde aşağıdaki gibidir;

- Ağırlıkça %1 nanopartikülü ilaveli epoksi matrisin çekme mukavemeti saf epoksiye göre %17.42 artmıştır. Uzaması saf epoksiye göre %8 azalmıştır.
- Ağırlıkça nanopartikül ilavesiyle oranın artmasıyla bir mukavemet artışı gözlemlenmeyip sadece mukavemet bakımından %1 oranındaki nanopartikül ilaveli kompozitte iyileşme görülmüş diğerlerinde düşüş görülmüştür. %0.5 nanopartikül ilavelide %2 azalma %1.5 de ise %0.9 azalma görülmüştür.
- Uygulanan mekanik testlerde saf epoksiye oranla nanopartikül ilave oranı arttıkça darbe çizilme ve konik bükme testlerinde iyileşme gözlemlenmemiştir. Ayrıca oran arttıkça kötüleşme görülmüştür. Mekanik özelliklerde nano ZnO herhangi bir iyileşmeye katkıda bulunmamıştır.
- Korozyon testlerinde hem aside daldırma olsun hem salt spre testi olsun ağırlıkça %1 nanopartikül ilaveli epoksi kaplama en iyi sonucu göstererek korozyona karşı direnç sağlamıştır. Burada en kötü özelliği ise %1.5 göstermektedir. Sebebinin numunedeki nanopartikül oranının artmasıyla meydana gelebilecek olan aglomera etkisi olduğu düşünülmektedir.
- Numunelerin DSC analizlerinde elde edilen camı geçiş sıcaklığı (T_g) değerlerine göre epoksi kompozitlerde en yüksek sonucu 60.5°C ile % 1 nanopartikülü ilaveli kompozit göstermiştir.

- Saf epoksi ve nanopartikül ilaveli kompozitlerin SEM analizleri incelendiğinde patrikül ilavesi ile yüzey püzlülüğünün doğru orantılı arttığı gözlemlenmiştir. Yüzey püzlülüğünün artması malzemenin tokluğunun artışında katkı sağlamıştır fakat %1.5 nanopartikül ilaveli kompozitteki azalma sebebi ise aglomera yapısından kaynaklanmaktadır.
- Kompozitlerin SEM görüntülerinde homojen dağılan nanopartiküllerin tokluk ve mukavemete olan pozitif etkisi yapılan testlerde görünmüş en iyi homojen dağılma sahip olan %1 nanopartikül ilaveli kompozit ise bu sonuçları doğrulamaktadır.

7.2. Öneriler

Yapılan bu çalışma sonucunda ilerleyen dönemlerde yapılacak çalışmalara aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Kaplama uygulamasında %0.5 %1 ve %1.5 oranlarında çalışmalar yapılmıştır. %1.5 nanopartikül ilavesinde aglomera etkisi tespit edilmiştir. Daha düşük nanopartikül ilaveleri ile incelemeler yapılarak çalışmalar yapılabilir.
- Bu çalışmada postkür uygulaması yapılmamıştır. İlerleyen çalışmalarda aynı oranlarda nanopartikül ilavesi ve postkür uygulaması ile çalışma yapılarak postkürün etkisi incelenip postkürsüz çalışmamız ile kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

- Acar, H. Y. (2015). *Corrosion prevention of carbon steel and aluminium metals by pani-ceo2 nanocomposite coatings*. Istanbul Technical University, Istanbul.
- Aksun, E. (2014). *Poli(n-metilpirol) 'ün sodyum dodesilsülfat varlığında paslanmaz Çelik yüzeyinde elektrokimyasal sentezi ve korozyon koruma performansının incelenmesi*. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Ayatollahi, M. R., Shadlou, S., & Shokrieh, M. M. (2011). Fracture toughness of epoxy/multi-walled carbon nanotube nano-composites under bending and shear loading conditions. *Materials & Design*, 32(4), 2115-2124.
doi:10.1016/j.matdes.2010.11.034
- Aydın, H. (2009). *Corrosion inhibition by resin-conducting polymer based copolymer and composites coatings*. İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Aydın, H., 2009. *Corrosion inhibition by resin-conducting polymer based copolymer and composites coatings* (Doctoral dissertation).
- Baer, D.R., Burrows, P.E. and El-Azab, A.A., 2003. Enhancing coating functionality using nanoscience and nanotechnology. *Progress in Organic Coatings*, 47(3-4), pp.342-356.
- Baker, H. (1992). *ASM handbook: alloy phase diagrams* (Vol. 3): ASM international.
- Bardi, U., Caporali, S., Craig, M., Giorgetti, A., Perissi, I., & Nicholls, J. (2009). Electrodeposition of aluminium film on P90 Li–Al alloy as protective coating against corrosion. *Surface and Coatings Technology*, 203(10-11), 1373-1378.
- Barletta, M., Vesco, S., Puopolo, M., & Tagliaferri, V. (2016). Graphene reinforced UV-curable epoxy resins: Design, manufacture and material performance. *Progress in Organic Coatings*, 90, 414-424. doi:10.1016/j.porgcoat.2015.08.013
- Battistella, M., Cascione, M., Fiedler, B., Wichmann, M., Quaresimin, M., & Schulte, Becker, O., Varley, R., & Simon, G. (2002). Morphology, thermal relaxations and mechanical properties of layered silicate nanocomposites based upon highfunctionality epoxy resins. *Polymer*, 43(16), 4365-4373.
- Bierwagen, G. P. *Organic Coatings for Corrosion Control*; ACS Symposium Series, American Chemical Society, Washington, DC: 1998; pp 689.
- Bierwagen, G. P. Reflections on Corrosion Control by Organic Coatings. *Prog. Org. Coat.* **1996**, 28, 43-48.

- Boumaza, M., Khan, R. and Zahrani, S., 2016. An experimental investigation of the effects of nanoparticles on the mechanical properties of epoxy coating. *Thin Solid Films*, 620, pp.160-164.
- Camargo, P. H. C., Satyanarayana, K. G., & Wypych, F. (2009). Nanocomposites: synthesis, structure, properties and new application opportunities. *Materials Research*, 12(1), 1-39.
- Cho, K.S., Hong, J.I. and Chung, C.I., 2004. Effects of ZnO nano particles on thermal stabilization of polymers. *Polymer Engineering & Science*, 44(9), pp.1702-1706.
- Coşkan, S. (2011). *Üniform korozyona maruz betonarme binalarda deprem davranışının incelenmesi*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi ZONGULDAK.
- Crosky, A., Kelly, D., Li, R., Legrand, X., Huong, N., & Ujjin, R. (2006). Improvement of bearing strength of laminated composites. *Composite structures*, 76(3), 260-271.
- Dhoke, S. K., Sinha, T. J. M., & Khanna, A. (2009). Effect of nano-Al₂O₃ particles on the corrosion behavior of alkyd based waterborne coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*, 6(3), 353-368.
- Dhoke, S.K., Bhandari, R. and Khanna, A.S., 2009. Effect of nano-ZnO addition on the silicone-modified alkyd-based waterborne coatings on its mechanical and heat-resistance properties. *Progress in Organic Coatings*, 64(1), pp.39-46.
- Dhoke, S.K., Rajgopalan, N. and Khanna, A.S., 2012. Effect of nano-zinc oxide particles on the performance behavior of waterborne polyurethane composite coatings. *International Journal of Material Science*, 2(2), pp.47-55.
- Dickie, R.A. and Floyd, F.L., 1986, January. Polymeric materials for corrosion control: an overview. In *ACS Symposium# 322, Polymeric Materials for Corrosion Control* (Vol. 8216, pp. 1-16).
- Dietsche, F., Thomann, Y., Thomann, R., & Mülhaupt, R. (2000). Translucent acrylic nanocomposites containing anisotropic laminated nanoparticles derived from intercalated layered silicates. *Journal of applied polymer science*, 75(3), 396-405.
- Dittanet, P. ve Pearson, R. A. (2012). Effect of silica nanoparticle size on toughening mechanisms of filled epoxy. *Polymer*, 53(9), 1890–1905.
doi:10.1016/j.polymer.2012.02.052
- EKER, B. and AKDOĞAN, A., CORROSION BEHAVIOR ON THE TYPES OF WELD JOINTS.

- El Saeed, A.M., El-Fattah, M.A. and Azzam, A.M., 2015. Synthesis of ZnO nanoparticles and studying its influence on the antimicrobial, anticorrosion and mechanical behavior of polyurethane composite for surface coating. *Dyes and Pigments*, 121, pp.282-289.
- Galliano, F., & Landolt, D. (2002). Evaluation of corrosion protection properties of additives for waterborne epoxy coatings on steel. *Progress in Organic Coatings*, 44(3), 217-225.
- Gan, Y. X. (2012). Structural assessment of nanocomposites. *Micron*, 43(7), 782-817.
- Gao, J., Li, J., Benicewicz, B. C., Zhao, S., Hillborg, H., & Schadler, L. S. (2012). The mechanical properties of epoxy composites filled with rubbery copolymer grafted SiO₂. *Polymers*, 4(1), 187-210.
- Gellings, P.J., 1985. *Introduction to corrosion prevention and control*. Delft University Press.
- Ghadami, F., Dadfar, M., & Kazazi, M. (2016). Hot-cured epoxy-nanoparticle-filled nanocomposites: Fracture toughness behavior. *Engineering Fracture Mechanics*, 162, 193-200.
- Goyat, M. S., Suresh, S., Bahl, S., Halder, S. ve Ghosh, P. K. (2015b). Thermomechanical response and toughening mechanisms of a carbon nano bead reinforced epoxy composite. *Materials Chemistry and Physics*, 166, 144–152. doi:10.1016/j.matchemphys.2015.09.038
- Goyat, M., Suresh, S., Bahl, S., Halder, S., & Ghosh, P. (2015). Thermomechanical response and toughening mechanisms of a carbon nano bead reinforced epoxy composite. *Materials Chemistry and Physics*, 166, 144-152.
- Halder, S., Prasad, T., Khan, N. I., Goyat, M., & Chauhan, S. R. (2017). Superior mechanical properties of poly vinyl alcohol-assisted ZnO nanoparticle reinforced epoxy composites. *Materials Chemistry and Physics*, 192, 198-209.
- Hanemann, T. ve Szabó, D. V. (2010). *Polymer-nanoparticle composites: From synthesis to modern applications*. *Materials* (C. 3). doi:10.3390/ma3063468
- Hu, R.-G., Zhang, S., Bu, J.-F., Lin, C.-J., & Song, G.-L. (2012). Recent progress in corrosion protection of magnesium alloys by organic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 73(2-3), 129-141.
- Jalili, M. M., Moradian, S., Dastmalchian, H., & Karbasi, A. (2007). Investigating the variations in properties of 2-pack polyurethane clear coat through separate incorporation of hydrophilic and hydrophobic nano-silica. *Progress in Organic*

- Coatings*, 59(1), 81-87. doi:10.1016/j.porgcoat.2007.01.018
- Jana, S., Salehi-Khojin, A., & Zhong, W.-H. (2007). Enhancement of fluid thermal conductivity by the addition of single and hybrid nano-additives. *Thermochimica acta*, 462(1-2), 45-55.
- Ji, Q. L., Zhang, M. Q., Rong, M. Z., Wetzel, B., & Friedrich, K. (2004). Tribological properties of surface modified nano-alumina/epoxy composites. *Journal of materials science*, 39(21), 6487-6493.
- Jin, F.-L., Ma, C.-J., & Park, S.-J. (2011). Thermal and mechanical interfacial properties of epoxy composites based on functionalized carbon nanotubes. *Materials Science and Engineering: A*, 528(29-30), 8517-8522.
- Jones, F. N., Nichols, M. E., & Pappas, S. P. (2017). *Organic coatings: science and technology*: John Wiley & Sons.
- K. (2008). Fracture behaviour of fumed silica/epoxy nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(12), 1851-1858.
- Kaftan, M. A. (2006). *Çelik yapılar da korozyon oluşumu ve korozyondan korunma yöntemlerinin maliyet açısından karşılaştırılması*. Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Kalendova, A., 2002. Mechanism of the action of zinc-powder in anticorrosive coatings. *Anti-corrosion methods and materials*, 49(3), pp.173-180.
- Kalendová, A., 2003. Effects of particle sizes and shapes of zinc metal on the properties of anticorrosive coatings. *Progress in Organic Coatings*, 46(4), pp.324-332.
- Karadirek, Ş. (2013). *AISI 316L boyama kazanlarındaki çukurcuk korozyonunun SO₄-- ve NO₃- inhibitörleri ile önlenmesi*. Yalova Üniversitesi, Yalova.
- Kotnarowska, D. and Przerwa, M., 2013. Assessment of the Erosive Wear Kinetics of Epoxy Coatings Modified with Nanofillers. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 3(01), p.89.
- Kotnarowska, D. and Wojtyniak, M., 2009. Influence of ageing on mechanical properties of epoxy coatings. In *Solid State Phenomena* (Vol. 147, pp. 825-830). Trans Tech Publications.
- Kouloumbi, N. and Moundoulas, P., 2002. Anticorrosive performance of organic coatings on steel surfaces exposed to deionized water. *Pigment & resin technology*, 31(2), pp.74-83.
- Ma, P.-C., Siddiqui, N. A., Marom, G., & Kim, J.-K. (2010). Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(10), 1345-

1367.

- Manivannan, S., Dinesh, P., Babu, S. K., & Sundarrajan, S. (2015). Investigation and corrosion performance of cast Mg–6Al–1Zn+ XCa alloy under salt spray test (ASTM-B117). *Journal of Magnesium and Alloys*, 3(1), 86-94.
- Mathiazhagan, A. and Joseph, R., 2011. Nanotechnology-a New prospective in organic coating-review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 2(4), p.225.
- Mostafaei, A. and Nasirpouri, F., 2013. Electrochemical study of epoxy coating containing novel conducting nanocomposite comprising polyaniline–ZnO nanorods on low carbon steel. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 48(7), pp.513-524.
- Mostafaei, A. and Nasirpouri, F., 2014. Epoxy/polyaniline–ZnO nanorods hybrid nanocomposite coatings: Synthesis, characterization and corrosion protection performance of conducting paints. *Progress in Organic coatings*, 77(1), pp.146-159.
- Mostafaei, A., & Nasirpouri, F. (2014). Epoxy/polyaniline–ZnO nanorods hybrid nanocomposite coatings: Synthesis, characterization and corrosion protection performance of conducting paints. *Progress in Organic Coatings*, 77(1), 146-159.
- Nguyen-Tri, P., Nguyen, T. A., Carriere, P., & Ngo Xuan, C. (2018a). Nanocomposite coatings: preparation, characterization, properties, and applications. *International Journal of Corrosion*, 2018.
- Nguyen-Tri, P., Nguyen, T. A., Carriere, P., & Ngo Xuan, C. (2018b). Nanocomposite Coatings: Preparation, Characterization, Properties, and Applications. *International Journal of Corrosion*, 2018, 1-19. doi:10.1155/2018/4749501
- Olad, A. and Nosrati, R., 2013. Preparation and corrosion resistance of nanostructured PVC/ZnO–polyaniline hybrid coating. *Progress in Organic Coatings*, 76(1), pp.113-118.
- Olad, A., Barati, M. and Behboudi, S., 2012. Preparation of PANI/epoxy/Zn nanocomposite using Zn nanoparticles and epoxy resin as additives and investigation of its corrosion protection behavior on iron. *Progress in Organic Coatings*, 74(1), pp.221-227.
- Othman, N.H., Yahya, W.Z.N., Ismail, M.C., Mustapha, M. and Koi, Z.K., Highly dispersed graphene oxide–zinc oxide nanohybrids in epoxy coating with improved

- water barrier properties and corrosion resistance. *Journal of Coatings Technology and Research*, pp.1-14.
- Oturaklı, Ş., 2010. *Characterization and corrosion performance of γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane modified epoxy polymer* (Master's thesis, İzmir Institute of Technology).
- Özeren, E., 2006. *Effects of Epoxy Resin and Hardener Type on Durability and Mechanical Properties of Epoxy Mixes* (Doctoral dissertation).
- Paksoy, A. K. (2008). *Çelik yapıların, atmosferik korozyona karşı korunmasında epoksi bazlı boya ve kaplamaların kullanımı ve performansı*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Perreux, D., & Suri, C. (1997). A study of the coupling between the phenomena of water absorption and damage in glass/epoxy composite pipes. *Composites Science and Technology*, 57(9-10), 1403-1413.
- Rajabi, L., Marzban, M., & Derakhshan, A. A. (2014). Epoxy/alumoxane and epoxy/boehmite nanocomposites: cure behavior, thermal stability, hardness and fracture surface morphology. *Iranian Polymer Journal*, 23(3), 203-215. doi:10.1007/s13726-013-0216-5
- Ramezanzadeh, B. and Attar, M.M., 2011. Studying the effects of micro and nano sized ZnO particles on the corrosion resistance and deterioration behavior of an epoxy-polyamide coating on hot-dip galvanized steel. *Progress in Organic Coatings*, 71(3), pp.314-328.
- Ramezanzadeh, B., Attar, M.M. and Farzam, M., 2010. Effect of ZnO nanoparticles on the thermal and mechanical properties of epoxy-based nanocomposite. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 103(2), pp.731-739.
- Ramezanzadeh, B., Attar, M.M. and Farzam, M., 2011. A study on the anticorrosion performance of the epoxy-polyamide nanocomposites containing ZnO nanoparticles. *Progress in Organic Coatings*, 72(3), pp.410-422.
- Ramezanzadeh, B. and Attar, M.M., 2011. Characterization of the fracture behavior and viscoelastic properties of epoxy-polyamide coating reinforced with nanometer and micrometer sized ZnO particles. *Progress in Organic Coatings*, 71(3), pp.242-249.
- Revie, R. W. (2008). *Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering*: John Wiley & Sons.
- Riaz, U., Nwaoha, C., & Ashraf, S. (2014). Recent advances in corrosion protective

- composite coatings based on conducting polymers and natural resource derived polymers. *Progress in Organic Coatings*, 77(4), 743-756.
- Roberge, P. R., & Eng, P. (2005). Corrosion Engineering. *Principles and Practice*, 1.
- Ozcan, U.E., Karabork, F., Yazman, S. and Akdemir, A., 2019. Effect of silica/graphene nanohybrid particles on the mechanical properties of epoxy coatings. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(6), pp.5723-5731.
- Samad, U.A., Alam, M.A., Chafidz, A., Al-Zahrani, S.M. and Alharthi, N.H., 2018. Enhancing mechanical properties of epoxy/polyaniline coating with addition of ZnO nanoparticles: Nanoindentation characterization. *Progress in Organic Coatings*, 119, pp.109-115.
- Saraloğlu, C. (2010). *Nano partiküller ile kuvvetlendirilmiş alüminyum metal matris kompozitlerin korozyon özelliklerinin belirlenme*. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Shi, X., Nguyen, T. A., Suo, Z., Liu, Y., & Avci, R. (2009). Effect of nanoparticles on the anticorrosion and mechanical properties of epoxy coating. *Surface and Coatings Technology*, 204(3), 237-245.
- Sinko, J. Challenges of Chromate Inhibitor Pigments Replacement in Organic Coatings. *Prog. Org. Coat.* **2001**,42, 267-282.
- Sinko, J., 2001. Challenges of chromate inhibitor pigments replacement in organic coatings. *Progress in organic coatings*, 42(3-4), pp.267-282.
- STANDARD, B., & ISO, B. (2006). Corrosion tests in artificial atmospheres—Salt spray tests.
- Sun, Y., Zhang, Z., Moon, K. S., & Wong, C. (2004). Glass transition and relaxation behavior of epoxy nanocomposites. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 42(21), 3849-3858.
- Tanattı, K. (2015). *sıcak ekstrüzyon ile üretilen AA7075 alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma ve korozyon dayanımına ısıl işlemlerin etkisi*. Karabük Üniversitesi Karabük.
- Torchio, S. (1980). Stress corrosion cracking of type AISI 304 stainless steel at room temperature; influence of chloride content and acidity. *Corrosion Science*, 20(4), 555-561.
- Uyanık, M. (2012). *SİC nanopartikül ilaveli asitli çinko kaplama banyolarında yapılan kaplamaların malzemenin korozyon direnci ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- ÜRGEN, M. 1989, Stainless steel corrosion, Corrosion science and techniques journal, Ankara, Turkey
- Verkholtantsev, V.V., 2003. Chemically active coatings. *European coatings journal*, (10), pp.32-37.
- Vu, P.G., Truc, T.A., Chinh, N.T., Tham, D.Q., Trung, T.H., Oanh, V.K., Hang, T.T.X., Olivier, M. and Hoang, T., 2018. Improvement of mechanical and dielectric properties of epoxy resin using CNTs/ZnO nanocomposite. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 18(4), pp.2830-2837.
- Wetzel, B., Hauptert, F., & Zhang, M. Q. (2003). Epoxy nanocomposites with high mechanical and tribological performance. *Composites Science and Technology*, 63(14), 2055-2067.
- Wicks, Z. W. J.; Jones, F. N.; Pappas S. P., Wicks D. A. *Organic Coatings Science and Technology*, 3rd ed.; JohnWiley and Sons Inc., 2007; Chapter 13.
- Wulf, M., Wehling, A. and Reis, O., 2002, September. Coatings with self-cleaning properties. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 187, No. 1, pp. 459-468). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Xu, T. and Xie, C.S., 2003. Tetrapod-like nano-particle ZnO/acrylic resin composite and its multi-function property. *Progress in Organic Coatings*, 46(4), pp.297-301.
- Yang, L., Liu, F., & Han, E. (2005). Effects of P/B on the properties of anticorrosive coatings with different particle size. *Progress in Organic Coatings*, 53(2), 91-98.
- Yang, L.H., Liu, F.C. and Han, E.H., 2005. Effects of P/B on the properties of anticorrosive coatings with different particle size. *Progress in Organic Coatings*, 53(2), pp.91-98.
- Yılmaz, M. (2010). *CORROSION RESISTANCE ANALYSIS OF ELECTROSTATIC POWDER COATED LOW CARBON STEEL SHEETS* MARMARA UNIVERSITY, ISTANBUL.
- Zhao, S., Schadler, L. S., Duncan, R., Hillborg, H. ve Auletta, T. (2008b). Mechanisms leading to improved mechanical performance in nanoscale alumina filled epoxy. *Composites Science and Technology*, 68(14), 2965–2975.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Kubilay ASKERDEN
Uyruğu : T.C. Vatandaşı
Doğum Yeri ve Tarihi : Hatay / 11.08.1994
Telefon : 05517178141
e-mail : mkaskerden@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Naim Atakaş Anadolu Lisesi, Kırıkhan, Hatay	2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2018	Söyler Mühendislik	Doğalgaz Mühendisi
2018-2018	AYD Yedek Parça	Ar-Ge Mühendisi
2018-2019	Globaltech Makina	Kontrol Mühendisi
2019-2020	Mesa Makina	Üretim ve Bakım Sorumlusu

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR