



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEL ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE
ZN/AL 85/15 KAPLANMIŞ S355 ÇELİĞİNİN
MEKANİK VE KOROZİF ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Buket ÇAKAR AÇIKGÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Buket ÇAKAR AÇIKGÖZ tarafından hazırlanan “Tel Alev Püskürtme Yöntemi ile Zn/Al 85/15 Kaplanmış S355 Çeliğinin Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 22/03/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN

.....

Danışman

Prof. Dr. Şerafettin EKİNCİ

.....

Üye

Doç. Dr. Mürsel EKREM

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü tarafından 22401149 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

İmza

BUKET ÇAKAR AÇIKGÖZ

Tarih: 22/03/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEL ALEV PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE ZN/AL 85/15 KAPLANMIŞ S355 ÇELİĞİNİN MEKANİK VE KOROZİF ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Buket ÇAKAR AÇIKGÖZ

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Prof. Dr. Şerafettin EKİNCİ

2024, 77 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Şerafettin EKİNCİ

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN

Doç. Dr. Mürsel EKREM

Tel alev sprej kaplama, günümüzde metaller için önemli bir yüzey işleme ve koruma yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Korozyon, metaller üzerinde malzemenin dayanıklılığının azalmasına veya mukavemetinin düşmesine, estetik bozulmalara, fonksiyonel kayıplara, maliyet artışlarına neden olan olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Metal yüzeylerde görülen paslanma, renk değişimi ve yapısal bozulmalar, dayanıklılığı azaltabilmekte, verimliliği düşürebilmekte ve maliyetleri artırabilmektedir.

Bu çalışmada kumlanmış S355 çeliği üzerinde tel alev püskürtme yöntemi kullanılarak 85/15 Zn-Al alaşımlı kaplama tabakasının koruma etkisi incelenmiştir. Yüzey kaplama işlemi 80,160 ve 240 mikron kalınlıkta, uygulama mesafesi 12 cm ve 24 cm olarak uygulanmıştır. Ayrıca deney sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için kaplamasız numuneler hazırlanarak ve tüm testler kaplamasız numunelere de uygulanmıştır. Kaplama işlemi sırasında altlık malzeme kalınlığı ve diğer kaplama parametreleri sabit tutulmuştur. Bu parametreler ile tüm numuneler sertlik, yüzey pürüzlülüğü, yapışma, tuza ve neme dayanım ve darbe testlerine tabi tutulmuştur.

Sonuç olarak farklı kaplama kalınlıkları ve püskürtme mesafeleri, brinell sertlik test sonuçlarına göre malzemenin sertliği üzerinde belirgin etkiler göstermiştir. İnce kaplamalar genellikle çeliğin sertliğini artırmaktadır. Yapışma testi sonuçları, tüm numunelerin mükemmel yapışma özelliklerine ve yüksek çizik direncine sahip olduğunu göstermiştir. Tuz püskürtme ve nem püskürtme test sonuçları, plakalar arasında değişen korozyon direncini gösterir, kaplamasız plakanın yüksek kırmızı pas oranı, ana metalin korozyona karşı hassasiyetini vurgulamaktadır. Düşük hızda darbe testi sonuçları, ZnAl8515 tel ile yapılan alev püskürtme kaplamasının çelik levhaların darbe dayanımını olumsuz etkilemediğini göstermiş, bu da genellikle korozyona karşı koruma amaçlı kullanılan ZnAl8515 kaplamalarının darbe direncini olumsuz etkilemediğini doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Düşük Hızda Darbe Testi, Neme Dayanım Testi, Tel Alev Sprej, Tuz Korozyon, ZnAl 85/15 Kaplama

ABSTRACT

MS THESIS

MECHANICAL AND CORROSIVE PROPERTIES INVESTIGATION OF S355 STEEL COATED WITH WIRE FLAME SPRAY METHOD USING ZN/AL 85/15

Buket ÇAKAR AÇIKGÖZ

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

Advisor: Prof. Dr. Şerafettin EKİNCİ

2023, 77 Pages

Jury

Prof. Dr. Şerafettin EKİNCİ

Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN

Assoc. Prof. Dr. Mürsel EKREM

Flame spray coating is currently a significant surface treatment and protection method for metals. Corrosion has a negative effect on metals, causing a decrease in the durability of the material or a decrease in its strength, aesthetic deterioration, functional losses and cost increases. Rust, color changes, and structural damage on metal surfaces can reduce durability, lower efficiency, and increase costs.

In this investigation, the protective effect of an 85/15 Zn-Al alloy coating layer applied using flame spray coating method on sandblasted S355 steel has been investigated. Surface coating processes were applied with thicknesses of 80, 160, and 240 microns, and application distances of 12 cm and 24 cm. Additionally, to enable result comparisons, uncoated samples were prepared, and all tests were conducted on both coated and uncoated samples. Substrate material thickness and other coating parameters were kept constant during the coating process. All samples were subjected to hardness, surface roughness, adhesion, salt and humidity resistance, and impact tests.

In results, different coating thicknesses and spray distances show significant effects on the hardness of the material according to Brinell hardness test results. Thin coatings generally increase the hardness of the steel. Adhesion test results indicate that all samples have excellent adhesion properties and high scratch resistance. Salt spray and humidity spray test results demonstrate varying corrosion resistance among the plates, emphasizing the sensitivity of uncoated plates to red rust, indicating susceptibility to corrosion. Low-speed impact test results show that flame spray coating with ZnAl8515 wire did not negatively affect the impact resistance of steel plates, confirming that ZnAl8515 coatings, commonly used for corrosion protection, do not adversely affect impact resistance.

Keywords: Humidity Resistance Test, Low-Speed Impact Test, Salt Corrosion, Wire Flame Spray, ZnAl 85/15 Coating

ÖNSÖZ

Korozyon metallerin ömrünü kısaltan ve büyük mali kayıplara yol açan bir durumdur. Tel alev spreyci kaplama yöntemi metallerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve kullanım ömrünün artırılması için önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada elde edilen verilerin literatüre katkı sağlaması umulmaktadır.

Çalışmalarımdaya bana destek veren ve akademik birikimi ile bana yol gösteren, danışmanım Prof. Dr. Şerafettin EKİNCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaya desteklerini esirgemeyen Van Bouwel Verkoop & Service firmasına ve bana her konuda yardımcı olan eşim Kubilay AÇIKGÖZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca eğitimim ve tez çalışmam sırasında desteklerini eksik etmeyen annem Fatma ÇAKAR'a, babam Aygün ÇAKAR'a, kardeşim Serpil ÇAKAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Buket ÇAKAR AÇIKGÖZ
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaplama	1
1.1.1. Korozyondan koruma amaçlı kaplamalar	2
1.1.2. Sıvı ve yarı sıvı halden yapılan kaplamalar	2
1.2 Termal Sprey.....	3
1.2.1 Alevle püskürtme	4
1.2.1.1. Tel alev püskürtme.....	5
1.2.1.2. Toz alev püskürtme.....	6
1.2.2. Ark sprej.....	6
1.2.3. Plazma sprej	7
1.2.4. Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF)	8
1.3. Alev Püskürtme.....	8
1.3.1. Alev püskürtme yönteminin tarihçesi	8
1.3.2. Alev püskürtme cihazı	9
1.3.3. Kaplama özellikleri.....	9
1.3.4. Püskürtme şartları	10
1.3.5. Püskürtme öncesi yüzey hazırlığı	10
1.3.6. Püskürtme öncesi yüzey hazırlığı-kumlama	11
1.3.7. Püskürtme sonrası işlemler	11
1.4. Korozyon	12
1.4.1. Korozyon oluşumu.....	12
1.4.2. Korozyondan korunma	12
1.4.3. Korozyon türleri.....	12
1.4.3.1. Galvanik korozyon.....	13
1.4.3.2. Çukurcuk korozyonu.....	13
1.4.3.3. Erozyon korozyonu.....	13
1.4.3.4. Taneler arası korozyon.....	14
1.4.3.5. Üniform korozyon.....	14
1.4.4. Korozyonun dayanım üzerindeki etkisi	14
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal	21
3.1.1. Kaplama altlık malzemesi.....	21
3.1.2. Kaplama teli	21
3.1.3. Yanıcı-yakıcı gaz	22

3.1.4. Tel alev sprej tabancası	23
3.1.5. Kaplama kalınlık ölçüm cihazı	23
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. Numunelerin hazırlanması	24
3.2.2.1. Yüzeyin ön temizliği.....	24
3.2.2.2. Kumlama ile yüzey temizliği	24
3.2.2.3. Tel alev sprej yöntemiyle kaplanma	25
3.2.2. Sertlik deneyi	26
3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	27
3.2.4. Yapışma (çizik) testi	28
3.2.5. Yapay atmosferde tuz püskürtme deneyleri.....	29
3.2.6. Neme dayanım deneyleri	31
3.2.7. Düşük hızda darbe testi.....	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	33
4.1. Sonuçlar	33
4.1.1. Sertlik deneyi sonuçları	33
4.1.2. Yüzey pürüzlülük test sonuçları	34
4.1.3. Yapışma (çizik) testi sonuçları	35
4.1.4. Yapay atmosferde tuz püskürtme deneyleri sonuçları	39
4.1.5. Nem testi sonuçları	46
4.1.6. Düşük hızda darbe deneyleri sonuçları	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
5.1. Sonuçlar	59
5.2. Öneriler	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μm	Mikron
m/s	Metre/Saniye
$^{\circ}\text{C}$	Derce Celsius
mm	Milimetre
Mpa	Mega paskal
Rm	Gerilme direnci
Rp	Kopma direnci
kJ/mm^3	Kilojoule/Milimetreküp
cm/sn	Santimetre/Saniye
kJ/cm	Kilojoule/Santimetre
atm	Atmosfer Basıncı
kgf	Kilogram Kuvveti
sn	Saniye
RA	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
λ_c	Kesme uzunluğu
mm/sn	Milimetre/Saniye
RH	Bağıl nem
j	Joule
kg	Kilogram
HB	Brinell sertlik değeri
N	Newton
N.Sn	Newton.Saniye
N/M	Newton/metre

Kısaltmalar

Zn	Çinko
Al	Alüminyum
ZnAl 85/15	Kütlece %85 çinko, %15 alüminyum alaşımı
Cl	Klor
Br	Brom
NaCl	Sodyum klorür
NaOH	Sodyum hidroksit
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Mangan
S	Kükürt
P	Fosfor
Cr	Krom
Mo	Molibden
Nb	Niyobyum
V	Vanadyum
Ti	Titanyum
Ni	Nikel
Cu	Bakır
N	Azot
Pb	Kurşun

Cd	Kadmiyum
Sn	Kalay
Fe	Demir
SA	Yüzey temizliği standardı
NSS	Nötral tuz püskürtme
HVOF	Yüksek hızlı oksijen yakıt



1. GİRİŞ

İnsanlık, geçmişten günümüze kadar malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirerek onlara yeni nitelikler kazandırmayı veya estetik açıdan çekici hale getirmeyi amaçlamıştır. Şu anki dönemde, malzeme yüzeylerini değiştirmeye yönelik uygulamalar, "yüzey ve temel malzeme tasarımını bir araya getirerek, her ikisinin bir arada sağlayamayacağı özellikleri ekonomik bir şekilde kazandırabilen" yöntemler olarak adlandırılabilir. Yüzey işleme teknolojileri, özellikle 1990'lı yıllardan bu yana büyük bir önem kazanmış ve günümüzde klasik ve modern teknolojilere dayalı olarak devam eden bir evrim geçirmektedir. Bu gelişim, klasik ve modern teknolojilere dayalı yüzey işlemlerinin önemini arttırmaktadır (Çakmak, 2021; Dilek, 2021).

1.1. Kaplama

Kaplama, nesnenin dış yüzeyine ilave bir tabakanın uygulanması sürecidir. Bu katman, genellikle koruyucu, dekoratif, fonksiyonel veya estetik amaçlar taşıyan özel bir eklemeyi temsil eder. Kaplama, malzemenin özelliklerini geliştirmek, dayanıklılığını artırmak, koruma sağlamak, özel fonksiyonlar eklemek veya görsel çekiciliği iyileştirmek için gerçekleştirilir. Bu özel işlem, malzemenin çeşitli dış etkenlere karşı direncini artırarak uzun ömürlülüğünü güvence altına alır. Korozyona karşı koruyucu kaplamalar metal nesnelerin çeşitli çevresel etkenlere karşı dayanıklılığını sağlamak amacıyla kullanılır. Estetik kaplamalar ise nesnenin görünümünü özelleştirir, renk, doku veya desen ekleyerek estetik zenginlik kazandırır. Fonksiyonel kaplamalar, malzemenin özel ihtiyaçlara uygun hale getirilmesini sağlar. Isıl yalıtım, elektriksel iletkenlik veya manyetik özellikler eklemek gibi özel işlevsellikler, kaplama yöntemleriyle başarılı bir şekilde entegre edilebilir. Kaplama işlemleri, geniş bir endüstri yelpazesinde kullanılarak malzemelerin performansını ve kullanım alanlarını çeşitlendirir. Kaplama; malzemenin dayanıklılığını artırma, özel işlevsellik kazandırma ve estetik çekiciliğini iyileştirme amacıyla gerçekleştirilen bir özelleştirme sürecidir. Bu, malzeme mühendisliğinde ve endüstriyel uygulamalarda kapsamlı bir rol oynar, malzemelerin çeşitli taleplere uyum sağlamasını ve özelliklerini optimize etmesini sağlar (Bülbül, 2014).

1.1.1. Korozyondan koruma amaçlı kaplamalar

Korozyon, metallerin oksidasyonu veya diğer kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan hasar türüdür. Korozyon koruma amaçlı kaplamalar, malzemelerin korozyona karşı korunması için uygulanan kaplama türleridir. Bu kaplamalar, genellikle metal yüzeyleri çeşitli ortamlardan (su, hava, kimyasallar) korumayı amaçlar.

Tüm malzemeler zaman içinde kullanım ortamına bağlı olarak korozyon ve aşınma gibi deformasyonlara uğramaktadır. Bu durumun engellenmesi için deformasyona uğrayan malzemeler değiştirilmiş veya daha pahalı malzemelerden üretilmeye başlanmıştır. Maliyeti büyük oranda arttıran bu yöntemlerin yerine malzemeleri kaplama fikri ortaya çıkmıştır.

Korozyondan koruma amaçlı kaplamalar genellikle sıvı formda olan boya, vernik veya polimer tabakalarını içeren sıvı ve yarı sıvı kaplamalar, metal yüzeylere elektrostatik yüklenmiş toz partiküllerin püskürtülmesiyle uygulanan toz kaplamalar ve metal yüzeyin bir başka metal tabakası ile kaplanması prensibine dayanan galvanik kaplamalar olarak sınıflandırılmaktadır (Dorfman, 2012; Bülbül, 2014).

1.1.2. Sıvı ve yarı sıvı halden yapılan kaplamalar

Sıvı ve yarı sıvı halden yapılan kaplamalar, malzeme yüzeyine genellikle likit veya akışkan formda olan kaplama maddelerini birikilmesi yöntemine dayanan kaplama türüdür. Bu kaplamalar genellikle fırça, rulo, püskürtme veya daldırma gibi yöntemlerle uygulanabilirler. Termal sprey veya ısı püskürtme, yüksek sıcaklıklarda eritilen malzemenin bir nesnenin yüzeyine püskürtülmesi işlemidir.

Isıl püskürtme yöntemleri malzemelerin yüzey kaplamasında kullanılan işlemlerden bir tanesidir. Bu yöntemle atlık malzemenin yüzey özelliklerinin korozyon başta olmak üzere aşınma ve sürtünmeye daha dayanıklı olacak şekilde geliştirilmesi amaçlanmıştır (Özel, 2013).

Metal ve metal alaşımı malzemeler için yüzey özelliklerinin yetersiz kaldığı durumlarda plastikler, kompozitler, ileri teknoloji seramikleri veya altlık malzemedan daha gelişmiş özellikteki diğer malzemeler devreye girmektedir (Kaya ve ark., 2017).

Malzemelerin çevresel şartlara uyum gösterebilmesi ve yüzey özelliklerinin geliştirilebilmesi için uzay ve havacılık başta olmak üzere birçok alanda termal sprey kaplamalar kullanılmaktadır (Atar ve Özgürlük, 2021).

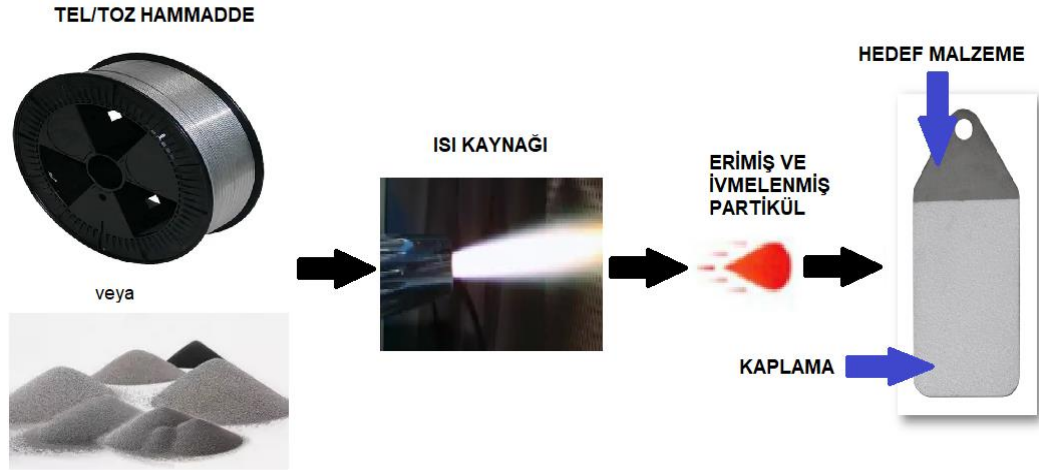
Bu çalışmada üstün anti korozif özellikleriyle bilinen ZnAl 85/15 tel formundaki kaplama malzemesi, S355 malzemeden hazırlanmış altlık numuneler üzerine farklı sprej mesafesi ve kaplama kalınlıklarında tel alev sprej püskürtme yöntemiyle kaplanarak, kaplanan numunelerin tuz ve nem korozyon dayanımı, sertlik, darbe ve yapışma özellikleri araştırılmıştır. Bu parametreler aynı anda değiştirildiğinde korozyon performansı, darbe direnci ve sertliğin nasıl etkileneceğini inceleyen ve bu üç önemli parametrenin birbirleriyle ilişkisini ortaya koyan herhangi bir akademik çalışma literatürde bulunmamaktadır.

Çalışma sonucunda belirlenen parametrelerin endüstride bu yöntemle kaplama yapan birçok firma için yol gösterici olması beklenmektedir.

Çalışmada sprej mesafesi ve kaplama kalınlığı aralığının, kaplama süresince sabit tutulacak parametrelerin ve bağımlı-bağımsız değişkenlerin belirlenmesi için kaynak taraması yapılmıştır.

1.2 Termal Sprej

Termal püskürtme aşınma, erozyon, korozyon, gibi deformasyonlara direnç sağlamak için kullanılan, arzu edilen yüzey özelliklerini sağlamak için kullanılan bir teknolojidir. Bu yöntem endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Hasarlı ya da aşınmış bileşenleri onarmak veya yeni bileşenlerin kullanım ömrünü uzatmak için kullanılabilir. Termal püskürtme yöntemleri ısı yardımıyla eritilmiş ve basınçlı hava ile hızlandırılmış parçacıkların sürekli bir kaplama oluşturacak şekilde istenilen yüzeyde biriktirilmesi işlemidir. Termal püskürtme, bir malzemenin yüzey özelliklerini, aşınma direncini, sıcaklık dayanımını artırmak veya korozif etkilere karşı koruma sağlamak amacıyla kullanılabilir. Ayrıca, endüstriyel kaplama, termal bariyer kaplamaları, elektrik yalıtımı ve benzeri uygulamalarda da yaygın olarak kullanılır. Şekil 1.1’de termal sprej işlemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Termal sprej kaplamanın şematik gösterimi

Bu yöntemlerle çelikler, nikel alaşımları, seramik, tungsten, bakır gibi birçok malzeme püskürtülebilmektedir ve ortalama 50-750 mikron aralığında çeşitli kalınlıklarda kaplamalar üretilebilmektedir (Anonim a, 2023). Termal sprej kaplama sektörü sürekli bir gelişim içerisinde ve dinamik bir pazar yapısına sahiptir. Bu durumun sebebi performans artırma, maliyet düşürme, güvenilirlik geliştirme gibi sebeplerle açıklanabilmektedir. Temel termal sprej kaplama yöntemleri tel ve toz alev sprej, ark sprej, plazma sprej, yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF), soğuk sprejdir (Altuncu ve Üstel, 2017).

1.2.1 Alevle püskürtme

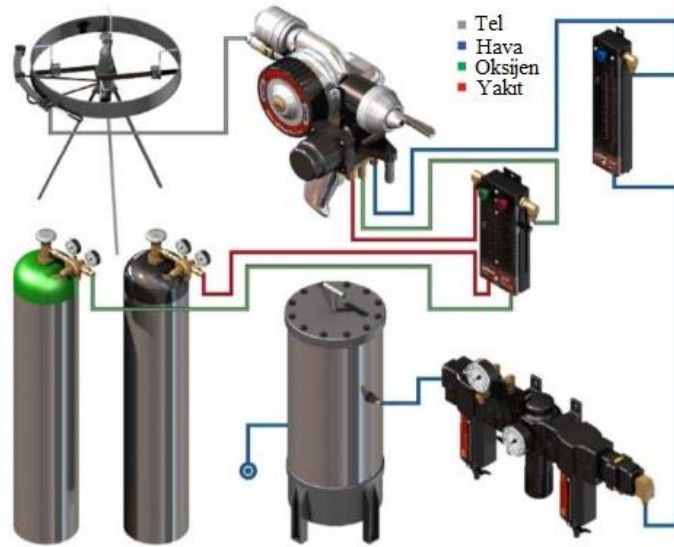
Alev sprej yöntemi ilk geliştirilen ve halen yaygın olarak kullanılan bir termal sprej yöntemidir. Kaplama malzemesi tel veya toz formunda olabilmektedir. Tel formundaki kaplama malzemelerinin erime noktası daha yüksektir ayrıca daha yoğun ve daha pürüzsüz kaplamalar üretebilmektedir. Alev püskürtme yönteminde asetilen veya propan yakıt gazı ile oksijenin yanmasıyla tel veya toz formundaki kaplama malzemesini eritilerek basınçlı hava ile hızlandırıldıktan sonra kaplama oluşturmak için püskürtülmektedir. Tel veya toz formundaki kaplama malzemesi püskürtme tabancasının nozuluna mekanik olarak beslenmektedir.

Tipik bir alev sprej yönteminde kullanılan temel bileşenler hava ve gaz beslemesi, gaz hortumları, oksijen, hava ve yakıt için gaz regülatörleri, püskürtme tabancasıdır. Bu yöntem ile %85 ila %98 aralığında kaplama yoğunluğu saplanabilmektedir (Davis, 2004). Bu yöntemle oluşturulan kaplamalar yüksek darbe ve

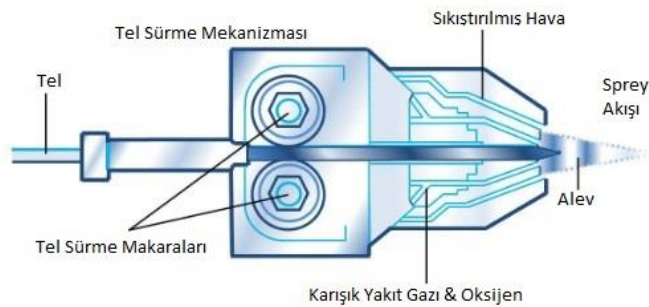
aşınma direnci göstermektedir. Alev püskürtme yöntemi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında en ucuz ve kolay uygulanabilir yöntemlerdendir. Ortalama alev sıcaklığı 3000 °C ve erimiş partiküller 2000 °C'dir. Erimiş partiküller kaplandığı yüzeye 100 m/sn hızla çarpmaktadır (Çalışkan, 2004).

1.2.1.1. Tel alev püskürtme

Püskürtme malzemesi tel formundaki bu yöntemde kaplama teli sürücüler yardımıyla püskürtme tabancasının nozuluna beslenir, nozul içerisinden geçerken yanıcı gaz ve oksijen ile ergitilir. Ergiyen kaplama teli basınçlandırılmış hava ile atomize edilerek istenilen yüzeye püskürtülmektedir. Kaplanmış yüzey ortalama 95-200°C sıcaklığındadır (Çalışkan, 2004). Şekil 1.2'de tel alev sprej prosesi ve Şekil 1.3'de alev sprej tabancası şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Tel Alev Sprej Prosesi (Anonim b, 2023)



Şekil 1.3. Tel Alev Sprej Tabancası (Anonim c, 2023)

Tel alev kaplama yöntemiyle çinko, bakır, alüminyum, molibden, paslanmaz çelik gibi birçok kaplama malzemesi kullanılabilir. Tel alev kaplama yöntemi yeni bileşenlerin kullanım süresini artırmak, aşınmış veya zarar görmüş parçaları iyileştirmek ve revize etmek için kullanılabilir (Anonim a, 2023). Bu yöntemle düşük ergime noktasına sahip çinko ve kalay gibi malzemeler yüksek hızlarda kaplanabilir. Kaplama sırasında altlık malzemenin çok ısınmamasının sebebi uygulanan enerjinin daha çok ergitme sürecinde kullanılmasıyla açıklanabilir (Das ve ark., 2008). Tel alev sprej yönteminde tel şeklindeki kaplama malzemesi tamamen eritilebildiği için ince ve pürüzsüz kaplamalar üretilebilir (Hashmi, 2014) .

1.2.1.2. Toz alev püskürtme

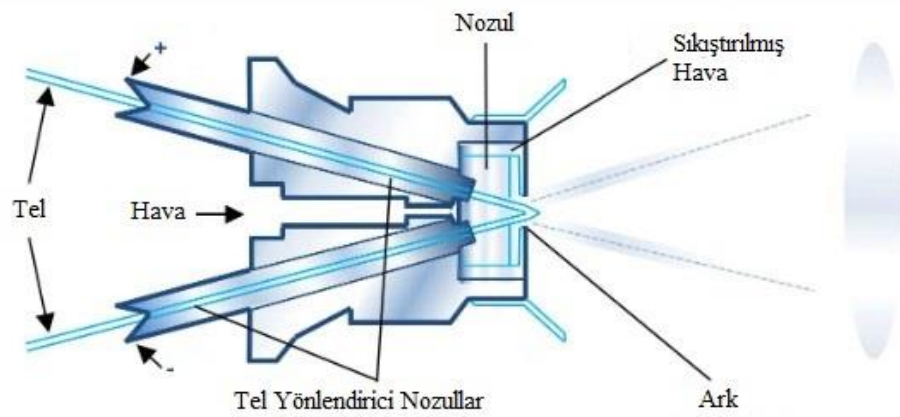
Toz alev sprej yönteminde tel alev sprej yöntemine benzer olarak oksijen ve yakıt gazları yakılarak toz formundaki kaplama malzemesi ergitilir. Erimiş haldeki kaplama malzemesi püskürtülerek altlık üzerinde biriktirilir. Toz formundaki kaplama malzemelerin tellere göre önemli bir dezavantajı erime dereceleri daha düşük olduğu için kaplama yoğunlukları da daha düşüktür (Davis, 2004). Alev sprej sistemlerinde püskürtme tabancası nozulundan yayılan tüm malzeme tamamen erimiş olmalıdır.

Bu yöntemde bazı toz parçacıkları tamamen erimeyebilmektedir ve kaplamada gözenek oluşumuna sebep olabilmektedir (Hashmi, 2014).

1.2.2. Ark sprej

Termal sprej kaplama yöntemlerinden birisi olan elektrik ark sprej kaplama yöntemi elektrotların elektrik arkı oluşturulması ve ergitilmesi için iki elektrot arasına doğru akım verilerek hava jeti ile kaplanacak malzemeye püskürtülmesi temeline dayanmaktadır. Şekil 1.4'te elektrik ark sprej prosesi gösterilmiştir.

Elektrotlar ark tarafından eritildiği için bu ark sprej yönteminin ısı verimi diğer yöntemlere göre daha yüksektir. Alev sprej ve plazma sprej yönteminden farklı olarak erimiş parçacıklar ark bölgesini terk eder etmez soğumaya başlamaktadır (Anonim d, 2023).

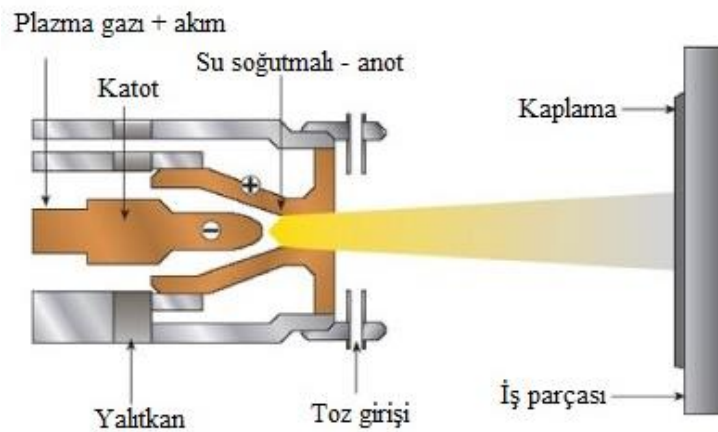


Şekil 1.4. Elektrik Ark Sprey Prosesi (Anonim d, 2023)

1.2.3. Plazma sprej

Plazma sprej yöntemi, elektrotlar arasından basınç altında inert gazların, örneğin argon, azot veya hidrojen gibi gazların geçirilerek, yüksek sıcaklıklarda plazma haline dönüştürülmesini sağlayan bir işlemdir. Bu işlem, seramikler gibi yüksek ergime noktasına sahip malzemelerin kaplanmasında kullanılır. Plazma ışını anot ve katot arasındaki ark elde edilmeye başlar ve plazma torcunda üretilir. Katot ile anot arasında bir elektrik arkı oluşur ve bu ark ile plazma gazı iyonize olur (Islak ve ark, 2019).

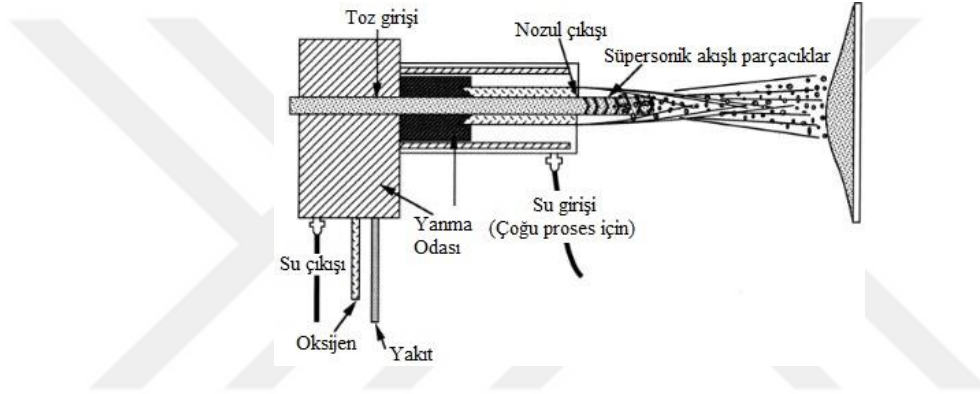
Kaplama malzemesi eritilir ve eritildikten sonra altlık yüzeyi üzerinde biriktirilir. Erimiş damlacıklar kaplanacakları yüzeyde hızla düzleşip katılaşarak bir tabaka oluşturur (Anonim e, 2023). Şekil 1.5’te plazma sprej prosesi gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Plazma Sprej Prosesi (Anonim e, 2023)

1.2.4. Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF)

Yüksek hızlı oksijen yakıt prosesinde oksijen ve yakıt gazı yüksek hızlarda kullanılmaktadır. Oksi- yakıt gazı olarak hidrojen, propilen, propan, gazyağı ve asetilen kullanılmaktadır. Bu prosesde gaz hızı alev sprej yöntemine göre çok yüksek hızlara ulaşmaktadır. Diğer proseslerde olduğu gibi ısıtılan kaplama malzemesi bir gaz akışı ile altlık malzeme üzerinde biriktirilmektedir. Gaz akışı yakıt ve oksijenin yanma odasında karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Oksi-yakıt karışımı nozula verilirken kaplama tozu da bu akışa verilmektedir (Davis, 2004). Şekil 1.6’da yüksek hızlı oksijen yakıt prosesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Yüksek Hızlı Oksijen Yakıt Prosesi (Davis, 2004)

Tel alev sprej, toz alev sprej, ark sprej, plazma sprej ve HVOF prosesleri temel termal sprej kaplama prosesleridir. Bu prosesler dışında detonasyon tabancası (d-gun), soğuk sprej gibi termal sprej yöntemleride bulunmaktadır (Hashmi, 2014).

1.3. Alev Püskürtme

1.3.1. Alev püskürtme yönteminin tarihçesi

Termal sprej yöntemleri daha önceleri “metalizasyon” olarak adlandırılmaktaydı. Termal sprej yöntemlerinin tarihi 1900’lü yıllara dayanmaktadır. 1910 yılında M. Ulrich Schoop ve arkadaşları metal tellerini eritmek ve atomize edip altlık üzerine uygulamak için bir yöntem geliştirmişlerdir. Termal sprej yöntemleri ikinci dünya savaşında kadar gelişme göstermemiştir. Daha sonra Sovyet Rusya ve Çekoslovakya’nın da çalışmalarıyla gelişen termal sprej yöntemlerinin günümüzde birçok endüstride çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır (Sarı ve ark, 1997).

1.3.2. Alev püskürtme cihazı

Alev püskürtme sistemleri genellikle manuel olarak çalıştırılmaktadır. Gerekli durumlarda yarı otomatik veya otomatik şekilde çalışan sistemlerde bulunmaktadır. Alev püskürtme sistemi temelde boya püskürtmeye benzer olarak çalışmaktadır. Sistem hazırlandıktan sonra gaz akışını valf açılarak başlatılır. Tahrik sistemi ile tel çeşitli hızlarda iletilebilmektedir. Oksi-yakıt alevi bir memeden geçirilirken tahrik sistemi ile beslenen teli eritir ve oluşan yüksek yoğunluklu alev boya püskürtme benzeri kaplanacak malzeme üzerinde biriktirilir (Anonim f, 2023).

Alev sprej sistemleri temelde gaz beslemesi, hava beslemesi, gaz hortumları, oksijen, yakıt ve hava için gaz regülatörleri, gaz akışı kontrolleri için rota metreler, püskürtme tabancası, toz veya tel besleyiciden oluşmaktadır (Davis, 2004).

Tel alev sprej püskürtme cihazları, geniş bir malzeme çeşitliliği sunarak metal, seramik, alaşım ve karbür gibi farklı malzemelerin püskürtülmesine olanak tanır. Bu yöntem, homojen ve dayanıklı kaplamalar elde etmek için kullanılır, aynı zamanda yüksek sıcaklık dayanımına sahip kaplamalar sağlar. İnce kaplama kontrolü, yüksek verimlilik ve çeşitli uygulama alanlarıyla, endüstriyel kaplamalarda, yüzey iyileştirmelerinde ve aşınmaya dayanıklı kaplamalarda kullanım avantajları sunar.

1.3.3. Kaplama özellikleri

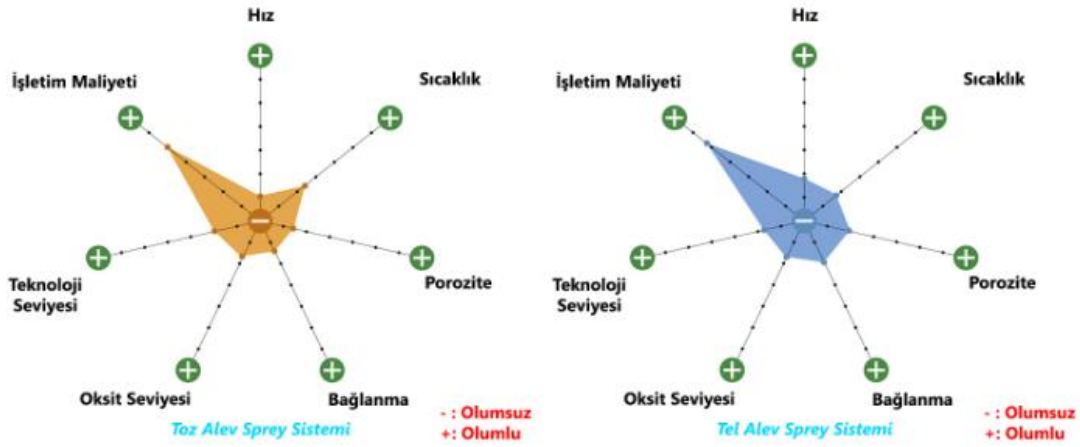
Termal sprej kaplama uygulamaları arasında kullanılabilecek en popüler yöntemlerin başında alev sprej yöntemi gelmektedir. Bu yöntem düşük sermaye maliyeti gerektirmektedir. 3 fazlı elektriğin bulunamadığı çalışma ortamlarında kullanmak için uygundur. Petrol rafinelerinde korozyona karşı kaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca plazma sprej yöntemine göre seramik kaplama malzemelerini uygulamak için uygun maliyetli bir çözümdür. Tipik kaplama malzemesi çinko ve alüminyum veya bunların alaşımıdır (Anonim f, 2023).

Alev sprej yöntemiyle üretilen kaplamalar yüksek dolgu oranına sahiptir ve düşük bakım maliyeti gerektirmektedir. Fakat üretilen kaplamalar genellikle düşük bağ mukavemetine ve yüksek boşluk seviyesine sahiptir. Alev sprej yöntemiyle 50 mikrondan birkaç milimetreye kadar kaplamalar üretilebilmektedir (Sakarya Üniversitesi Termal Sprej Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı, 2023). Alev sprej yöntemleriyle üretilen kaplamaların özellikleri Şekil 1.7’de gösterilmiştir.

1.3.4. Püskürtme şartları

Alev sprey yöntemi için ideal püskürtme mesafesi 100 mm-300 mm aralığıdır. Altlık malzemenin ince veya ısıya karşı hassas olması durumunda bu mesafe büyük seçilmelidir. Püskürtülen altlık yüzeyine püskürtme açış ise 45° 'den küçük olmamalıdır.

En ideal püskürtme açısı ise 70° - 80° aralığıdır. Püskürtme işlemi öncesinde altlık malzemeye ön ısıtma yapılması yapışmayı olumlu etkileyecektir. Ön ısıtma 60 - 80° C aralığında yapılmalıdır.

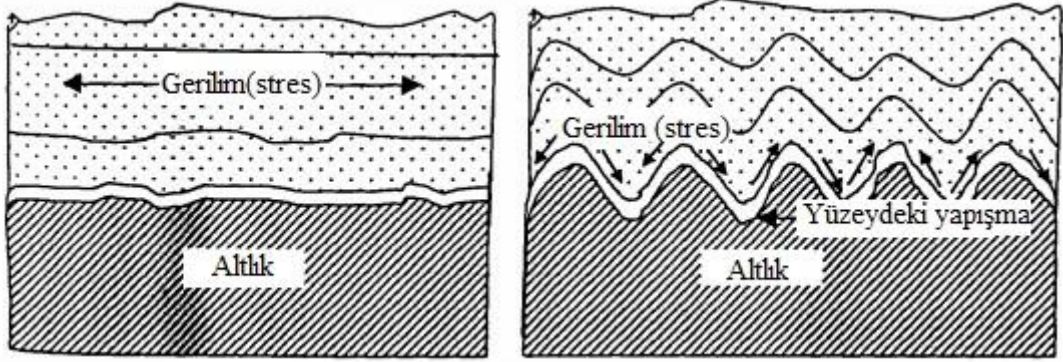


Şekil 1.7. Alev sprey yöntemiyle üretilen kaplamaların özellikleri (Anonim f, 2023)

1.3.5. Püskürtme öncesi yüzey hazırlığı

Püskürtülen tabakada yeterli bir tutunma sağlanabilmesi için yüzey, yağ kir ve pastan arındırılmış ve pürüzlendirilmiş olmalıdır. Çünkü yüzeyde kalan herhangi bir tabaka kaplama ile altlık yüzeyi arasında bir bariyer oluşturacaktır. Yüzey hazırlığı birbirine kenetlenmiş bağlar oluşturabilmek için çok önemlidir. Malzeme yüzeyinin hazırlanması için oyuklar açma, kaba diş çekme, kum püskürtme ve taşlama gibi yöntemler kullanılmaktadır. Oyuklar açma, yüzeyin kaplama malzemelerine daha iyi yapışmasını sağlarken, kaba diş çekme sürtünme direncini artırır. Kum püskürtme, yüzeyi temizleyerek ve yüzey alanına arttırarak kaplamanın daha iyi yapışmasını sağlar. Taşlama ise pürüzlü yüzeyleri düzeltir ve estetik görünümü iyileştirir. Yapışma alanındaki artış, kaplamanın mekanik özelliklerini taban malzeme ile daha homojen bir şekilde paylaşmasını sağlar. Ancak, bu süreç aynı zamanda gerilim ve stresin de

artmasına yol açar (Anık ve ark., 1993). Şekil 1.8’de düz ve pürüzlü yüzeylerde yapışma özellikleri ve gerilim (stres) dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Düz ve pürüzlü yüzeyde yapışma özellikleri (Sulzer Metco (US) Inc, 1995)

1.3.6. Püskürtme öncesi yüzey hazırlığı-kumlama

Kumlama iş parçasını aşındıracak çeşitli tane büyüklüğündeki malzemelerin iş parçası üzerine püskürtülmesidir. İş parçası yüzeyinde toz bırakmayacak şekilde temizlenmelidir. Kumlama işlemi bittikten sonra parçanın kirlenmemesine özen göstererek en kısa süre içerisinde (mümkünse 1-2 saat) kaplama işlemine başlanmalıdır. Çünkü parça yüzeyinde oluşacak bir kir veya oksit tabakası yapışmayı zorlaştıracaktır (Sulzer Metco (US) Inc, 1995).

Kum yüksek basınçlı hava yardımıyla kumlanacak yüzeye çarptırılır ve yüzeyi mikron seviyesinde aşındırır. Bu şekilde yüzey her tür istenmeyen maddeden temizlenmiş olur. Aşındırıcı kum olarak alüminyum oksit bilye, bazalt, çelik grit, cam kürecik gibi aşındırıcılar kullanılmaktadır. Bu kumlar arasında çelik grit kumlama gücü en iyi ve tozuması en az kum çeşididir. Kumlama sonrası yüzeyin temizlik değerleri ISO 8501 çelik taban malzeme yüzeylerin hazırlanması standardına göre değerlendirilmektedir (Anonim g, 2023).

1.3.7. Püskürtme sonrası işlemler

Kaplama sonrası kaplanmış iş parçaları ani soğutulduğunda, malzeme yüzeyinde genleşme ve hızlı soğuma sebebiyle çatlaklar oluşabilir. Bu sebeple parçalar yavaş soğumaya bırakılmalıdır. Çatlama ayrıca kaplama tabakasının kalınlığına ve kaplama malzemesinde bağlıdır (Sulzer Metco (US) Inc, 1995).

1.4. Korozyon

1.4.1. Korozyon oluşumu

Korozyon genellikle metal malzemelerin çevreyle girdikleri reaksiyonlar sonucu kademeli olarak tahribidir (Sabry, 2022). Korozyon temelde iki kimyasal ve elektrokimyasal olmak üzere iki çeşittir. Kimyasal korozyon yüksek sıcaklıkta metallerin bazı maddelerle girdiği tepkimeler sonucu oluşmaktadır. Elektrokimyasal korozyon ise düşük sıcaklıklarda da, örneğin metal yüzeyindeki bir sıvı damlacığı ile başlayabilmektedir. Bu sebeple kimyasal korozyona göre daha tehlikelidir. Demir üzerinde herhangi bir koruma tabakası olmadığı durumlarda bir elektrot metali olduğu için kolayca korozyona uğramaktadır. Bu sebeple metal yüzeyi kaplanarak hava, su gibi faktörlerle teması kesilmelidir (Alpaydın ve Şimşek, 2014).

1.4.2. Korozyondan korunma

Korozyon ekonomik olarak büyük zararlara sebep olmaktadır. Her yıl dünya üzerinde üretilen demirin ortalama beşte biri korozyon sebebiyle kullanılmaz hale gelmektedir. Bununla birlikte korozyon sebebiyle oluşan arıza ve bakım masrafları da ekonomik olarak büyük kayıplara yol açmaktadır. Bu sebeple metal yüzeyini korumak bir ihtiyaçtır. Korozyondan korunmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Alpaydın ve Şimşek, 2014).

1.4.3. Korozyon türleri

Birçok türde korozyon çeşidi bulunmaktadır. Korozyon çeşitleri temelde göz kontrolüyle belirlenenler, özel teçhizatla belirlenenler ve mikroskop yardımıyla belirlenenler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Göz kontrolüyle belirlenen korozyon çeşitleri; üniform korozyon, çukurcuk korozyonu, yarık korozyonu ve galvanik korozyon olarak ayrılmaktadır.

Özel teçhizatla belirlenen korozyon çeşitleri; Erozyon korozyonu, oyuklaşma korozyonu, kazımalı korozyon ve taneler arası korozyon olarak ayrılmaktadır.

Mikroskop yardımıyla belirlenen korozyon çeşitleri; Tabakalaşma korozyonu, alaşımsızlaşma korozyonu, gerilmeli korozyon ve yorulmalı korozyon olarak ayrılmaktadır (Stm Coatech, 2016).

1.4.3.1. Galvanik korozyon

Galvanik seride birbirlerine göre daha aktif ve daha pasif iki metalin elektriksel temasıyla oluşan korozyon türüdür. Bu duruma en iyi örneklerden birisi bakır ile kaplanmış çeliklerin daha hızlı korozyona uğramasıdır (Aygün, 2009).

1.4.3.2. Çukurcuk korozyonu

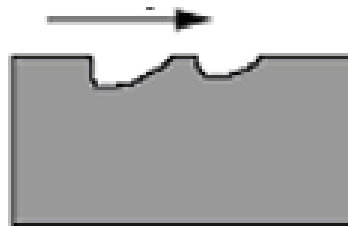
Çukurcuk korozyonu paslanmaz çeliklerin bulunduğu ortamda belli oranda Cl- veya Br- iyonları olması durumunda, paslanmaz çeliklerin pasif halden korozyona duyarlı hale geçmesiyle oluşur. Korozyonun hızı bazı bölgelerde düşük bazı bölgelerde yüksek olabilmektedir. Bu korozyon türü paslanmaz çeliklerin yüzeyinde lokalize çukurcuklar ve delikler oluşturur (Aygün, 2009). Şekil 1.9'da çukurcuk korozyonun şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 1.9. Çukurcuk Korozyonu (Stm Coatech, 2016)

1.4.3.3. Erozyon korozyonu

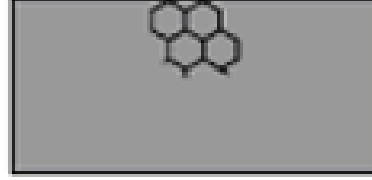
Erozyon korozyonu dökme demirler, bakır ve alüminyum alaşımları, çeliklerde görülen erozyon ile korozyonun birleşmesi olayıdır (Aygün, 2009). Şekil 1.10'de erozyon korozyonun şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 1.10. Erozyon Korozyonu (Stm Coatech, 2016)

1.4.3.4. Taneler arası korozyon

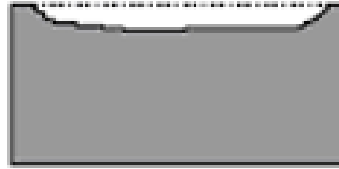
Paslanmaz çeliklere yanlış bir ısıt işlem uygulandığı zaman tane sınırları oluşarak çelik korozyona duyarlı hale gelmektedir. Taneler arası korozyon sebebiyle korozyona uğrayan çeliklerin dayanımı ciddi oranda düşmektedir (Aygün, 2009). Şekil 1.11’de taneler arası korozyonun şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 1.11. Taneler Arası Korozyon (Stm Coatech, 2016)

1.4.3.5. Üniform korozyon

Üniform korozyon metal malzemelerin yüzeyinde üniform olarak yayılmış korozyon çeşididir. Bu korozyon türünde metal yüzeyinin her noktasındaki korozyon hızı ve yüzeydeki incelme yaklaşık olarak aynıdır. Üniform korozyon genellikle atmosferik ortamda herhangi bir koruma olmadan bekletilen çeliklerde görülmektedir (Campbell, 2008). Şekil 1.12’de üniform korozyonun şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 1.12. Üniform Korozyon (Stm Coatech, 2016)

1.4.4. Korozyonun dayanım üzerindeki etkisi

Korozyon bir tür aşınmadır. Korozif ortamlarda çalışan iş makinesi parçalarının mutlaka bir ömrü vardır. Korozyon parça üzerinde malzeme kaybına sebep olduğu için parça yüzeyi aşınarak kesiti azalır. Nemli ortamlar, deniz iklimi, su, tuz çözeltileri gibi koşullar metal parçalar üzerinde korozif etki oluşturmaktadır. Sadece atmosfer ortamında bulunan parçalarda dahi açık havadaki oksijenin etkisiyle korozyon görülmektedir. Bu sebeple metallerin kullanım ömrünü uzatmak ve metal yüzeyini korumak bir ihtiyaçtır (Can, 2020).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Simunovic (2010), tarafından yapılan çalışmaya göre termal püskürtme teknolojisinin kullanımı metalik, seramik, polimer ve kompozit kaplamalar elde etme amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaya göre, metal kaplamalar arasında tercih edilen saf metalik ve metal alaşımlı kaplamalar, aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklığa karşı koruma sağlamak adına kullanılmaktadır. Çalışmada belirtilen önemli metaller arasında molibden, titanyum, nikel, bakır, krom, çinko, tungsten, alüminyum, kalay ve demir bulunmaktadır. Ayrıca alev sprej patentlendirilmiş en eski termal sprej kaplama yöntemidir. Bu yöntem düşük basınçlı bir oksijen yakıt kaplama sistemidir.

Güleç ve ark. (2011), tarafından yapılan bir çalışmada Zn ve 85/15 Zn-Al kaplama malzemelerinin korozyon özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, tuz püskürtme korozyon testi için hazırlanan numuneler, Zn kaplamalı ve Zn/Al 85/15 kaplamalı olmak üzere ikişer adet olarak hazırlanmıştır. Numunelerin kaplanmış yüzeyleri, 50 mm uzunluğunda ve 1 mm genişliğinde tungsten karbür çubuk ile çizilerek tuz testleri uygulanmıştır. Tuz testleri, %5 NaCl çözeltisi kullanılarak ASTM B117 Standardına göre 300 saat boyunca gerçekleştirilmiş ve her 100 saatte bir kontrol edilmiştir. Korozyon testinin tamamlanmasının ardından, çizik yüzeylerde oluşan korozyonun belirlenmesi amacıyla numuneler XRD analizine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonuçlarına göre, 85/15 Zn-Al kaplama malzemesinin korozyon özelliklerinin daha gelişmiş olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 85 Zn ve 15 Al oranının optimum değer olarak kabul edildiği ifade edilmiştir. Bu bulgular, Zn-Al alaşımının belirli oranlarda karıştırılmasının, korozyon direncini artırmada etkili olduğunu göstermektedir.

Karadeniz ve ark. (2011), tarafından yapılan bir çalışmada 4", 6" ve 10" ASTM A106 Grade A dikişsiz çelik boruların iç yüzeyleri, bronz tozları kullanılarak toz alev püskürtme yöntemiyle kaplanmıştır. Deneylerde toz püskürtme mesafesi ve hava basıncı, değişken kaplama parametreleri olarak belirlenmiştir. Püskürtme mesafesi olarak 50 mm, 100 mm ve 150 mm mesafe ile farklı hava basıncı değerleri (0, 0.5, 1 ve 2 bar) kullanılmıştır. Çalışmada, genellikle önerilen 150 mm - 250 mm arası toz püskürtme mesafesinin ötesine geçilerek daha küçük çaplı yatakların iç yüzeylerinin kaplanabilirliği incelenmiştir. Püskürtme hava basıncı değerleri değiştirilerek bu etki detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Numunelerin ara yüzeyleri, mikrosertlik değerleri, yüzey pürüzlülükleri ve bağlanma mukavemeti üzerinde yapılan değerlendirmeler,

çeşitli parametrelerin kaplama kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bağ mukavemeti analizi, yakın mesafeden yapılan püskürtmenin olumsuz etkilere neden olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, her üç püskürtme mesafesinde de 1 bar hava basıncının en düzgün yüzey pürüzlülüğünü sağladığı belirlenmiştir. Daha düşük basınçlarda tozun yavaş gelmesi, yüzeyde erimemiş partiküllerin oluşmasına neden olurken, daha yüksek basınçlar dalgalı bir görüntüye sebep olmuştur. Optimum püskürtme mesafesi olarak kabul edilen 150 mm değeriyle kaplanan C numunelerinde, kullanılan tozun literatürde belirtilen sertlik değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, hava basıncının artırılmasıyla sertlikte bir artış gözlemlenmiştir.

Akçin ve ark. (2013), tarafından yürütülen çalışmada kompozit malzemelerin günümüzdeki önemine odaklanılmıştır. Savunma sanayisinden uzay sektörüne, otomotivden deniz taşımacılığına kadar geniş bir kullanım alanına sahip olan bu malzemeler, yüksek dayanıklılık/yoğunluk oranı ve elastisite modülü/yoğunluk oranı gibi özellikleriyle dikkat çekmektedir. Ancak, yüzey özellikleri, özellikle tribolojik davranışlar ve düşük aşınma direnci gibi faktörlerden dolayı kullanım alanları bazı sınırlamalara tabidir. Bu sınırlamaları aşmak ve malzemelerin performansını iyileştirmek adına, Akçin ve ekibi kaplama teknolojilerine odaklanmıştır. Çalışmada özellikle plazma spreycaplama yöntemi kullanılarak, sert seramik tozlar ($Al_2O_3+TiO_2$ ve CrO_3) ile takviye edilmiş epoksi matrisli kompozit malzemelerin yüzeyine kaplama işlemi uygulanmıştır. Bu kaplamaların fiziksel, mekanik ve metalografik özellikleri titizlikle incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmanın belirleyici bir faktörü, kaplama kalınlığının, kaplamanın alt malzeme ile olan yapışma mukavemetini nasıl etkilediğidir. Elde edilen sonuçlar, kaplama kalınlığı arttıkça genellikle yapışma mukavemetinin azaldığını göstermektedir. Plazma spreycaplama yöntemi, $Al_2O_3+TiO_2$ ve CrO_3 gibi sert seramik tozlarını, hem cam elyaf takviyeli hem de karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerine başarılı bir şekilde uygulanabilir kılmıştır. Ayrıca, plazma spreycaplama işlemi sırasında kullanılan spreycaplama mesafesinin, kaplamanın mikroyapısını doğrudan etkilediği ve bu mesafenin dikkatlice ayarlanması gerektiği belirlenmiştir.

Uzun ve ark. (2014), tarafından yapılan çalışma malzeme yüzeylerinde istenen kaliteyi sağlamak ve boya işlemlerinde daha etkili bir sonuç elde etmek amacıyla çelik konstrüksiyon imalatı yapan işletmelerde kullanılan türbinli kumlama tezgahının etkinliğini incelemiştir. Bu kapsamlı çalışmada, St37 çelik levhalar üzerinde farklı yüzey durumları (frezelenmiş, normal ve paslanmış), iki farklı aşındırıcı bilye türü (S390 ve S460) ve beş farklı ilerleme değeri (0.8, 1.2, 1.6, 2.0 ve 2.4 m/dk.) kullanılarak

gerçekleştirilen kumlama işleminin etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, St37 çelik malzemesinin kumlama işlemi sonrasındaki ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerini ortaya koymaktadır. Yapılan kumlama işleminde ilerleme değerinin azaltılmasının, ortalama yüzey pürüzlülük değerini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, işletmelerin malzeme yüzeylerini temizleme ve pürüzlendirme süreçlerinde optimal parametreleri belirlerken dikkate almaları gereken faktörleri vurgulamaktadır. Uzun ve ekibinin çalışması, çelik konstrüksiyon sektöründe yüzey hazırlığına yönelik önemli bilgiler sunarak endüstriyel uygulamalara ışık tutmaktadır.

Çeğil ve Şen (2014), tarafından yapılan çalışmada yüzey pürüzlülüğünü arttırmak amacıyla kaplama işlemi öncesinde yüzeylere kumlama uygulanmıştır. Yapılan termal spreyl kaplama işlemleri sonucunda, kullanılan kaplama malzemesine bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte genel olarak sertlik ve mikrosertlik değerlerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Kaplanmış malzemelerin sertlikleri, ana malzemeden belirgin şekilde daha yüksektir. Bu durum, kaplama işleminin yüzey mekanik özelliklerini iyileştirdiğini ve malzemenin dayanıklılığını artırdığını göstermektedir.

Koch ve ark. (2016), tarafından yapılan çalışmada belirtildiğine göre korozyondan en çok etkilenen malzeme metal malzemelerdir. Küresel ölçekte yıllık korozyon maliyetinin 2.505 milyar dolar civarında olduğu tahmin edilmektedir. Ancak, korozyonu kontrol eden mekanizmaların etkili bir şekilde uygulanmasıyla bu maliyetin yıllık %15-35 aralığında azaltılabileceği düşünülmektedir.

Kaya ve ark. (2017), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada plazma püskürtme yöntemi kullanılarak Cr_2O_3 ve $Al_2O_3-TiO_3(87-13)$ kaplama malzemeleri St37 çeliği üzerine uygulanmış ve kaplamaların sertlik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sertlik ölçümleri, Shimadzu HV2 mikro sertlik cihazı kullanılarak 10 sn süreyle 200 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, $Al_2O_3-TiO_3(87-13)$ kaplı numunede sertliğin yaklaşık 3 kat, Cr_2O_3 kaplı numunede ise yaklaşık 4 kat arttığı gözlemlenmiştir.

Ayday (2018), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada numuneler, 6 mm çapında ve 70 mm uzunluğunda kesilerek hazırlanmıştır. Yüzeyleri SiC zımparalanıp ultrasonik banyoda etil alkol ile temizlendikten sonra mikro ark oksidasyon yöntemi kullanılarak, minimum süre (3 dakika) ve maksimum süre (10 dakika) ile kaplanmıştır. Kaplama öncesinde ve sonrasında hazırlanan numuneler, %2'lik NaOH çözeltisine daldırılarak ağırlık kayıpları ölçülerek korozyon dirençleri belirlenmiştir.

Elde edilen verilere göre artan kaplama süresi ile korozyon direncinde bir artış gözlenmiştir. Bu durum, kaplama süresinin artmasıyla birlikte kaplama yoğunluğunun artması ve dolayısıyla korozyon çözeltisinin alt tabakaya ulaşmasının zorlaşmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Yakup ve ark. (2018), tarafından yürütülen bir araştırmada sementasyon işlemi görmüş ve aşınmış AISI 8620 çeliğinin plazma püskürtme yöntemiyle farklı tozlar kullanılarak kaplandığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, aşınmış numunelerin tekrar kullanılabilir hale getirilmesini sağlamaktır. Aşınma testleri, pin-on disk aşınma cihazında 5, 10 ve 20 N yüklerinde 160 dev/dk hızında gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerin sonuçlarına göre, 72F-NS tozu ile kaplanan numunenin en yüksek yüzey sertliğine, AMDRY 962 ile kaplanan numunenin en yüksek aşınma değerine, CRC-106 kaplanan numunenin ise en düşük aşınma derecesine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Islak ve ark. (2019), tarafından yapılan çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik üzerine uygulanan Ti_3SiC_2 maksimum fazlı kaplamanın mikroyapısı, aşınma direnci ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Ti ve SiC tozları kullanılarak elde edilen toz karışımı, atmosfer kontrollü plazma sprej tabancası ile alt tabakaya uygulanmıştır. Optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve XRD kullanılarak yapılan analizler, kaplamanın lamelli bir yapıya ve Ti_3SiC_2 maksimum fazına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Mikrosertlik ölçümleri, kaplama tabakasından alt tabakaya doğru bir hat boyunca gerçekleştirilmiştir. Aşınma özellikleri, çizik testi ile belirlenmiş ve kaplama tabakasının sürtünme katsayısı 0.15, alt malzemenin sürtünme katsayısı 0.22 olarak tespit edilmiştir. Korozyon özellikleri ise %3,5 NaCl çözeltisinde potansiyodinamik ölçümlerle değerlendirilmiş ve kaplama tabakasının alt malzemeye göre 3,5 kat daha yüksek bir korozyon direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Albayrak ve Kaman (2019), tarafından gerçekleştirilen çalışmada St37 çeliği ve AA7075-T651 alüminyumdan üretilen 50x20x2 mm boyutlarındaki numunelerin darbe absorbe enerjileri incelenmiştir. Charpy darbe testi, 9 mm çaplı delikli ve deliksiz numuneler arasındaki darbe direncini karşılaştırmak için uygulanmıştır. Test cihazının vurucu kütlesi 6.784 kg olup, kapasitesi 49.05 J'dür. Numunelerin darbeye karşı dirençleri değerlendirildiğinde, deliksiz numunelerin, delikli numunelere göre net bir üstünlüğü olduğu belirlenmiştir. Delikli numunelerde darbe direnci %46,53 düşüktür. Ayrıca, numunelerin sayısal analiz sonuçları da elde edilmiş ve deneysel sonuçlara çok yakın bulunmuştur.

Öz ve ark. (2019), tarafından gerçekleştirilen çalışmada plazma sprej tekniği kullanılarak Cr_2O_3 kaplama malzemesi ile hava soğutmalı ön fren disklerinin kaplandığı belirlenmiştir. Araştırmada, numunelerin korozyon, yüzey pürüzlülüğü ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Korozyon testi, daldırma yöntemiyle 168 saat boyunca %5'lik NaCl çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. Tüm dişlerde alın bölgesinde kaplama olmadığından yoğun korozyon gözlemlenmiştir. Kaplamasız disklerde, kaplamalı disklerle göre çok fazla korozyon oluşmuştur. Darbe alan ve deformasyona uğrayan disklerde korozyon oluşumunun kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir.

Kocatürk ark. (2020), yürüttükleri çalışmada kumlama işlemi ile iş parçasının yüzey özellikleri mekanik olarak iyileştirilmiştir. Bu işlem, malzeme yüzeyinde pozitif özellikler sunan pürüzlü bir yüzey elde etme amacını taşımaktadır.

Atar ve Özgürlük (2021), tarafından yürütülen çalışmada malzemelerin çevresel şartlara uyum gösterebilmesi ve yüzey özelliklerinin geliştirilebilmesi için uzay ve havacılık başta olmak üzere birçok alanda termal sprej kaplamalar kullanıldığı açıklanmıştır.

Kumar ve ark. (2021), yaptıkları bir çalışmada plazma sprej kaplamalarda mikro yapının korozyon üzerindeki etkisini incelemek amacıyla numuneler sodyum sülfat ve vanadyum pentoksit tuzları varlığında 8 saat boyunca 900 °C'de sıcak korozyon testine tabi tutulmuştur. Araştırmacılar, püskürtme parametrelerini değiştirdiklerinde farklı mikro yapıların oluştuğunu ve gözenekliliğin korozyonu makul bir şekilde etkilediğini belirtmişlerdir.

Wang ve ark. (2023), tarafından yapılan çalışmaya göre alüminyum alaşımlarının denizcilik uygulamalarındaki artan kullanımı, alaşımların yüzey anti-korozyon teknolojilerine yönelik önemli bir araştırma gerekliliği ortaya koymaktadır. Endüstride genellikle Al-Zn alaşımlarını korozyondan koruma amacıyla yüzey kaplamaları hazırlamak için termal püskürtme tekniğini kullanmaktadır. Bu çalışma, alev püskürtme tekniğiyle oluşturulan Al-Zn kaplama ve Al-Zn-Ce kaplamalarını içermektedir. Yapılan sistematik analizler, nadir toprak elementi Ce'nin Al-Zn kaplamanın mikroyapısı ve korozyon direnci üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ce katkısının Al-Zn alaşımının erime özelliklerini geliştirdiğini, bu sayede kaplamanın yoğunluğunu artırarak gözenekliliği ve pürüzlülüğü azalttığını göstermektedir. Ayrıca, Ce eklenmesinin Al-Zn kaplamanın sertlik ve aşınma direncini artırdığı tespit edilmiştir. Ce'nin iz element olarak eklenmesi, kaplamanın daldırma sırasındaki pasifleşme sürecini ve pasifleştirme filmi oluşumunu

etkileyerek güçlü bir pasifleştirme yeteneği kazandırmış ve böylece korozyon direncini artırmıştır. İz Ce elementinin eklenmesiyle, Al-Zn kaplamanın gözenekliliğinde %21'lik bir azalma ve mikrosertlikte %24'lük bir artış elde edilmiştir. Ayrıca, Al-Zn-Ce kaplamanın çukur direnci ve yeniden pasifleştirme yeteneğinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ce içeren yüzey oksit filmi, kaplamaya klorür iyonlarının daha etkili bir şekilde girmesini engelleyebilmektedir. Bu çalışma, özellikle denizcilik uygulamalarında Al-Zn kaplamalarının performansını artırmak için Ce katkısının potansiyelini vurgulamaktadır.

Kaplamaların korozyon performansını incelemek için, kaplanmış malzemeler korozyon testlerine tabi tutulmuştur. Literatürde korozyon testleri iş parçasının çalışma ortamındaki ihtiyacına göre NaCl, NaOH vb. sıvılara daldırma yoluyla veya tuz püskürtme, nem dayanım, elektrokimyasal korozyon testi gibi farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışma için kaplamalara tuz püskürtme ve nem korozyon testi uygulanmıştır.

Kaplamaların ani darbelere karşı davranışını incelemek için kaplanmış numunelere düşük hızda darbe testi uygulanmıştır.

Fakat kaplama kalınlığı ve püskürtme mesafesinin aynı anda değiştirilmesinin yapışma mukavemetine etkisini açıklayan bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Benzer şekilde bu parametreler aynı anda değiştirildiğinde korozyon performansı, darbe direnci ve sertliğin nasıl etkileneceğini açıklayan bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada üstün anti korozif özellikleriyle bilinen ZnAl 85/15 kaplama malzemesi farklı sprej mesafesi ve kaplama kalınlıklarında alev püskürtme yöntemiyle kaplanarak, kaplanmış numunelerin sertlik, darbe, korozyon ve yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kaplama yöntemi ve malzemesiyle yapılan kaplamalarda sprej mesafesi ve kaplama kalınlığı için optimum parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Belirlenen parametrelerin endüstride bu yöntemle kaplama yapan birçok firma için yol gösterici olması beklenmektedir.

Çalışmada sprej mesafesi ve kaplama kalınlığı aralığının, kaplama süresince sabit tutulacak parametrelerin ve bağımlı-bağımsız değişkenlerin belirlenmesi için kaynak taraması yapılmıştır. Kaynak taraması çalışmanın yönteminin ve metodolojinin belirlenmesinde yol gösterici olmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kaplama altlık malzemesi

Bu çalışmada yüksek mukavemete sahip bir yapı çeliği olan S355 çeliği altlık malzeme olarak kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de S355 kimyasal bileşimi ve Çizelge 3.2’de ise fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapısal çelik S355 EN 10025 nominal kimyasal bileşim

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Nb	V	Ti	Ni	Cu	Al	N
maks			maks	maks	maks	maks	maks	maks	maks	maks	maks	toplam	maks
0.14	0.15/ 0.55	1.00/ 1.65	0.01	0.02	0.25	0.08	0.04	0.06	0.02 5	0.5	0.015/0. 055	0.015/0.05 5	0.01

Çizelge 3.2. Yapısal çelik S355 EN 10025 fiziksel özellikleri

Kalınlık (mm)	Minimum akma dayanımı (Mpa)	Çekme dayanımı (Mpa)
t ≤ 25	355	470-630

3.1.2. Kaplama teli

Çalışmada %15 alüminyum (Al) ve %85 çinko (Zn) alaşımlı kaplama teli tercih edilmiştir.

Çinko/alüminyum 85/15 teli saf çinko veya saf alüminyumun korozyon dayanımının yetersiz olabileceği uygulamalarda kullanılmaktadır (Gorlach, 2009). Çalışmada 3,17 mm çapında Zinacor marka Zn/Al (85/15) kaplama teli tercih edilmiştir. Şekil 3.1’de ZnAl 85/15 kaplama telinin görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.1. ZnAl 85/15 kaplama teli

Çinko alüminyum 85/15 kaplama malzemesi çinko kaplama malzemesiyle karşılaştırıldığında, korozyon testleri sonrasında çinko tel ile kaplanan parçaların çok daha erken korozyona uğradığı görülmüştür. Çinkonun tek başına korozyon dayanımının korozyona maruz kaldığı ilk 50 saatlik dilimin sonunda sona erdiği düşünülmektedir. Zn/Al (85/15) kaplamalar, Zn kaplamalara göre korozyona karşı daha iyi koruma göstermektedir (Güleç, 2006).

Kaplama teli için % ağırlık olarak tipik malzeme bileşimi Çizelge 3.3’de, mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. ZnAl 85/15 teli kimyasal bileşimi (EN ISO 14919)

DIN EN ISO 14919’a göre ZNAl15 teller (Alev ve ark püskürtme için teller, çubuklar, kordonlar)		
	Tipik değerler	DIN EN ISO 14919
Zn	84-86 %	84-86 %
Al	14-16 %	14-16 %
Diğer elementler;		
Pb	≤0,003 %	≤0,007 %
Cd	≤0,001 %	≤0,004 %
Pb+Cd	≤0,004 %	≤0,0011 %
Sn	≤0,001 %	≤0,001 %
Fe	≤0,015 %	≤0,02 %
Cu	≤0,002 %	≤0,01 %
Si	≤0,01 %	≤0,12 %
Diğer Toplam	≤0,03 %	≤0,17 %

Çizelge 3.4. ZnAl 85/15 teli mekanik ve fiziksel özellikleri (EN ISO 14919)

Mekanik/Fiziksel özellikler	
Gerilme direnci Rm	110-150 Mpa
Kopma Rp0.2	80-130 Mpa
Uzama A100mm	Min %50

3.1.3. Yanıcı-yakıcı gaz

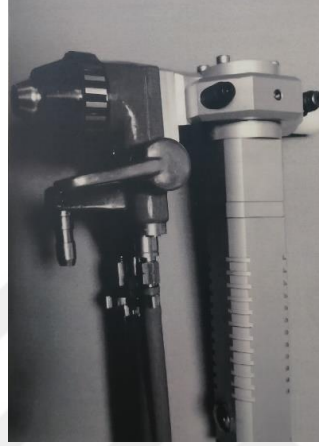
Çalışmada propan yakıt gazının oksijenle yanmasıyla oluşan ısı kaplama malzemesini eritmek için kullanılmıştır. Kullanılan yanıcı-yakıcı gaz özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Oksijen-Propan gazının özellikleri (Pawlowski, 1995)

Gaz Karışımı	Alev Sıcaklığı (°K)	Isı Değeri (kJ/mm ³)	Tutuşma hızı (cm/sn)	Alev verimi (kJ/cm)
Oksijen-Propan	3124	93.423	370	14

3.1.4. Tel alev sprej tabancası

Alev püskürtme cihazının en önemli üyesi olan alev sprej tabancasında telin nozula beslenmesi ve ergitilerek püskürtülmesi işlemi gerçekleşmektedir. Çalışmada Amitech Henry 17E manuel metal sprej tabancası kullanılmıştır. Manuel tel alev sprej tabancası Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Manuel tel alev sprej tabancası

3.1.5. Kaplama kalınlık ölçüm cihazı

İstenilen kalınlıklarda kaplamalar elde edebilmek için PCE markasına ait PCE-CT-26FN kalınlık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile çelik, demir dışı metaller ve eloksallı alüminyum gibi atlık materyallerin üzerinde çelik, plastik, krom, bakır, çinko gibi manyetik olmayan kaplamaların ve kâğıt, cam, kauçuk gibi tüm yalıtım kaplamaları ölçülebilmektedir. Ölçüm aralığı 0-1250 μm ’dur. Kaplama kalınlık ölçüm cihazı şekil 3.3’de gösterilmiştir.

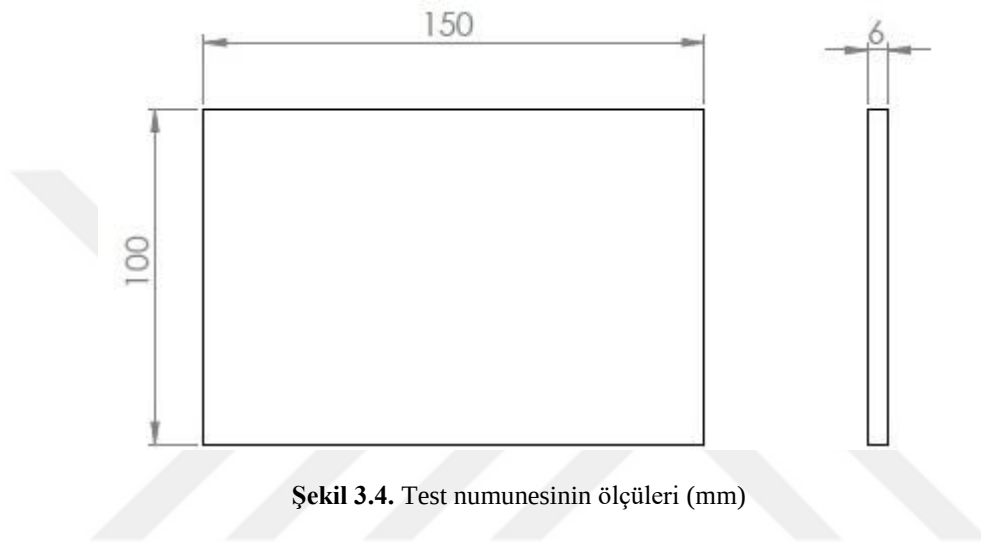


Şekil 3.3. Kaplama kalınlık ölçüm cihazı

3.2. Yöntem

3.2.1. Numunelerin hazırlanması

Plaka şeklinde 6 mm kalınlığındaki S335 çeliği, 100x150 mm boyutlarında lazer kesim yöntemiyle kesilerek 70 adet olarak hazırlanmıştır. Test numunelerine ait ölçüler Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Test numunesinin ölçüleri (mm)

3.2.2.1. Yüzeyin ön temizliği

S355 çelikten hazırlanmış numuneler yüzey hazırlığını olumsuz etkileyebilecek kaba yağdan, kirden veya çapaktan arındırmak için ihtiyaca bağlı olarak tel fırça, basınçlı su gibi ekipmanlarla mekanik olarak temizlenmiştir.

3.2.2.2. Kumlama ile yüzey temizliği

Alev püskürtme ile kaplama yönteminde temel olarak atomize parçalar ile altlık malzeme arasında mekanik bir bağ oluşmaktadır. Bu sebeple altlık yüzeyinin aşındırıcı bir madde ile pürüzlendirilmesinin kaplama malzemesi ile altlık arasındaki yapışmayı sağlayacağı düşünülmüştür. Aynı zamanda metal yüzeyi tüm kir ve yağdan arındırılmıştır.

Bu çalışma için metal yüzeyi çelik grit aşındırıcı ile TS EN ISO 8503-1 standardına göre Sa 2 ½ kalitesinde 50-60 µm aralığında pürüzlendirilmiştir.

3.2.2.3. Tel alev sprej yöntemiyle kaplanma

Yüzeyi kumlama işlemiyle temizlenmiş çelik numuneler, kumlama işlemi tamamlandıktan sonra maksimum 3 saat içerisinde kaplamaya başlanmıştır. Kaplama için numuneler kaplama odasına getirildikten sonra, alev püskürtme makinesinden, püskürtme tabancasına propan, oksijen, kaplama teli ve basınçlı hava bağlantıları yapılmıştır. Püskürtülecek ZnAl8515 kaplama teli püskürtme tabancasının nozuluna sürülüp, kaplama teli nozul içerisinden geçerken propan ve oksijen gazı karışımıyla eritilerek eriyik hale gelen kaplama malzemesi basınçlı hava yardımıyla atomize edilerek çelik numune yüzeyinde biriktirilmiştir. Kaplama sırasında kaplamanın kalınlığı kaplama kalınlık ölçüm cihazı ile sürekli kontrol edilerek ortalama 80,160 ve 240 µm kalınlıkta kaplanmış numuneler hazırlanmıştır.

Kaplama kalınlığı numune yüzeyinin köşelerinden ve ortasından 5 farklı noktadan ölçülerek, ölçüm değerlerinin ortalaması kaplama kalınlığı olarak kabul edilmiştir. Kaplama süresince istenilen kalınlık sağlanana kadar kalınlık ölçümüne devam edilmiştir. Kaplama işlemi 12 cm ve 24 cm uygulama mesafesinde tekrar edilmiştir. Belirlenen uygulama mesafesini korumak için püskürtme nozulu ve kaplanacak numunelerin arasındaki mesafe ölçüldükten sonra, kaplama işlemini gerçekleştiren personelin kolu bir tabla üzerinde sadece yatay olarak hareket ettirilerek 12 cm ve 24 cm uygulama mesafelerinin kaplama sürecinde korunması sağlanmıştır. Uygulama sırasında, ölçümler belirlenen mesafelerden saptığında, gerekli ayarlamalar yapılarak ve uygulama mesafesi tekrar doğrulanmıştır.

Kaplama sırasında püskürtme acısı 70-80 °C, oksijen ve propan basıncı 3-5 atm aralığında ve hava basıncı 4-6 bar aralığında sabit tutulmuştur. Tel alev sprej kaplama sırasında numunelerin görüntüsü Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Testler için hazırlanan numunelerin özellikleri ve listesi ise Çizelge 3.6’de görülmektedir.



Şekil 3.5. Tel alev sprej kaplama sırasında numunelerin görüntüsü

Çizelge 3.6. Hazırlanan numunelerin listesi

Numune adı	Altlık Malzeme	Kaplama Öncesi İşlem	Kaplama Materyali	Kaplama Özellikleri	Ebat/Adet
Plaka 1	S355 Çeliği	Kumlama	ZnAl 85/15	Ortalama 80 μ m Kaplama kalınlığı 12 cm püskürtme mesafesi	150x100x6 mm 10 Adet
Plaka 2	S355 Çeliği	Kumlama	ZnAl 85/15	Ortalama 160 μ m Kaplama kalınlığı 12 cm püskürtme mesafesi	150x100x6 mm 10 Adet
Plaka 3	S355 Çeliği	Kumlama	ZnAl 85/15	Ortalama 240 μ m Kaplama kalınlığı 12 cm püskürtme mesafesi	150x100x6 mm 10 Adet
Plaka 4	S355 Çeliği	Kumlama	ZnAl 85/15	Ortalama 80 μ m Kaplama kalınlığı 24 cm püskürtme mesafesi	150x100x6 mm 10 Adet
Plaka 5	S355 Çeliği	Kumlama	ZnAl 85/15	Ortalama 160 μ m Kaplama kalınlığı 24 cm püskürtme mesafesi	150x100x6 mm 10 Adet
Plaka 6	S355 Çeliği	Kumlama	ZnAl 85/15	Ortalama 240 μ m Kaplama kalınlığı 24 cm püskürtme mesafesi	150x100x6 mm 10 Adet
Plaka 7	S355 Çeliği	Kumlama yok	ZnAl 85/15	Kaplama yok	150x100x6 mm 10 Adet

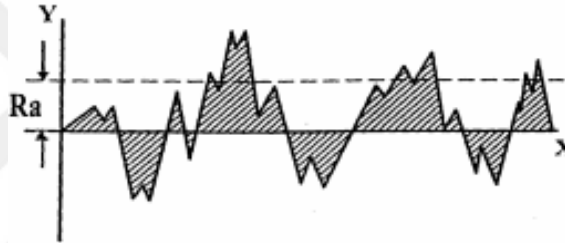
3.2.2. Sertlik deneyi

Sertlik ölçümleri Bulut makine Digirock RB marka sertlik test cihazıyla, S355 çeliği gibi çeliklerin sertliğini ölçmek için uygun olan Brinell (HB cinsinden) sertlik ölçüm yöntemiyle yapılmıştır. Numunelerin 4 köşesinden ve ortasından olmak üzere 5'er adet ölçüm yapılmış ve ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Brinell batıcı küre ucun çapı 5mm'dir. Ölçümler 750 kgf yük 10 sn boyunca uygulanarak gerçekleştirilmiştir. S355 çeliği gibi orta mukavemetli bir çelik için brinell testinde yaygın olarak kullanılan yük, 750 kgf'dir. Sertlik test cihazı ve deneylere ait bir görüntü Şekil 3.6'de görülmektedir.

**Şekil 3.6.** Sertlik deneyi

3.2.3. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Yüzey pürüzlülük testleri Mitutoyo *Surftest SJ-210 cihazı ile* μm cinsinden ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır. Ölçüm aleti DIN EN ISO 3274 standartlarına göre ölçüm yapmaktadır. İş parçası üzerinden aynı ekseninde ölçüm yapılmıştır. Her iki kaplama yüzeyine beşer kez uygulama yapılmış ve bu uygulamaların ortalaması alınmıştır. Denemelerde ortalama pürüzlülük (R_a) belirlenmiştir. R_a cinsinden yüzey pürüzlülük değerinin şematik görüntüsü şekil 3.7’de gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü sırasında kesme uzunluğu λ_c : 0.8 mm, stylus ucu açısı: 60° , sürücü ünite hızı: 0.5 mm/sn olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. R_a cinsinden yüzey pürüzlülük değerinin şematik görüntüsü (Castolin Kaynak Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., 1992)



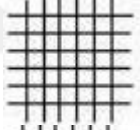
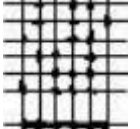
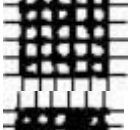
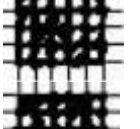
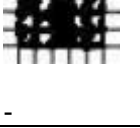
Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

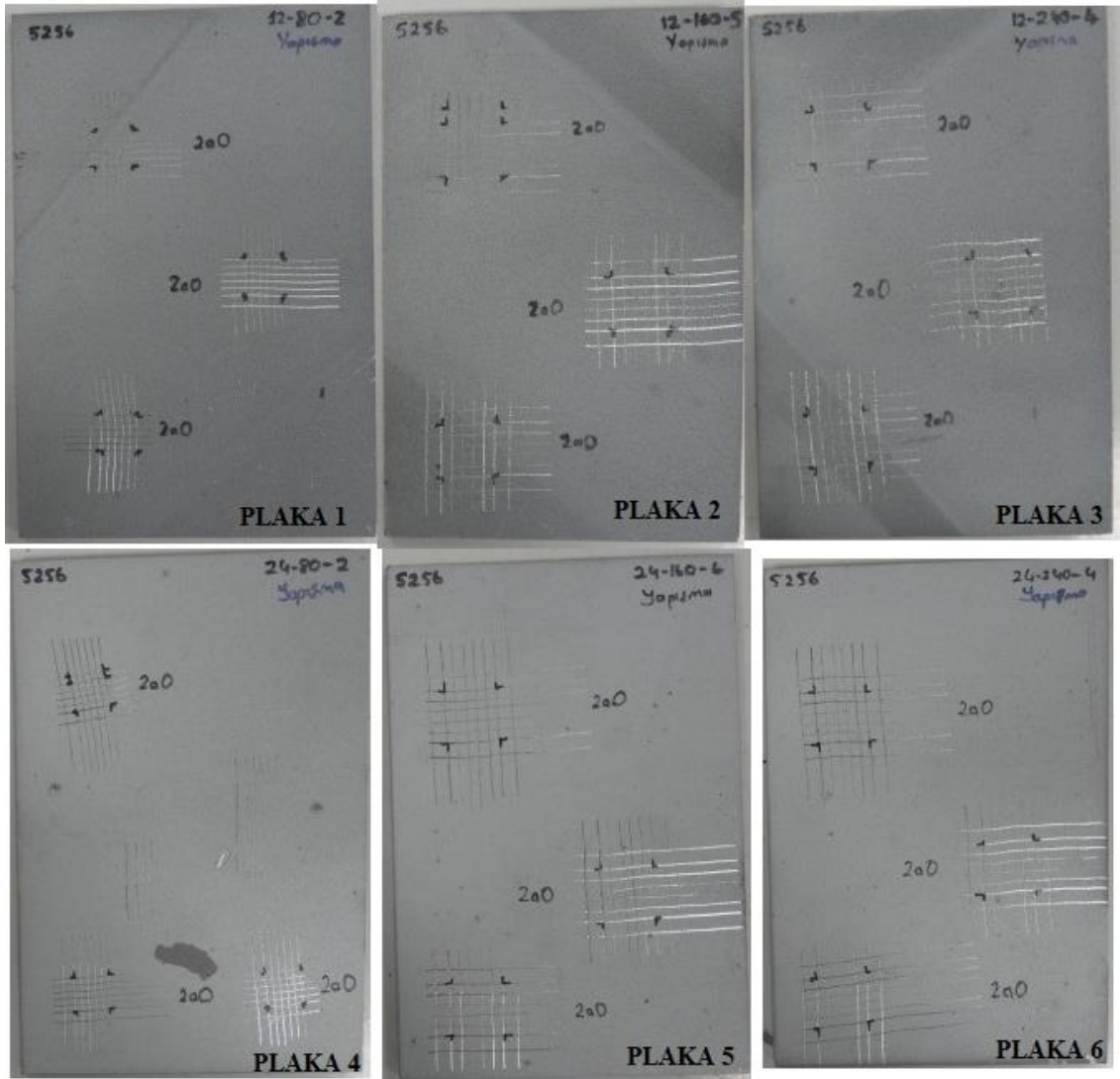
3.2.4. Yapışma (çizik) testi

Kuru yapışma testleri DIN EN ISO 2409 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında BYK marka MT-KSM-107 (2 mm) ve MT-KSM-108 (3 mm) Cross-cut bıçağı kullanılmıştır. Kaplanmış numune yüzeyleri kesici bir alet kullanılarak, kaplanmamış yüzeye ulaşana kadar sürekli olarak bastırılarak kaplamaya dik bir açıda kafes modelinde belirgin bir şekilde çizilmiştir. Çizilmiş bölge yapışkan bir bant (TESA 4657) yardımıyla kapatılmıştır. Yüzeye yapışan bant elle hızlıca yüzeyden uzaklaştırılmış ve Çizelge 3.7’de verilen değerlendirme kriterlerine göre yüzey görünümü incelenmiştir. Kaplamanın tabakadan soyulmaya ne kadar direnç gösterdiğini belirlemek için yapışma testi gerçekleştirilmiştir.

DIN EN ISO 240’e göre yapılan ve değerlendirilen yapışma (çizik) testinin başarılı olabilmesi için sınıf 0 olmalıdır. Yapışma (çizik) testi uygulanmış numuneler Şekil 3.9’da görülmektedir.

Çizelge 3.7. Yapışma (çizik) testi değerlendirme kriterleri (TS EN ISO 2409)

Sınıflandırma	Tanımı	Gösterimi
0	Karelerde boya kalkması yoktur. Kesik kenarları mükemmel şekilde düzdür.	
1	Karelenmiş yüzeyden %5 kalkma vardır. Kesişme noktalarında kırılmış küçük parçalar vardır.	
2	Karelenmiş yüzeyde ya da karelerin kesişme noktalarında %5 den fazla, %15’ten az kalkma vardır.	
3	Karelenmiş yüzeyde ya da kesik kenarlar boyunca %15 den fazla, %35’ten az kalkma vardır.	
4	Karelenmiş yüzeyden %35’ten fazla %65’ten az kalkma vardır.	
5	Diğer sınıflandırma dereceleriyle sınıflandırılmayan herhangi bir görünüm.	-



Şekil 3.9. Yapışma (çizik) testi uygulanmış numuneler

3.2.5. Yapay atmosferde tuz püskürtme deneyleri

S355 çeliği ile hazırlanmış numunelerin deniz suyunda korozyon davranışını incelemek amacıyla Nötral Tuz Püskürtme (NSS) yöntemiyle TS EN ISO 9727 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Testler için yedi adet numuneden üçer adet olmak üzere toplamda yirmi bir adet numune şahit numune olması amacıyla teste tabi tutulmuştur. Testin gerçekleştirildiği laboratuvar alanı ortam şartları test süresinde 23 ± 2 °C sıcaklık, 50 ± 5 RH nem değerinde tutulmuştur. Yapay atmosferde tuz püskürtme testi 35 °C sıcaklıkta, kapalı bir kabin içerisinde 6.5-7.2 pH değeri aralığındaki %5'lik tuzlu su çözeltisinin sis şeklinde püskürtülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Test süresi 120 saattir. 24, 48, 72 ve 96. saatlerde numuneler için ara kontroller yapılmıştır.

Testler için kullanılan Metaltek marka MT-SİS-091 tuz sis test kabini Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Test sırasında numunelerin görüntüsü ise Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tuz sis test kabini



Şekil 3.11. Tuz sis testi sırasında numuneler

3.2.6. Neme dayanım deneyleri

Neme dayanım testleri S355 çeliği ile hazırlanmış numunelerin neme dayanımının tayini amacıyla sürekli yoğuşma yöntemiyle TS EN ISO 6270-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Testler için yedi adet numuneden üçer adet olmak üzere toplamda yirmi bir adet numune şahit numune olması amacıyla teste tabi tutulmuştur. Testin gerçekleştirildiği laboratuvar alanı ortam şartları test süresinde 23 ± 2 °C sıcaklık, 50 ± 5 RH nem değerinde tutulmuştur. Neme dayanım testleri 40 °C sıcaklıkta, %95 bağıl nem koşullarında gerçekleştirilmiştir. Test süresi 120 saattir. 24, 48, 72 ve 96. saatlerde numuneler için ara kontroller yapılmıştır. Testler için kullanılan VLM marka MT-NEM-067 neme dayanım test kabini Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Test sırasında numunelerin görüntüsü ise Şekil 3.13’te gösterilmiştir.



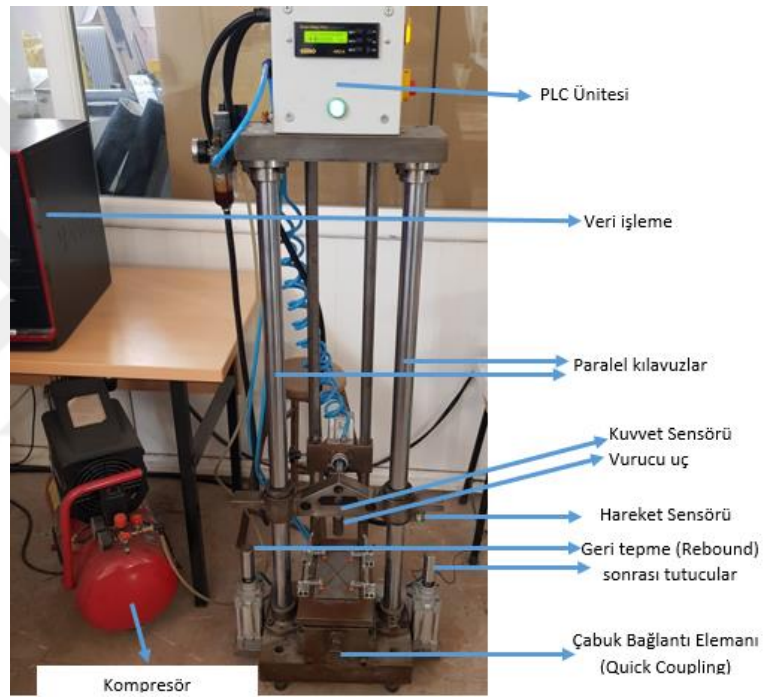
Şekil 3.12. Neme Dayanım test kabini



Şekil 3.13. Tuz sis testi sırasında numuneler

3.2.7. Düşük hızda darbe testi

Düşük hızda darbe testleri ASTM D7136 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Düşük hızda darbe testi belli bir ağırlıktaki parçanın numune üzerine serbest düşme yapmasıyla numunede oluşan hasarın incelenmesi esasına dayanmaktadır. ASTM D7136 standardına göre Şekil 3.4'te verilen ölçülerde numuneler hazırlanmıştır. Testler maksimum 55 j darbe etkisi oluşturabilen düşük hızda darbe test cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14'te düşük hızda darbe test cihazı ve bölümleri gösterilmiştir. Deney sırasında ele edilmiş olan veriler bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 3.14. Düşük hızda darbe test cihazı ve bölümleri

Düşük hızda darbe deneyinde kullanılan vurucunun ağırlığı bağlı bulunduğu yatak ve elemanlarıyla birlikte 5,6 kg kütle ve 24 mm çaplı yarı küresel uçlu bir geometriye sahiptir. 5,6 kg'lık kütle sabit bit yüksekliğe getirilerek serbest düşme hareketi başlatılmıştır. Numuneler mümkün olduğunca ankastre sınır şartlarını sağlayacak şekilde test için sabitlenmiştir. Düşük hızda darbe testleri 11,5 cm yükseklikten 1,5 m/s (6,3 j) enerji-yükseklik seviyeleriyle gerçekleştirilmiştir. Düşük hızda darbe test cihazında hareket sadece -y yönünde gerçekleşebilmektedir. Düşük hızda darbe testleri Konya Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Sonuçlar

4.1.1. Sertlik deneyi sonuçları

Brinell sertlik testi, malzemenin yüzey sertliğini değerlendiren bir yöntemdir. Çizelge 4.1’de Brinell sertlik test sonuçlarına ait değerler listelenmiştir. Numunelerin 4 köşesinden ve ortasından olmak üzere 5’er adet ölçüm yapılmış ve ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Çizelge 4.1’de listelenen Brinell sertlik değerleri bilye çapı ölçülerek elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelere ait Brinell sertlik değerleri

Numune	Sertlik (HB)
Kaplamasız	176,8
80 µm-12 cm	187,2
160 µm-12cm	174,3
240 µm-12cm	102,8
80 µm-24cm	168,1
160 µm-24cm	132,6
240 µm-24 cm	73,1

Brinell sertlik test sonuçlarına göre, kaplamasız numunenin sertliği 176,8 HB olarak ölçülmüştür. Bu değer, malzemenin doğal sertliğini temsil etmektedir. Yüzeyde herhangi bir kaplama olmadığında elde edilen sertlik, malzemenin ham özelliklerini yansıtmaktadır.

Püskürtme mesafesine göre test sonuçları incelendiğinde, 80 µm ve 160 µm kaplama kalınlıklarında 12 cm püskürtme mesafesinde sırasıyla 187,2 ve 174,3 HB sertlik değerleri elde edilmiştir. Bu durum, ince kaplamanın malzemenin sertliğini artırabileceğini, ancak 160 µm’lik bir kaplamanın sertliği olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir.

Ayrıca, 240 µm kaplama kalınlığında 12 cm püskürtme mesafesinde elde edilen sertlik değeri 102,8 HB ve 240 µm kaplama kalınlığında 24 cm püskürtme mesafesinde elde edilen sertlik değeri 73.1 HB’dir. Bu durum, çok kalın kaplamaların ve uzak mesafe püskürtmelerin malzemenin sertliğini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. 24 cm püskürtme mesafesinde ise 80 µm ve 160 µm kaplamaların

sertliği sırasıyla 168,1 HB ve 132,6 HB olarak ölçülmüştür. Bu değerler, daha uzak bir püskürtme mesafesinin sertlik üzerindeki etkilerini göstermektedir.

En dikkat çekici sonuçlardan biri, 240 μm kaplama kalınlığında 24 cm püskürtme mesafesinde elde edilen sonucun 73,1 HB olmasıdır. Bu durum, çok kalın bir kaplamanın ve uzak bir püskürtme mesafesinin bir araya gelmesinin malzemenin sertliği üzerinde ciddi bir düşüşe neden olabileceğini göstermektedir. Genel olarak, bu sonuçlar malzemenin sertliğinin kaplama kalınlığı ve püskürtme mesafesi gibi faktörlere duyarlı olduğunu göstermektedir.

4.1.2. Yüzey pürüzlülük test sonuçları

Yüzey pürüzlülük test sonuçlarına ait değerler Çizelge 4.2’de aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) olarak listelenmiştir.

Çizelge 4.2. Numunelere ait yüzey pürüzlülük değerleri

Numune	Ra (μm)
Kaplamasız	1,71
80 μm -12 cm	15,14
160 μm -12cm	14,83
240 μm -12cm	14,61
80 μm -24 cm	6,98
160 μm -24 cm	6,35
240 μm -24cm	5,52

Test sonuçları incelendiğinde ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerlerine göre, kaplamasız numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü 1,71 μm ’dir.

Püskürtme mesafesi 12 cm olarak tutulduğunda; 80 μm kaplama kalınlığı ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 15,14 μm ’dur ve bu değer oldukça yüksektir. Bu durum, ince kaplamanın yüzey pürüzlülüğünün artırılabilceğini ve istenmeyen bir sonuç doğurabileceğini göstermektedir. 160 μm kaplama kalınlığı ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 14,83, yine yüksek bir değerdir. 240 μm kaplama ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 14,61 μm ’dir ve bu da oldukça yüksek bir değerdir ve çok kalın kaplamaların yüzey pürüzlülüğünü artırabileceğini gösterir.

Püskürtme mesafesi 24 cm olarak artırıldığında ise; 80 μm kaplama süresi ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 6,98 μm , 160 μm kaplama ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 6,35 μm ve 240 μm kaplama ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü 5,52 μm ’dur. Püskürtme mesafesinin artmasıyla birlikte, 80 μm , 160 μm ve

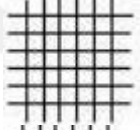
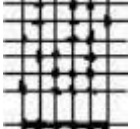
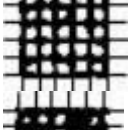
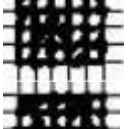
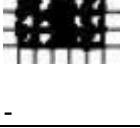
240 µm kaplama kalınlıklarındaki numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinde genel bir azalma gözlemlenmektedir. Bu durum, uzak püskürtme mesafelerinin genellikle daha düşük yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlandığını göstermektedir.

Sonuç olarak, püskürtme mesafesi ve kaplama kalınlığı parametrelerinin dikkatlice seçilmesi, istenen yüzey pürüzlülüğüne ulaşmak için önemlidir. İdeal parametreler, belirli bir uygulama veya endüstri gereksinimlerine bağlı olarak değişebilmektedir.

4.1.3. Yapışma (çizik) testi sonuçları

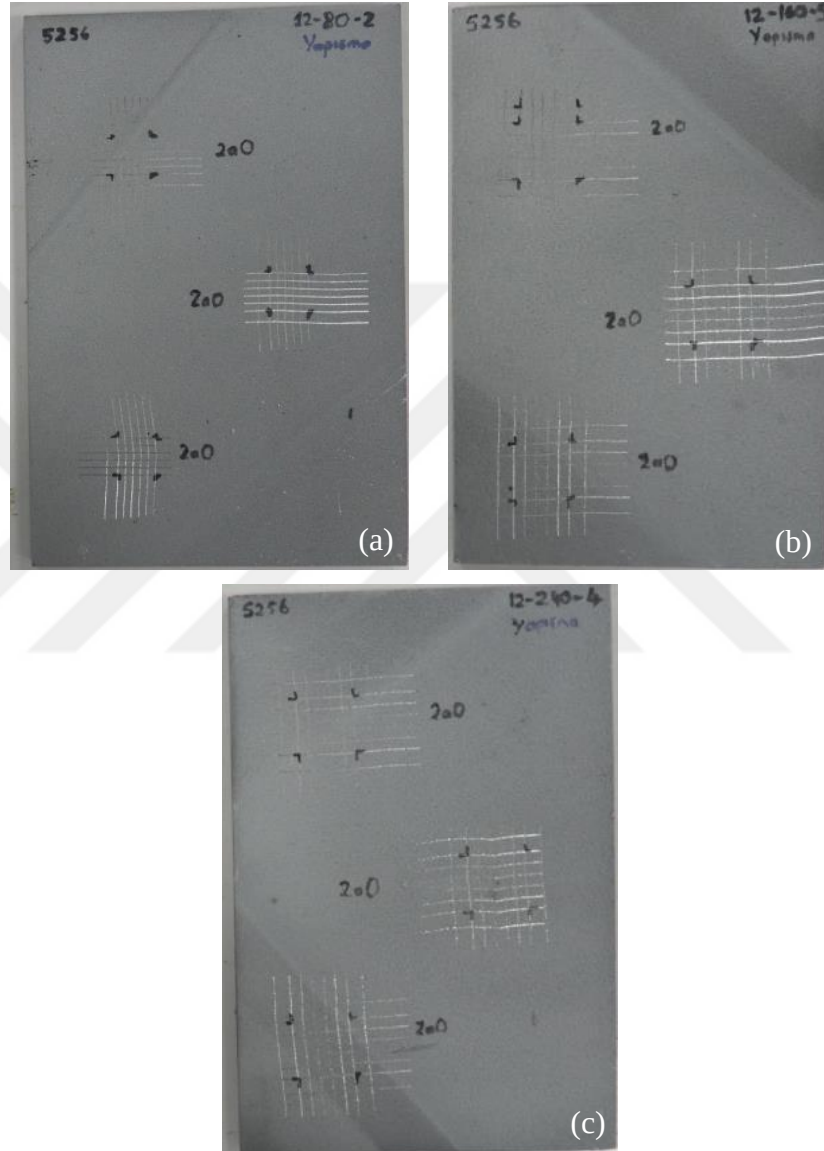
Yapışma (çizik) testi kaplama malzemelerinin yapışma dayanıklılığını belirlemek için kullanılan bir test yöntemidir. Test sonuçları TS EN ISO 2409 standardına göre değerlendirilmiştir. TS EN ISO 2409 standardına göre değerlendirme kriterleri Çizelge 4.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Yapışma (çizik) testi değerlendirme kriterleri (TS EN ISO 2409)

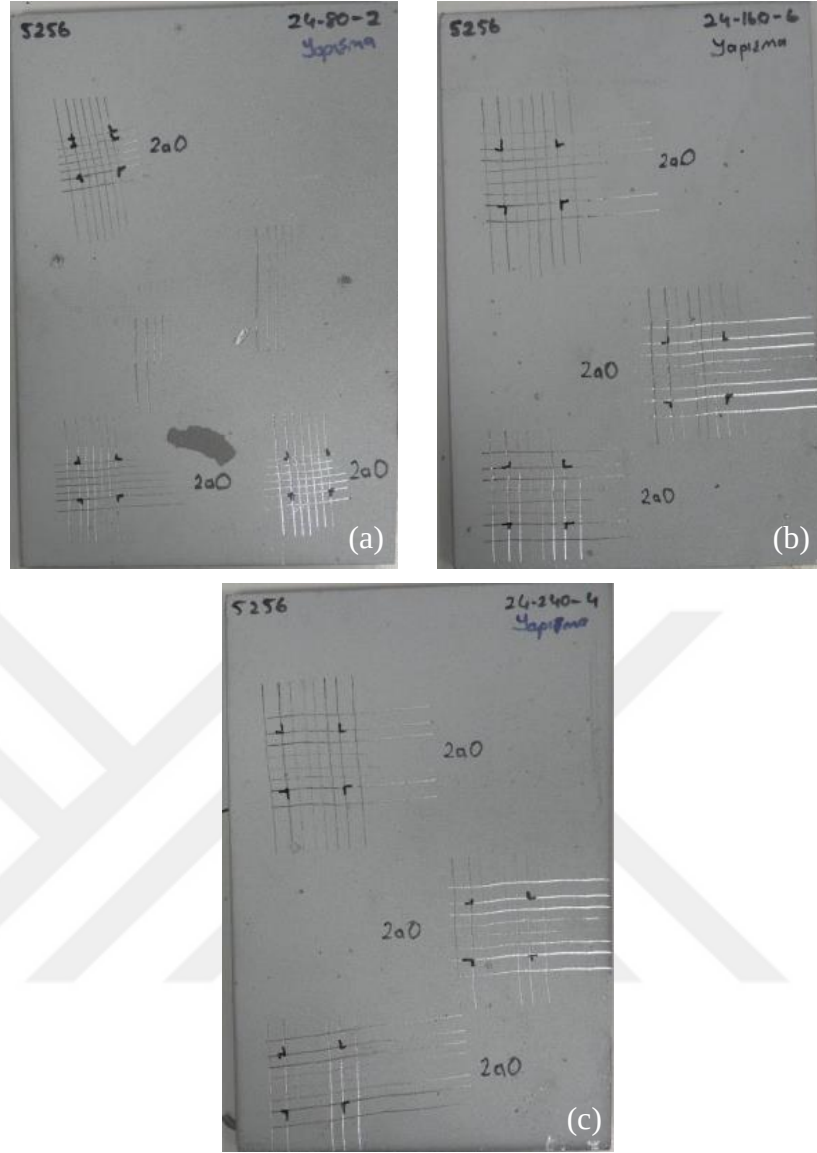
Sınıflandırma	Tanımı	Gösterimi
0	Karelerde boya kalkması yoktur. Kesik kenarları mükemmel şekilde düzdür.	
1	Karelenmiş yüzeyden %5 kalkma vardır. Kesişme noktalarında kırılmış küçük parçalar vardır.	
2	Karelenmiş yüzeyde ya da karelerin kesişme noktalarında %5 den fazla, %15'ten az kalkma vardır.	
3	Karelenmiş yüzeyde ya da kesik kenarlar boyunca %15 den fazla, %35'ten az kalkma vardır.	
4	Karelenmiş yüzeyden %35'ten fazla %65'ten az kalkma vardır.	
5	Diğer sınıflandırma dereceleriyle sınıflandırılmayan herhangi bir görünüm.	-

Sınıf 0 sonuçları, çizik direncinin yüksek olduğunu ve kaplamanın mükemmel yapışma özelliklerine sahip olduğunu gösterir. Uygulanan yapışma testi sonrası tüm numuneler Sınıf 0 grubunda yer almaktadır.

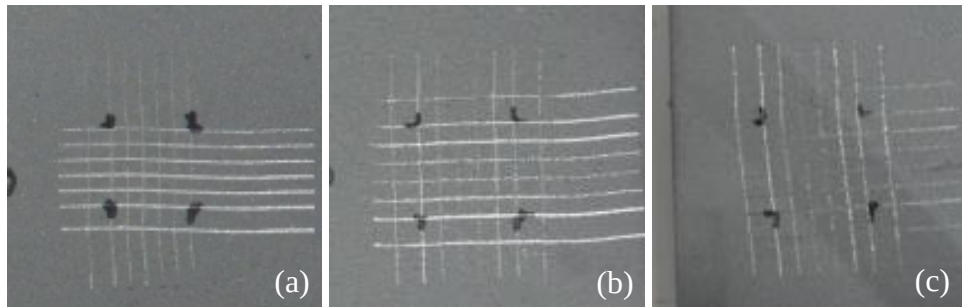
Şekil 4.1 ve 4.2’de yapışma testi sonrası numunelerin görüntüleri, Şekil 4.3 ve 4.4’de ise yapışma testi uygulanan bölgelerin yakın görüntüsü yer almaktadır. Tüm kaplamanın Sınıf 0’da yer almasından hareketle mükemmel yapışma özelliklerine sahip olduğunu ve çizik direncinin yüksek olduğunu söylenebilir. Bu durum, kaplamanın dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü ifade etmektedir.



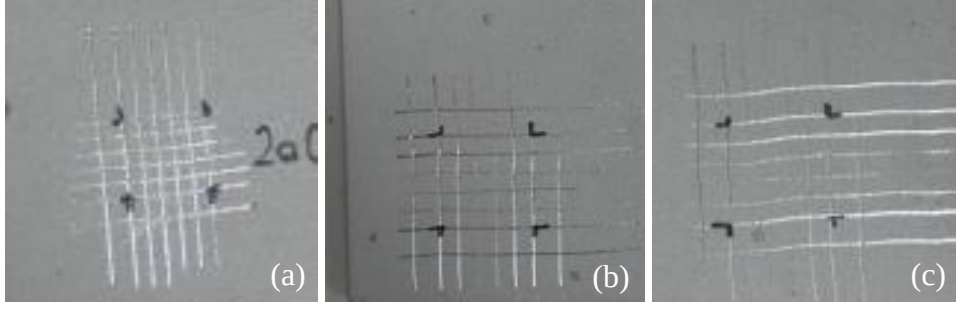
Şekil 4.1. (a) Plaka 1 (80 μm -12 cm), (b) Plaka 2 (160 μm -12 cm), (c) Plaka 3 (240 μm -12 cm) numunelerine ait yapışma (çizik) testi sonrası görüntüler (Ölçek 1:2)



Şekil 4.2. (a) Plaka 4 (80 μm -24 cm), (b) Plaka 5 (160 μm -24 cm), (c) Plaka 6 (240 μm -24 cm) numunelerine ait yapışma (çizik) testi sonrası görüntüler (Ölçek 1:2)



Şekil 4.3. (a) Plaka 1 (80 μm -12 cm), (b) Plaka 2 (160 μm -12 cm), (c) Plaka 3 (240 μm -12 cm) numunelerine ait yapışma (çizik) testi bölgesi yakın görünüm



Şekil 4.4. (a) Plaka 4 (80 μm -24 cm), (b) Plaka 5 (160 μm -24 cm), (c) Plaka 6 (240 μm -24 cm) numunelerine ait yapışma (çizik) testi bölgesi yakın görünüm

Plaka 1: Mükemmel yapışma ve yüksek çizik direnci (Sınıf 0)

Plaka 2: Mükemmel yapışma ve yüksek çizik direnci (Sınıf 0)

Plaka 3: Mükemmel yapışma ve yüksek çizik direnci (Sınıf 0)

Plaka 4: Mükemmel yapışma ve yüksek çizik direnci (Sınıf 0)

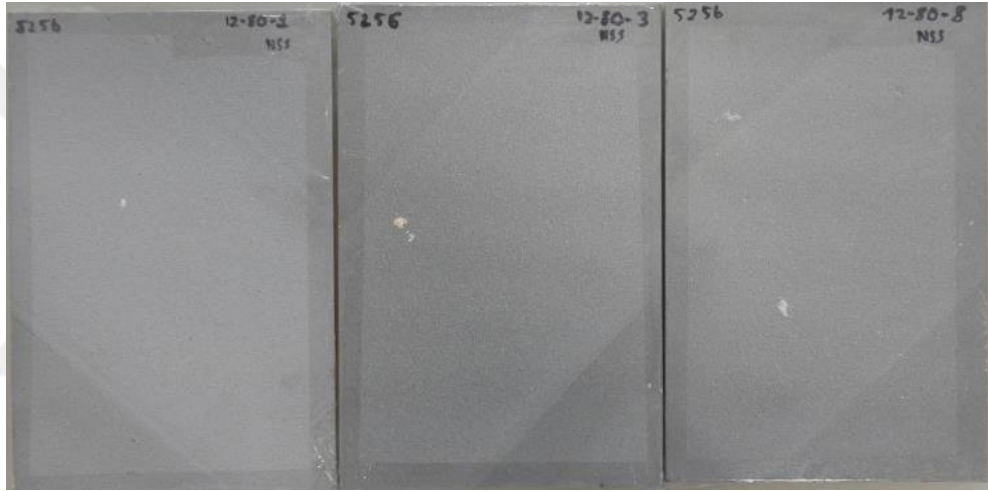
Plaka 5: Mükemmel yapışma ve yüksek çizik direnci (Sınıf 0)

Plaka 6: Mükemmel yapışma ve yüksek çizik direnci (Sınıf 0)

Bu sonuçlar, test edilen kaplama malzemelerinin kaliteli olduğunu ve çeşitli koşullara karşı dirençli olduklarını gösterir. Bu özellikler genellikle endüstriyel veya ticari uygulamalarda kullanılan kaplama malzemeleri için önemlidir.

4.1.4. Yapay atmosferde tuz püskürtme deneyleri sonuçları

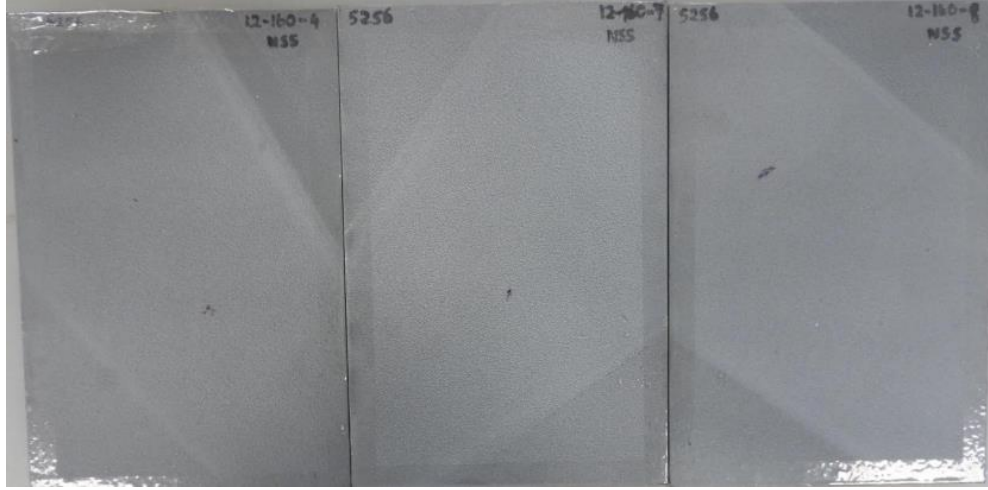
Yapay atmosferde tuz püskürtme deneyleri TS EN ISO 9227 gerçekleştirilmiş ve test sonucunda numuneler görsel olarak değerlendirilmiştir. Görsel değerlendirme, test sonuçlarını değerlendirmenin bir yöntemidir. Bu değerlendirme testin 120. saatinin sonunda, malzemenin üzerinde oluşan korozyonun tipini, yoğunluğunu ve yayılma durumunu incelemeyi içermektedir. Test sonuçları için şahit numune olması amacıyla her bir numuneden 3 adet test edilmiştir. Şekil 4.5-7-9-11-13-15-17’de numune plakaların tuz testi öncesindeki ve Şekil 4.6-8-10-12-14-16-18’de numune plakaların 120 saatlik test sonucundaki durumları gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Plaka 1 (80 µm-12 cm) tuz püskürtme testi öncesi



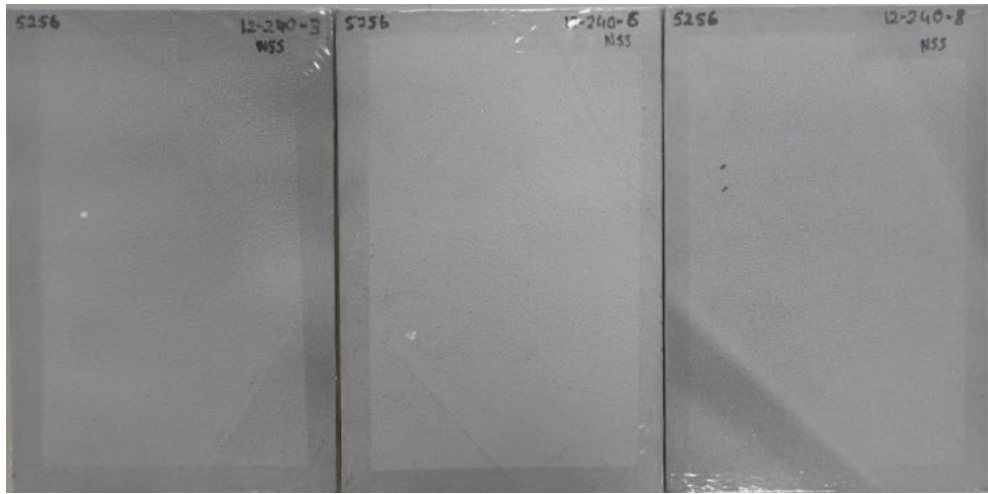
Şekil 4.6. Plaka 1 (80 µm-12 cm) 120 saat tuz püskürtme testi sonrası



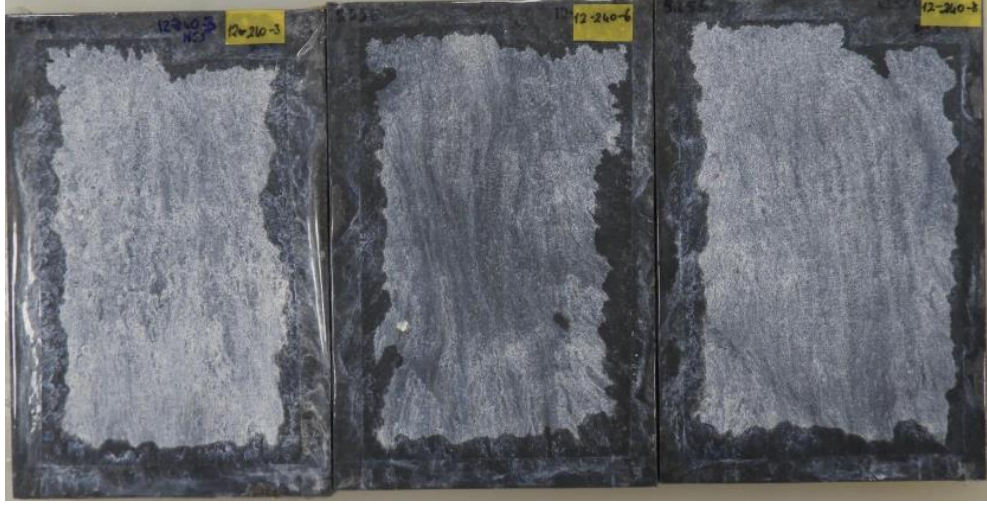
Şekil 4.7. Plaka 2 (160 µm-12 cm) tuz püskürtme testi öncesi



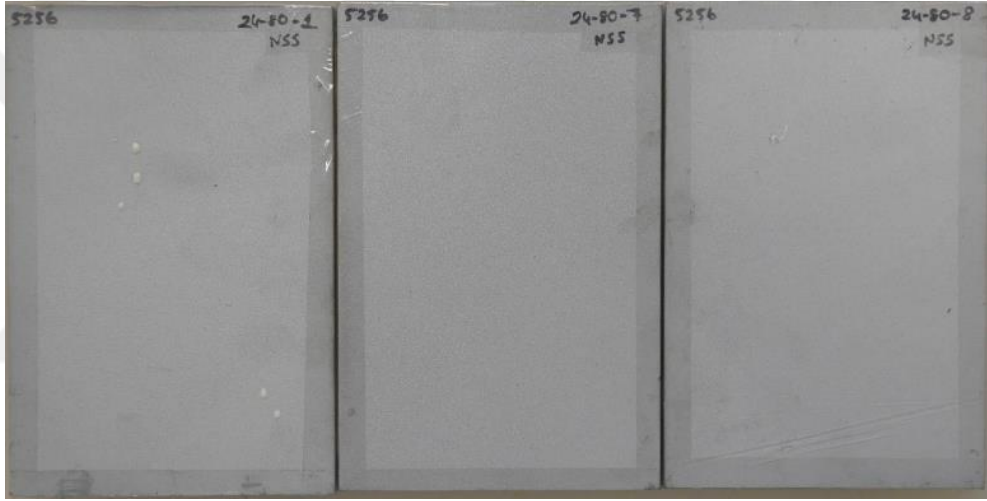
Şekil 4.8. Plaka 2 (160 µm-12 cm) 120 saat tuz püskürtme testi sonrası



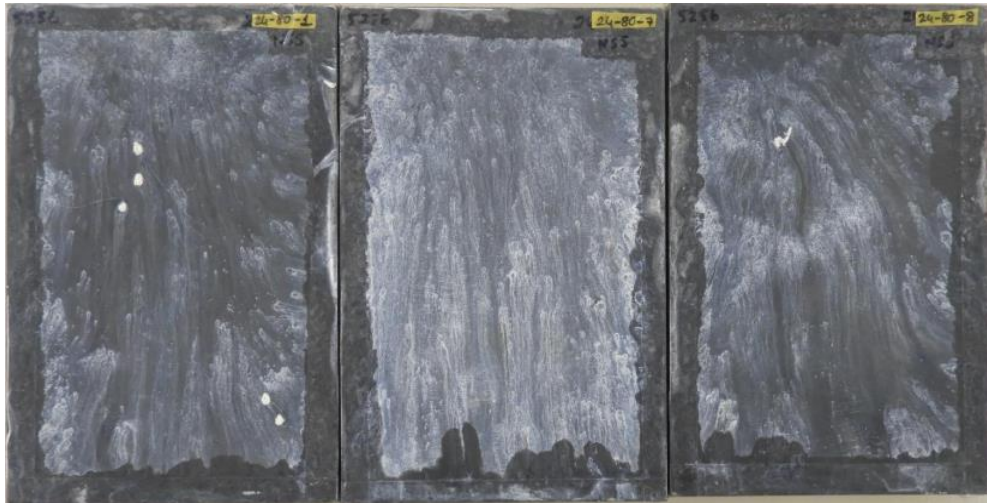
Şekil 4.9. Plaka 3 (240 µm-12 cm) tuz püskürtme testi öncesi



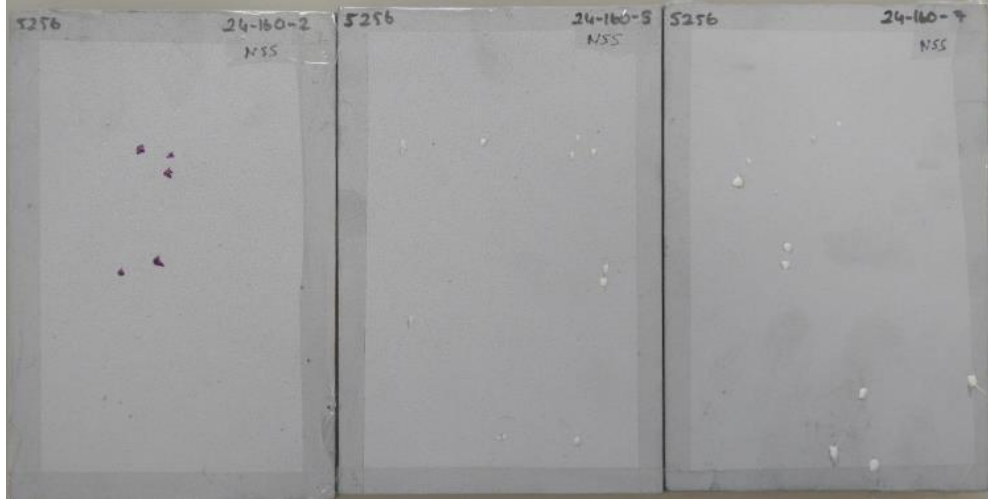
Şekil 4.10. Plaka 3 (240 µm-12 cm) 120 saat tuz püskürtme testi sonrası



Şekil 4.11. Plaka 4 (80 µm-24 cm) tuz püskürtme testi öncesi



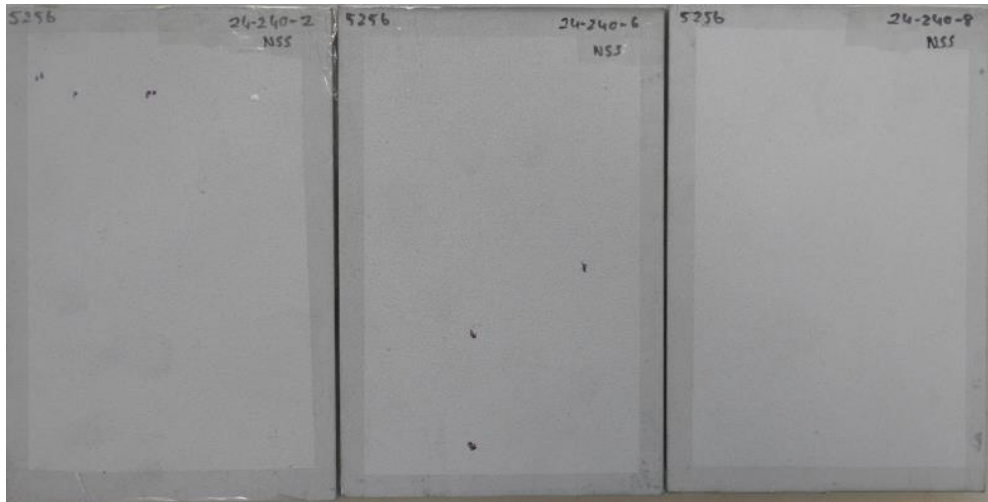
Şekil 4.12. Plaka 4 (80 µm-24 cm) 120 saat tuz püskürtme testi sonrası



Şekil 4.13. Plaka 5 (160 µm-24 cm) tuz püskürtme testi öncesi



Şekil 4.14. Plaka 5 (160 µm-24 cm) 120 saat tuz püskürtme testi sonrası



Şekil 4.15. Plaka 6 (240 µm-24 cm) tuz püskürtme testi öncesi



Şekil 4.16. Plaka 6 (240 µm-24 cm) 120 saat tuz püskürtme testi sonrası



Şekil 4.17. Plaka 7 (kaplamasız çelik) tuz püskürtme testi öncesi



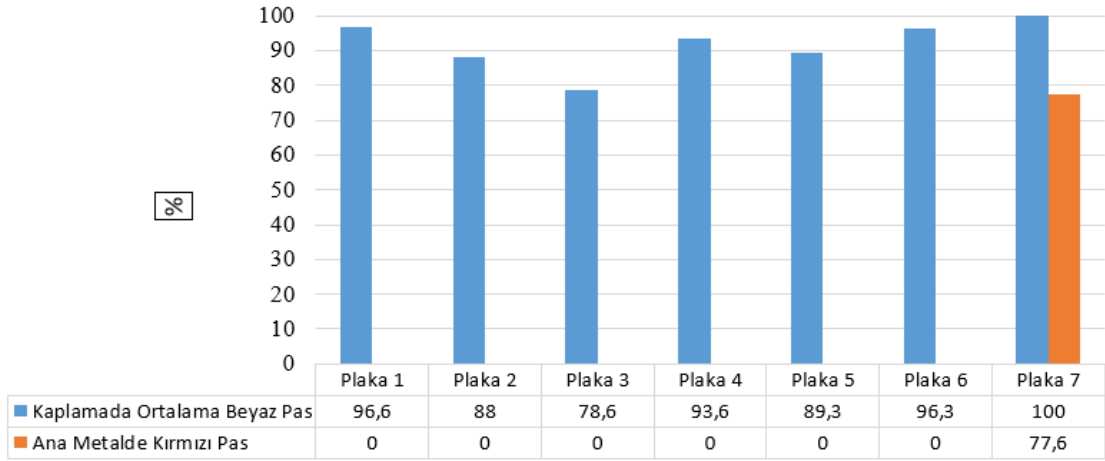
Şekil 4.18. Plaka 7 (kaplamasız çelik) 120 saat tuz püskürtme testi sonrası

Tüm numunelere ait görsel değerlendirme sonuçları Çizelge 4.4'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Her bir plakadan şahit numune olması amacıyla üçer adet test edilmiştir. Plakalara ait ortalama test sonuçları ise Şekil 4.19'da açıklanmıştır.

Çizelge 4.4. Tuz püskürtme testi görsel değerlendirme sonuçları

	Şahit Numune 1	Şahit Numune 2	Şahit Numune 3
Plaka 1	Kaplamada %96 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %97 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %97 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 2	Kaplamada %85 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %95 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %84 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 3	Kaplamada %79 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %71 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %89 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 4	Kaplamada %66 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %90 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %95 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 5	Kaplamada %91 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %91 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %86 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 6	Kaplamada %96 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %97 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %96 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 7	Numune yüzeyinde %79 oranında kırmızı pas	Numune yüzeyinde %79 oranında kırmızı pas	Numune yüzeyinde %75 oranında kırmızı pas

Tuz püskürtme testi sonuçlarını beyaz pas oranına göre kıyaslandığında plaka 1, kaplamada %96,6 beyaz pas oranı sergileyerek yüksek beyaz pas oranı ile korozyon direncinin potansiyel olarak düşük olduğunu gösterir. Plaka 2, %88 beyaz pas oranı ile korozyon direncinin daha iyi olabileceğini gösterir. Plaka 3, %78,6 beyaz pas oranı daha iyi korozyon direncine işaret etmektedir. Plaka 4 %93,6 yüksek beyaz pas oranı ile korozyon direncinin potansiyel olarak düşük olduğunu gösterir. Plaka 5 %89,3 orta seviyede beyaz pas oranı ile korozyon direncinin daha iyi olabileceğini gösterir. Plaka 6 %96,3 yüksek beyaz pas oranı ile korozyon direncinin potansiyel olarak düşük olduğunu gösterir. Plaka 7 (Kaplamasız) ana metalde %77,6 kırmızı pas oranı ile korozyon direnci açısından olumsuz bir durum sergileyerek kaplamasız olmanın dezavantajını yansıtmaktadır.



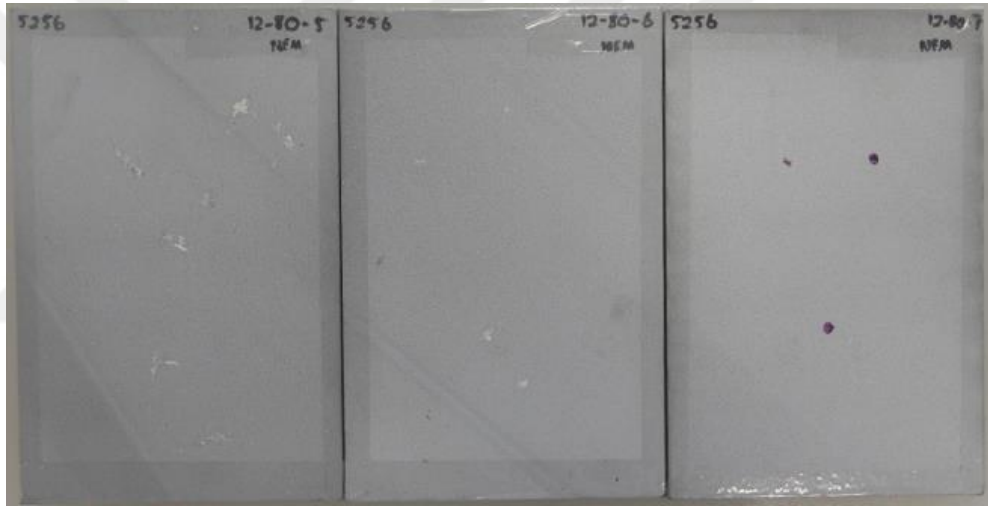
Şekil 4.19. Tuz püskürtme testi sonrası ortalama pas oranları

Korozyon direncini en iyi sergileyen numune, beyaz pas oranının düşük olduğu ve diğer pas türlerinin (örneğin, kırmızı pas) bulunmadığı numunedir. Beyaz pas oranının düşük olması, kaplamanın ve ana metalin korozyona karşı daha dayanıklı olduğunu gösterir. Genel olarak, beyaz pas oranının artması genellikle korozyon direncinin azalmasına işaret etmektedir. Plaka 3, 240 µm kaplama kalınlığı ve 12 cm püskürtme mesafesiyle birlikte değerlendirildiğinde, düşük beyaz pas oranına sahip olduğundan daha iyi bir korozyon direnci beklenirken, Plaka 1 yüksek beyaz pas oranına sahip olduğundan daha düşük bir korozyon direnci beklenir. Plaka 7, kaplamasız bir numune olarak değerlendirildiğinde, ana metalde %77,6 oranında çok yüksek kırmızı pas içermektedir. Bu durum kaplamaların metal yüzeyleri koruyan bir bariyer oluşturarak korozyon direncini artırdığının kesin bir göstergesidir.

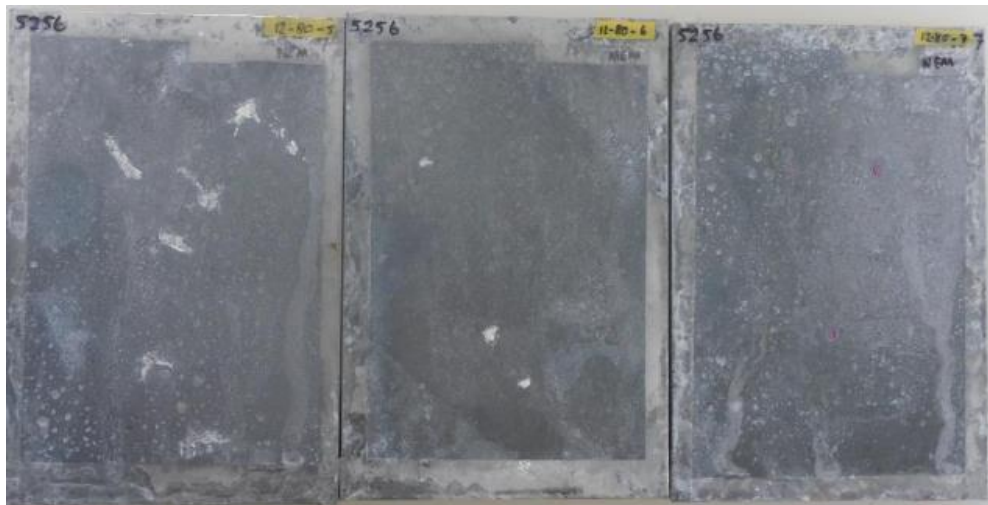
4.1.5. Nem testi sonuçları

Nem testleri sürekli yoğunlaşma yöntemi ile TS EN ISO 6270-1 standardına gerçekleştirilmiş ve test sonucunda numuneler görsel olarak değerlendirilmiştir. Görsel değerlendirme, test sonuçlarını değerlendirmenin bir yöntemidir. Bu değerlendirme testin 120. saatinin sonunda, malzemenin üzerinde oluşan korozyonun tipini, yoğunluğunu ve yayılma durumunu incelemeyi içermektedir. Test sonuçları için şahit numune olması amacıyla her bir numuneden 3 adet test edilmiştir.

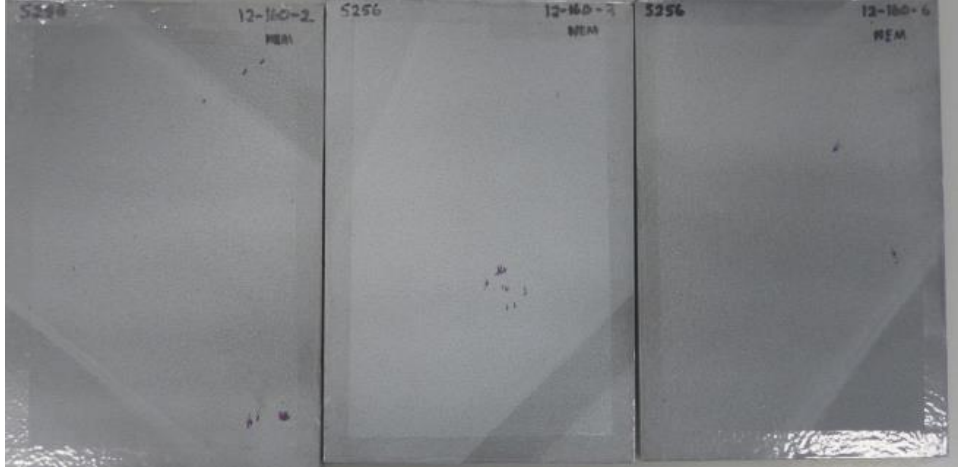
Şekil 4.20-22-24-26-28-30-32’te numune plakaların nem testi öncesindeki ve Şekil 4.21-23-25-27-29-31-33’de numune plakaların 120 saatlik test sonucundaki durumları gösterilmektedir.



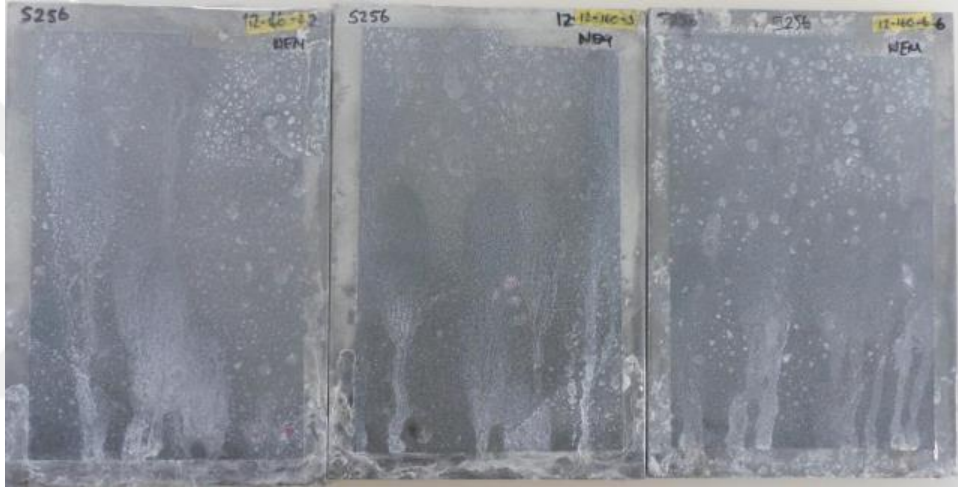
Şekil 4.20. Plaka 1 (80 µm-12 cm) nem testi öncesi



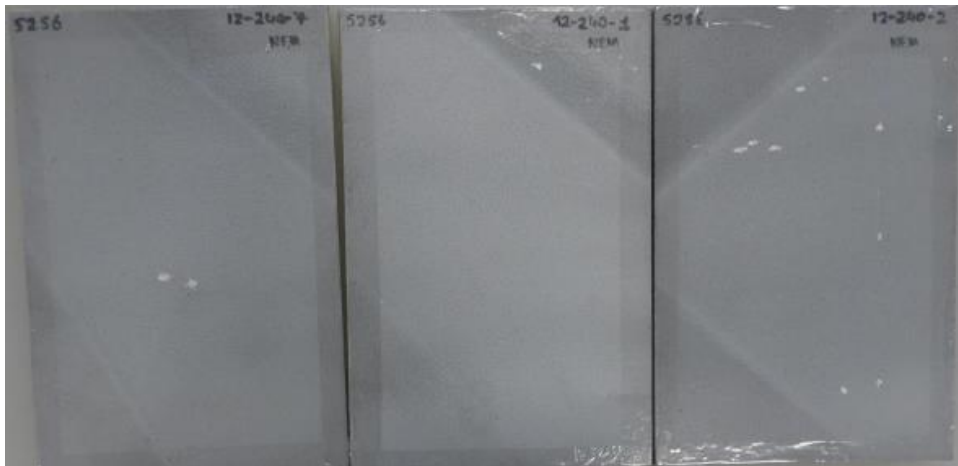
Şekil 4.21. Plaka 1 (80 µm-12 cm) 120 saat nem testi sonrası



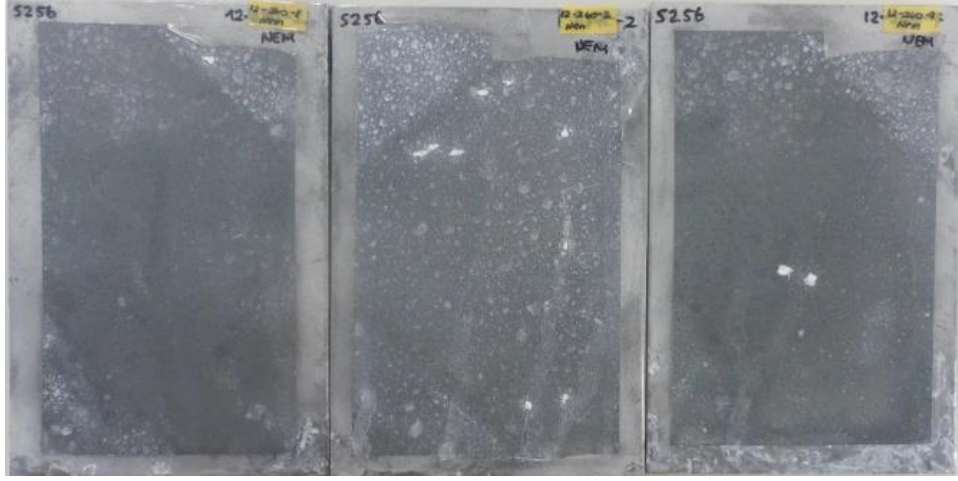
Şekil 4.22. Plaka 2 (160 µm-12 cm) nem testi öncesi



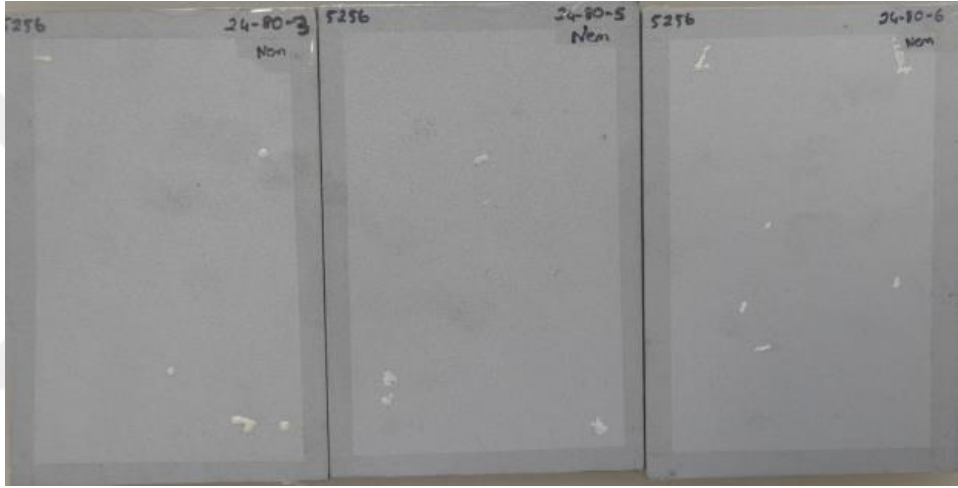
Şekil 4.23. Plaka 2 (160 µm-12 cm) 120 saat nem testi sonrası



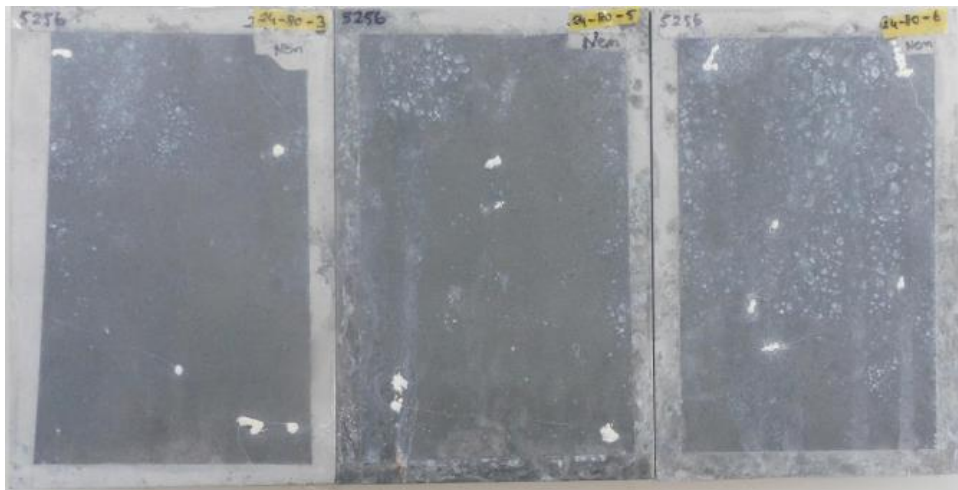
Şekil 4.24. Plaka 3 (240 µm-12 cm) nem testi öncesi



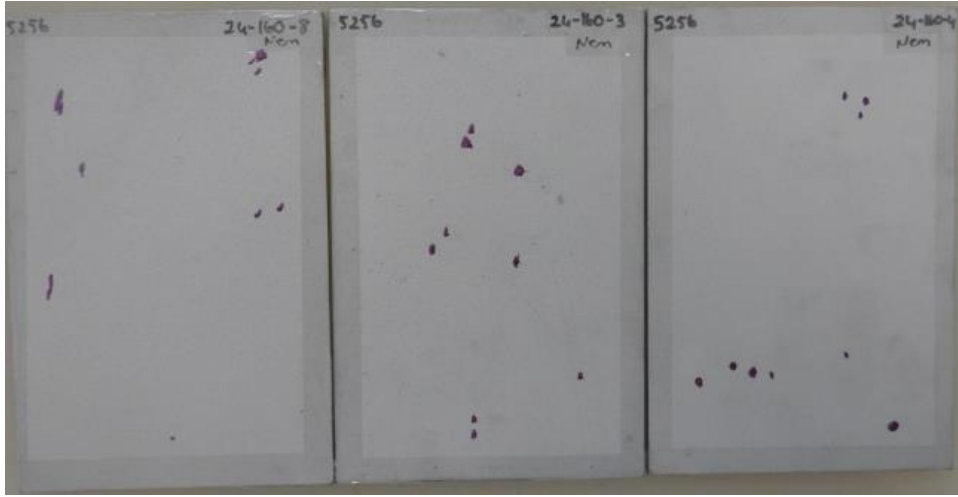
Şekil 4.25. Plaka 3 (240 µm-12 cm) 120 saat nem testi sonrası



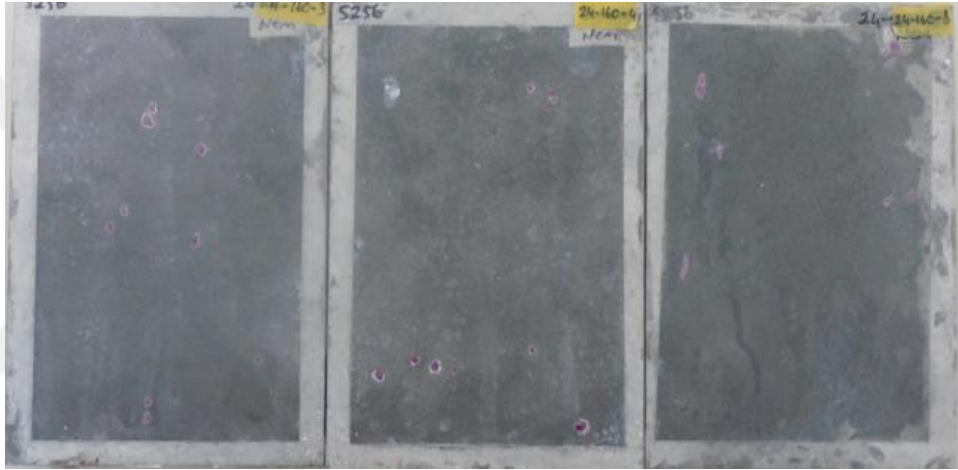
Şekil 4.26. Plaka 4 (80 µm-24 cm) nem testi öncesi



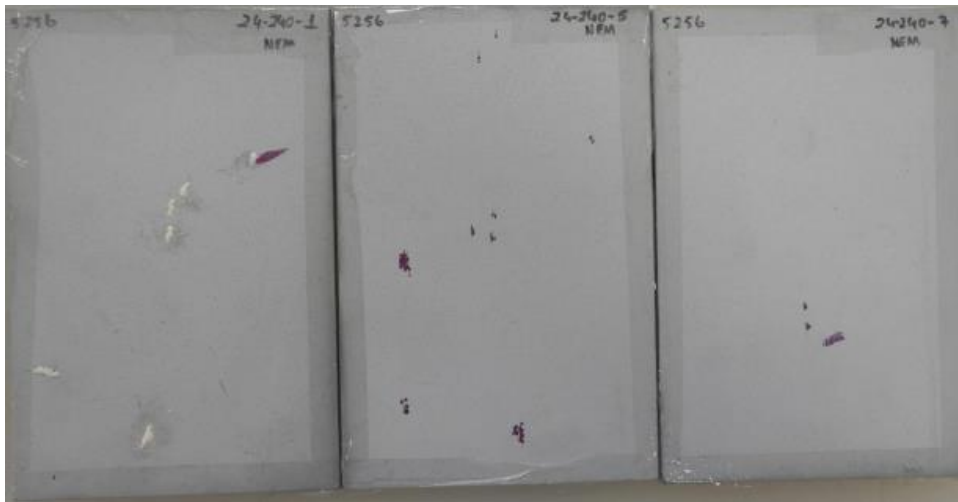
Şekil 4.27. Plaka 4 (80 µm-24 cm) 120 saat nem testi sonrası



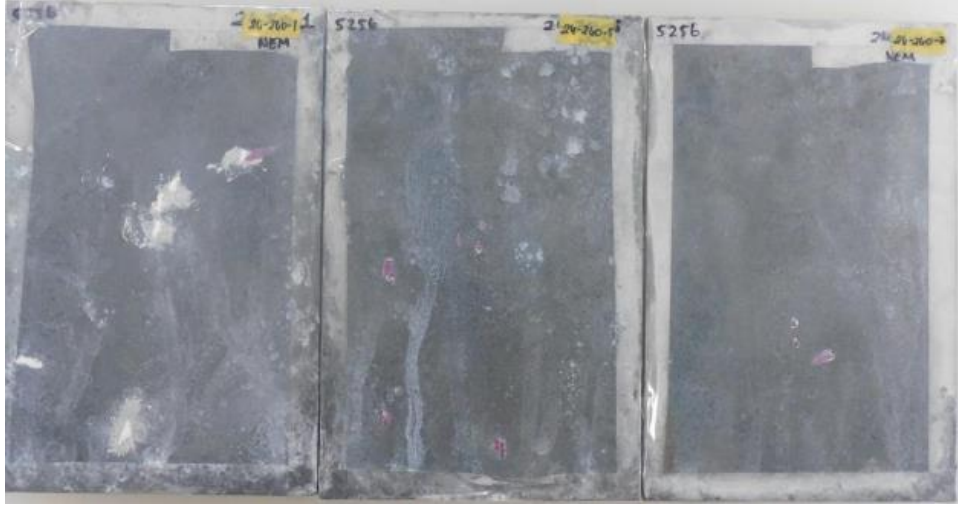
Şekil 4.28. Plaka 5 (160 μ m-24 cm) nem testi öncesi



Şekil 4.29. Plaka 5 (160 μ m-24 cm) 120 saat nem testi sonrası



Şekil 4.30. Plaka 6 (240 μ m-24 cm) nem testi öncesi



Şekil 4.31. Plaka 6 (240 μ m-24 cm) 120 saat nem testi sonrası



Şekil 4.32. Plaka 7 (kaplamasız çelik) nem testi öncesi



Şekil 4.33. Plaka 7 (kaplamasız çelik) 120 saat nem testi sonrası

Tüm numunelere ait görsel değerlendirme sonuçları Çizelge 4.5'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Her bir plakadan şahit numune olması amacıyla üçer adet test edilmiştir. Plakalara ait ortalama test sonuçları ise Şekil 4.34'da açıklanmıştır.

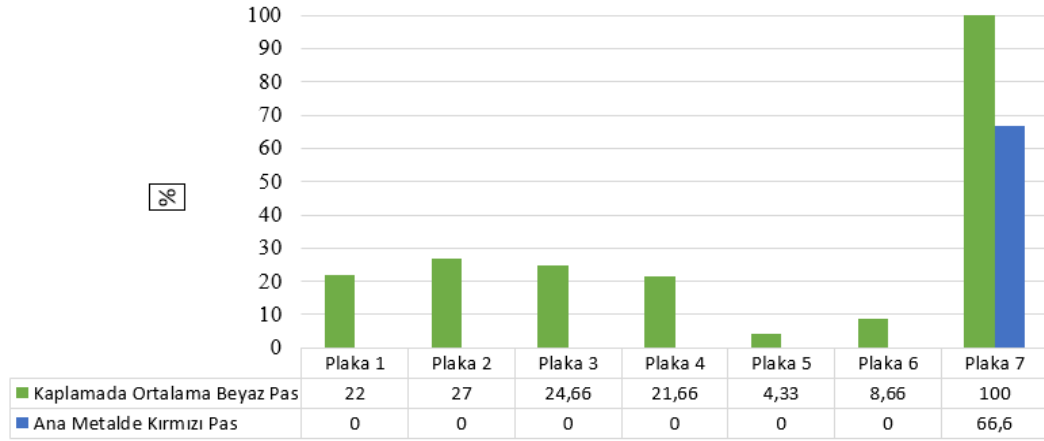
Çizelge 4.5. Nem testi görsel değerlendirme sonuçları

	Şahit Numune 1	Şahit Numune 2	Şahit Numune 3
Plaka 1	Kaplamada %36 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %12 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %18 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 2	Kaplamada %39 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %11 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %31 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 3	Kaplamada %21 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %39 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %14 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 4	Kaplamada %20 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %21 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %24 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 5	Kaplamada %6 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %5 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %2 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 6	Kaplamada %6 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %17 beyaz pas. Ana metalde pas yok.	Kaplamada %3 beyaz pas. Ana metalde pas yok.
Plaka 7	Numune yüzeyinde %80 oranında kırmızı pas	Numune yüzeyinde %80 oranında kırmızı pas	Numune yüzeyinde %40 oranında kırmızı pas

TS EN ISO 6270-1 standardına göre gerçekleştirilen nem testi sonuçlarına göre plakaların korozyon performansı değerlendirildiğinde, beyaz pas oranları ve kaplama kalınlıkları arasında belirgin farklılıklar görülmektedir. Plaka 7'nin kaplamasız olması ve %66 kırmızı pas içermesi, ana metalin korozyona karşı yüksek hassasiyetini yansıtarak kaplama eklenmesinin gerekliliğini göstermektedir. Diğer yandan, kaplamalı plakalarda beyaz pas oranları incelendiğinde, Plaka 5 ve Plaka 6'nın düşük beyaz pas oranlarına sahip olmaları, daha kalın kaplamaların ve uzak püskürtme mesafelerinin korozyon direncini artırdığını gösterir.

Ancak, Plaka 5 ve Plaka 6'nın düşük beyaz pas oranlarına rağmen Plaka 1 ve Plaka 2'deki orta seviyede beyaz pas oranları dikkate değerdir. Bu durum, kaplama kalınlığı yanında uygulama koşullarının ve kaplama malzemesinin de korozyon direncini etkileyebileceğini gösterir.

Sonuç olarak, beyaz pas oranlarının düşük olması, kaplamaların korozyona karşı direncinin iyi olduğunu gösterebilir. Korozyon direncini en iyi şekilde sağlamak için hem uygun kaplama kalınlığı hem de uygun kaplama malzemesi seçimi önemlidir.



Şekil 4.34. Nem testi sonrası ortalama pas oranları

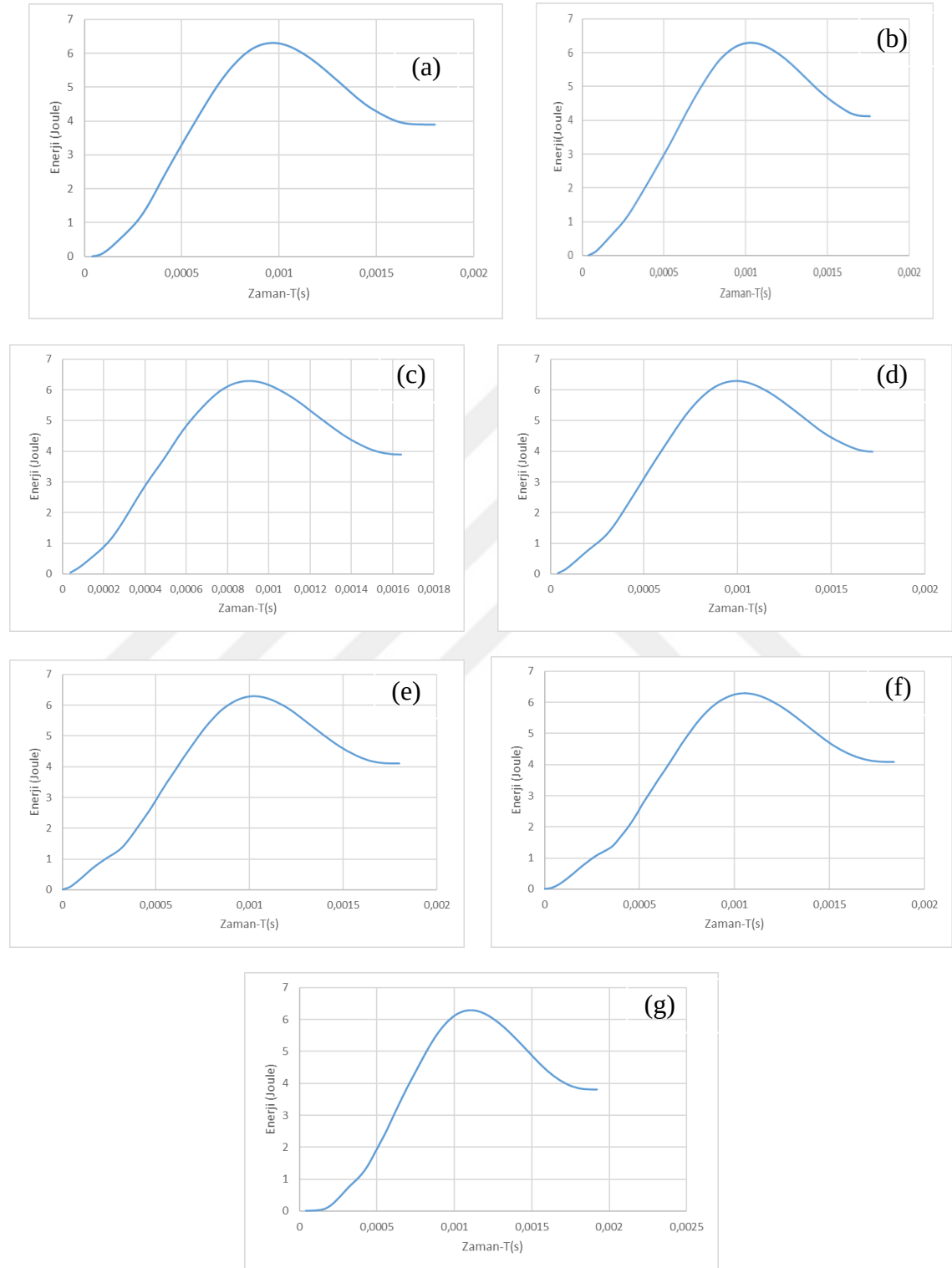
4.1.6. Düşük hızda darbe deneyleri sonuçları

Kaplamaların genel darbe dayanımını ve çatlama direncini değerlendirmek amacıyla ASTM D7136 standardına göre gerçekleştirilen düşük hızda darbe deneyini ait test parametreleri ve sonuçlar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Düşük hızda darbe deneyi test parametreleri ve sonuçları

	Plaka 1	Plaka 2	Plaka 3	Plaka 4	Plaka 5	Plaka 6	Plaka 7
Kütle (kg)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
İlk hız (m/s)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Toplam Impuls (N.Sec)	576,854	591,397	534,24	582,412	588,968	611,803	675,756
Toplam Enerji (J)	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Absorbe Edilen Enerji (J)	3,89	4,126	3,905	3,994	4,108	4,088	3,81
İade Edilen Enerji (J)	2,409	2,173	2,394	2,305	2,191	2,211	2,489
Temas Rijitliği (N/Sec)	21916440,56	15787061,58	23812775,17	16991713,29	12104209,08	9624259,804	14827425,57
Eğilme Rijitliği (N/m)	15736053,26	11425956,77	17405390,26	12238945,87	8725317,809	6881584,28	10242182,03
Toplam Süre (S)	0,0018	0,0017	0,0016	0,0017	0,0018	0,0018	0,0019
Tepe Kuvvet (N)	13872,39	13830,89	14149,06	13711,92	13623,38	14132,46	13703,62

Çizelge 4.6’da verilen parametreler ışığında tüm numunelere ait Kuvvet-Zaman, Enerji-Zaman ve Kuvvet-Deplasman grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.35-4.36-4.37).

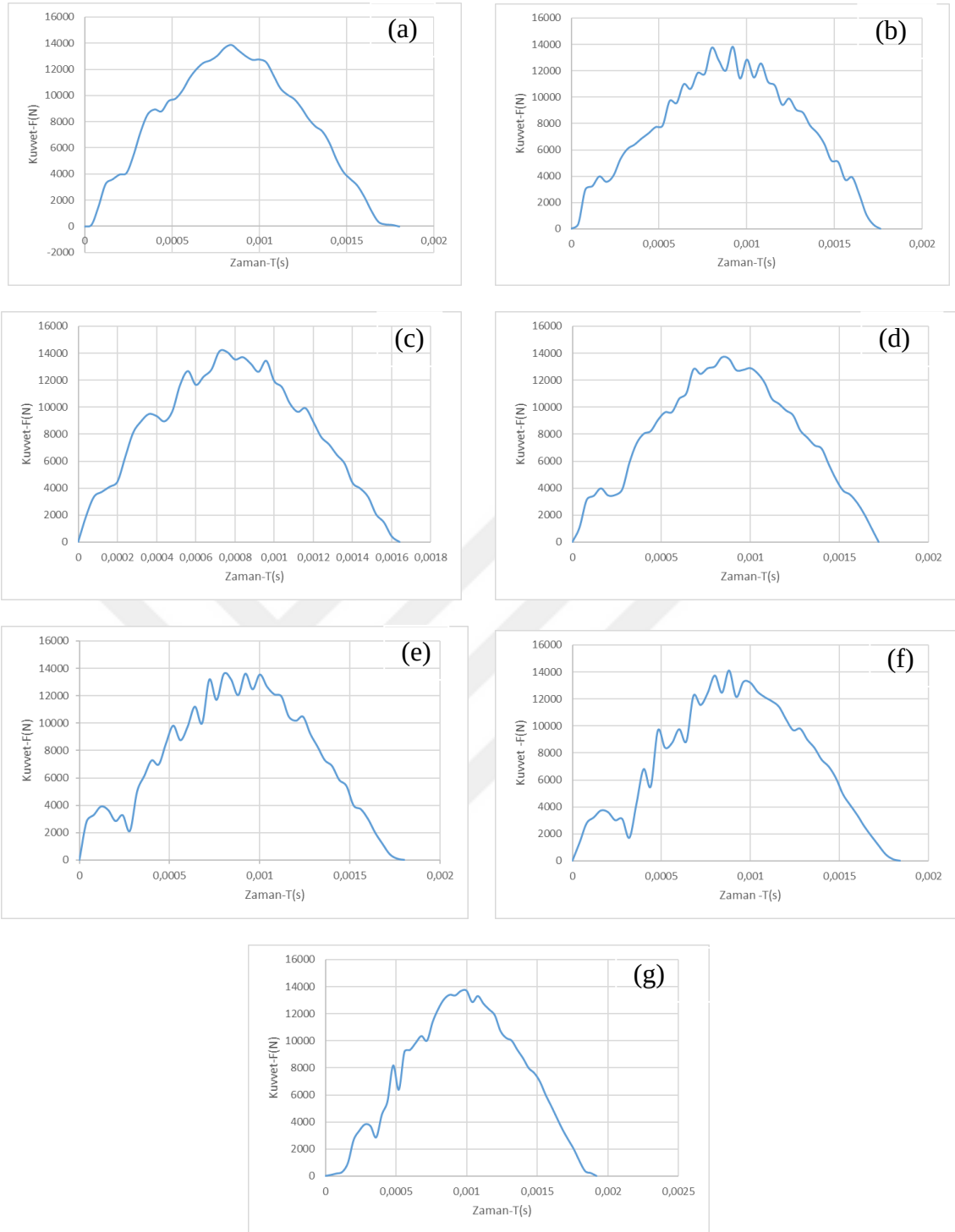


Şekil 4.35. (a) Plaka 1 (80 μm -12 cm), (b) Plaka 2 (160 μm -12 cm), (c) Plaka 3 (240 μm -12 cm), (d) Plaka 4 (80 μm -24 cm), (e) Plaka 5 (160 μm -24 cm), (f) Plaka 6 (240 μm -24 cm), (g) Plaka 7 (kaplamasız) numunelere ait absorbe edilen enerji-zaman eğrileri

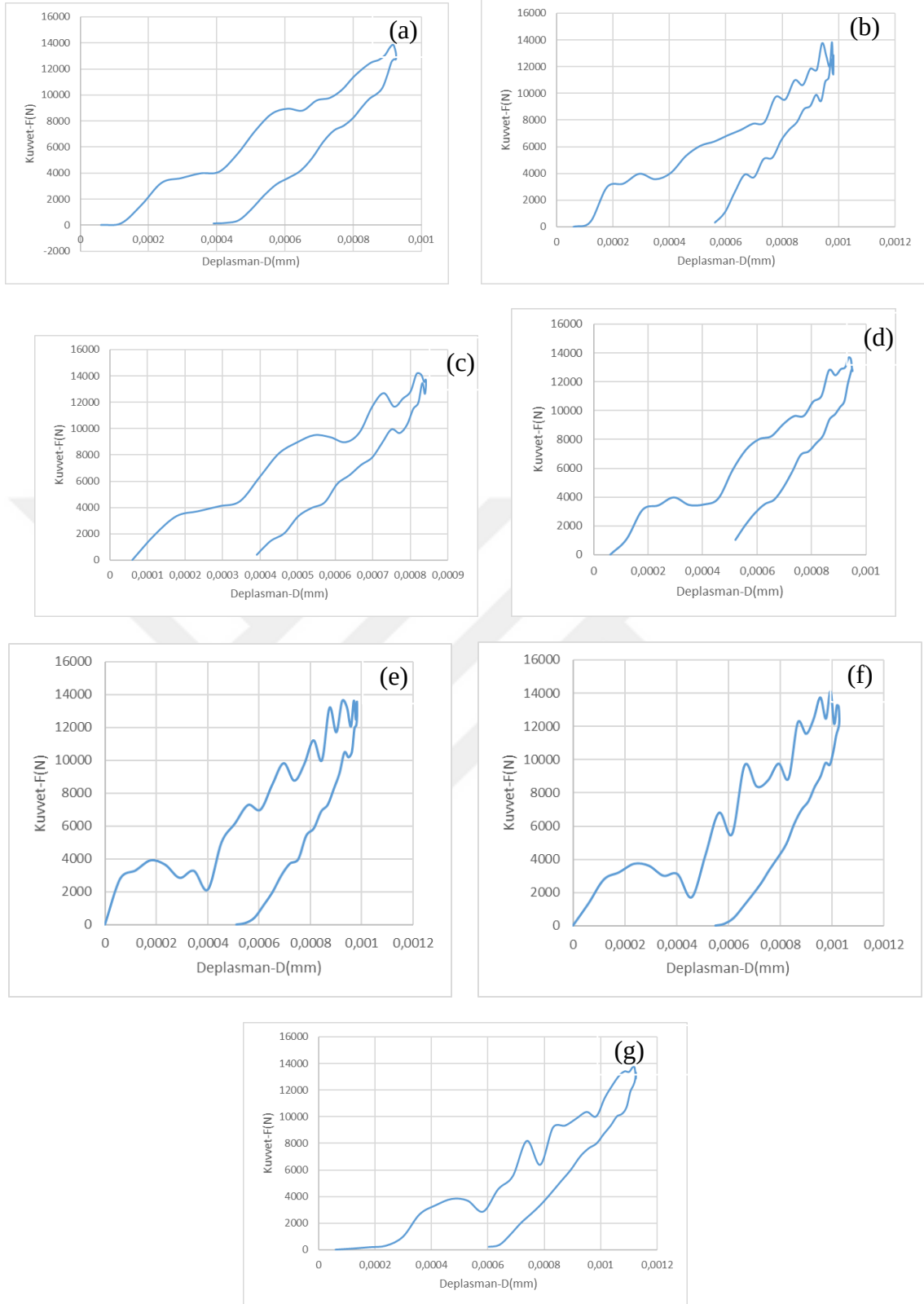
Numunelere ait düşük hız darbe testi sonucunda çizilen absorbe edilen enerji-zaman eğrileri, malzemenin darbeye karşı dayanıklılığını ve enerji emme kapasitesini göstermektedir. Bu eğriler, malzemenin darbe altında nasıl davrandığını ve enerjiyi nasıl absorbe ettiğini gösteren bilgiler sunmaktadır. Eğrinin tepe noktaları, malzemenin darbe enerjisini absorbe ettiği ve bu sırada ne kadar enerji emdiği hakkında bilgi vermektedir. Daha yüksek tepe değerleri genellikle daha iyi bir darbe direncini gösterir.

Ani bir yükselme veya düşüş, malzemenin çatlamaya veya deformasyona uğradığını göstermektedir. Düzgün bir eğri, enerji emme ve dağıtma açısından olumlu bir davranışı temsil eder. Absorbe edilen enerji-zaman eğrileri incelendiğinde tüm numuneler için tepe değerler 6,3 J ve 6,4 J aralığında olduğundan dolayı darbe dirençleri kıyaslandığında belirgin bir fark veya kaplamanın olumsuz bir etkisi bulunmadığı görülmüştür.

Numunelere ait düşük hız darbe testi sonucunda çizilen kuvvet-zaman ve kuvvet-deplasman grafikleri incelendiğinde malzemenin darbe dayanıklılığı ve davranışı hakkında bilgi sağlamaktadır. Kuvvet-zaman ve kuvvet-deplasman grafiklerinde başlangıç bölgesi, malzemenin elastik davranışını temsil etmektedir. Burada, uygulanan kuvvet malzeme üzerinde elastik deformasyonlara neden olur, ancak malzeme bu deformasyonları kuvvet uygulanmaya son verildiğinde geri alır. Malzeme belirli bir stres seviyesine ulaştığında, plastik deformasyon başlar. Grafiklerde oluşan ani bir düşüş, çatlak oluşumu veya diğer plastik deformasyon mekanizmalarının etkisiyle enerjinin serbest bırakıldığı bir noktayı göstermektedir. Kaplama, çatlak oluşumunu önleyerek veya sınırlayarak malzemenin eski elastik davranışına geri dönmesine izin verir. Ani düşüşü takip eden yükseliş ise çelik üzerine uygulanan kaplamanın malzemenin elastik davranışına dönüşünü simgelemektedir. Bu bölge, malzemenin çatlak oluşumu olmaksızın enerjiyi absorbe etmeye devam ettiği bir noktayı temsil etmektedir.



Şekil 4.36. (a) Plaka 1 (80 µm-12 cm), (b) Plaka 2 (160 µm-12 cm), (c) Plaka 3 (240 µm-12 cm), (d) Plaka 4 (80 µm-24 cm), (e) Plaka 5 (160 µm-24 cm), (f) Plaka 6 (240 µm-24 cm), (g) Plaka 7 (kaplamasız) numunelere ait kuvvet-zaman eğrileri



Şekil 4.37. (a) Plaka 1 (80 μm -12 cm), (b) Plaka 2 (160 μm -12 cm), (c) Plaka 3 (240 μm -12 cm), (d) Plaka 4 (80 μm -24 cm), (e) Plaka 5 (160 μm -24 cm), (f) Plaka 6 (240 μm -24 cm), (g) Plaka 7 (kaplamasız) numunelere ait kuvvet-deplasman eğrileri

Kuvvet-deplasman grafiklerinde 6 adet kaplamalı ve 1 adet kaplamasız çelik levhada da nüfuziyet esas alınarak kapalı eğri grafiği oluşturulmuştur. Kuvvet-deplasman grafiklerine göre, farklı parametrelerle kaplanmış tüm örneklerin darbe direncinde kaplanmamış çelik örneğine kıyasla belirgin bir düşüş görülmemektedir.

ZnAl8515 tel ile yapılan alev püskürtme kaplaması öncelikle korozyon koruması amacıyla uygulanır. Ancak, kaplamanın bir sonucu olarak çeliğin darbe direncinde meydana gelebilecek azalma genellikle istenmez. Çizelge 4.6'da tüm örnekler için tepe deplasman değerlerini listeleyerek sunulmuştur.

Grafikler, darbe direnci açısından incelendiğinde tepe deplasman değerleri arasında 0,0002 mm'lik bir ortalama fark bulunmaktadır. Bu tepe deplasman farkı, kaplamanın darbe direnci üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını kanıtlar.

Genellikle korozyona karşı koruma için kullanılan ZnAl8515 kaplamalarının, darbe direnci üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığından dolayı, ZnAl8515 kaplama teli ile yapılan alev püskürtme kaplama yöntemi, darbe direncinin gerektiği yerlerde rahatlıkla tercih edilebilir.

Düşük hızda darbe testleri gerçekleştirilirken Plaka 5'te (160 μ m-24 cm) ortalama 1 cm uzunluğunda bir kaplama çatlağı meydana gelmiştir. Kaplama üzerinde meydana gelen çatlak Şekil 4.38'de gösterilmektedir.



Şekil 4.38. Plaka 5 (160 μ m-24 cm) numunesinde oluşan kaplama çatlağı

Çatlağın sebepleri araştırıldığında çatlamların temel nedenleri arasında malzeme seçimi, kaplama işlemi ve alt tabakanın özellikleri gibi faktörler bulunmaktadır. İlk olarak, kaplama malzemesinin darbeye karşı düşük dirence sahip olması veya darbeler sonucunda yeterince deformasyon gösterememesi durumunda

çatlaklar oluşabilir. Kaplama malzemesinin elastik ve plastik deformasyon yeteneklerinin düşük olması, darbenin enerjisini emme ve dağıtma kapasitesini sınırlayabilmektedir. Fakat testler sırasında sadece plaka 5'te çatlak meydana geldiği için çatlağın farklı bir sebepten meydana geldiği düşünülmektedir.

İkinci olarak, kaplama işlemi sırasında malzemenin homojen bir şekilde uygulanmamış olması veya yeterince yapışkanlık kazanmamış olması çatlak oluşumunu tetikleyebilir. Kaplama üzerinde, çeşitli stres noktalarının oluşmasına ve malzeme zayıflıklarının belirmesine neden olabilir. Ayrıca, yeterince yapışkanlık kazanmayan kaplama malzemesi, darbeye maruz kaldığında ayrılma veya çatlamalara yol açabilir. Çatlak oluşumu gözlenen plaka 5 numunesinin kaplama kalınlığı farklı bölgelerden ölçülerek tüm yüzeyde kaplama kalınlığının homojen dağıldığı görülmüştür.

Ayrıca 160 µm-24 cm kalınlığındaki kaplama yapışma testinde Sınıf 0'da yer alarak mükemmel yapışma dayanımı sergilemiştir. Bu sebeple çatlağın farklı bir sebepten meydana geldiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak kaplama çatlağı sadece bir numunede (Plaka 5) oluştuğundan dolayı darbe testi sırasında oluşan çatlağın yetersiz yüzey temizliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kumlama işlemi sırasında veya sonrasında numune yüzeyinde kalan toz veya çapakların, kaplamanın yüzeye iyi yapışmasını engellediği ve sonuçta darbe testi sırasında kaplamada çatlağa neden olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada ZnAl8515 kaplama teli ile 3 farklı kaplama kalınlığında ve 3 farklı püskürtme mesafesinde kaplanan çelik numunenin korozyon, yapışma dayanımı, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve darbe dayanımı performansı incelenmiştir.

Sonuç olarak;

1. Brinell sertlik test sonuçlarına göre, kaplamasız numunenin sertliği 176,8 olarak belirlenmiştir, bu da malzemenin doğal sertliğini yansıtmaktadır. Püskürtme mesafesine bağlı olarak incelenen test sonuçları, farklı kaplama kalınlıklarının ve püskürtme mesafelerinin malzemenin sertliği üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Özellikle, 80 μm ve 160 μm kaplama kalınlıklarında 12 cm püskürtme mesafesinde sırasıyla 187,2 ve 174,3 HB sertlik değerleri elde edilmiştir, bu da ince kaplamanın sertliği artırabileceğini göstermektedir. Ancak, 160 μm 'luk bir kaplamanın sertliği olumsuz etkileyebileceği görülmüştür. Diğer yandan, 240 μm kaplama kalınlığında 12 cm püskürtme mesafesinde elde edilen düşük 102,8 HB sertlik değeri, çok kalın kaplamaların malzemenin sertliğini azaltabileceğini göstermektedir. En çarpıcı sonuçlardan biri, 240 μm kaplama kalınlığında 24 cm püskürtme mesafesinde elde edilen 73,1 HB sertlik değeridir, bu durum çok kalın bir kaplamanın ve uzak bir püskürtme mesafesinin bir araya gelmesinin malzemenin sertliğini ciddi şekilde düşürebileceğini göstermektedir.
2. Yüzey pürüzlülük test sonuçlarına göre, kaplamasız numunenin ortalama yüzey pürüzlülüğü 1,71 μm 'dir. Püskürtme mesafesi 12 cm iken, 80 μm ve 160 μm kaplama kalınlıklarında yüksek pürüzlülük değerleri gözlemlenmiştir. Özellikle, 80 μm kaplama kalınlığı ile elde edilen 15,14 μm ve 160 μm kaplama kalınlığı ile elde edilen 14,83 μm değerleri dikkat çekicidir. Ayrıca, 240 μm kaplama kalınlığı ile elde edilen 14,61 μm değeri, çok kalın kaplamaların yüzey pürüzlülüğünü artırabilir. Püskürtme mesafesi 24 cm olarak artırıldığında, 80 μm , 160 μm ve 240 μm kaplama kalınlıklarındaki numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinde genel bir

azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, uzak püskürtme mesafelerinin genellikle daha düşük yüzey pürüzlülüğü ile sonuçlandığını gösterir. Örneğin, 80 µm kaplama kalınlığı ile elde edilen 6,98 µm ve 160 µm kaplama kalınlığı ile elde edilen 6,35 µm değerleri bu azalmayı yansıtmaktadır. Sonuç olarak, püskürtme mesafesi ve kaplama kalınlığı parametrelerinin dikkatlice seçilmesi, istenen yüzey pürüzlülüğüne ulaşmak için önemlidir.

3. Yapışma testi sonucunda Sınıf 0 sonuçları, yapılan çizik direnci testinin yüksek dirence ve mükemmel yapışma özelliklerine işaret ettiğini gösterir. Yapışma testi sonuçlarına göre tüm numuneler Sınıf 0 kategorisindedir, bu da kaplamanın mükemmel yapışma özelliklerine ve yüksek çizik direncine sahip olduğunu gösterir. Plakaların gösterdiği mükemmel yapışma ve yüksek çizik direnci, kaplama malzemelerinin dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü vurgular. Tüm plakaların Sınıf 0'da yer alması, test edilen kaplama malzemelerinin kaliteli olduğunu ve endüstriyel veya ticari uygulamalarda güçlü bir dirence sahip olduklarını gösterir.
4. Tuz püskürtme testi sonuçlarına göre, plaka 1 yüksek beyaz pas oranı (%96,6) göstererek korozyon direncinin potansiyel olarak düşük olduğunu işaret ederken, plaka 2 (%88) ve plaka 3 (%78,6) daha iyi korozyon direncine işaret etmektedir. Plaka 4 yüksek beyaz pas oranı (%93,6) ile düşük korozyon direncini gösterirken, plaka 5 orta seviyede beyaz pas oranı (%89,3) ile daha iyi korozyon direncini işaret eder. Plaka 6 yüksek beyaz pas oranı (%96,3) ile potansiyel olarak düşük korozyon direncini gösterirken, plaka 7 (kaplamasız) yüksek kırmızı pas oranı (%77,6) ile olumsuz bir korozyon direncini yansıtmaktadır. Plaka 3, 240 µm kaplama kalınlığı ve 12 cm püskürtme mesafesiyle birlikte değerlendirildiğinde, daha iyi korozyon direnci beklenirken, plaka 1 yüksek beyaz pas oranı nedeniyle daha düşük bir korozyon direnci beklenir. Plaka 7'nin kaplamasız olması, tel alev spreynin korozyon direncini arttırmada çok etkili olduğunu göstermiştir.
5. TS EN ISO 6270-1 standardına göre yapılan nem testi sonuçlarına göre plakaların korozyon performansı değerlendirildiğinde, beyaz pas oranları ve kaplama kalınlıkları arasında belirgin farklılıklar gözlenmektedir. Kaplamasız Plaka 7'nin yüksek kırmızı pas oranı, ana metalin korozyona karşı hassasiyetini vurgulayarak kaplama eklenmesinin gerekliliğini gösterir. Kaplamalı plakalarda, Plaka 5 ve Plaka 6'nın düşük beyaz pas oranları, daha

kalın kaplamaların ve uzak püskürtme mesafelerinin korozyon direncini artırdığını gösterir. Ancak, Plaka 1 ve Plaka 2'deki orta seviyede beyaz pas oranları, uygulama koşullarının ve kaplama malzemesinin korozyon direncini etkileyebileceğini gösterir. Sonuç olarak, düşük beyaz pas oranları, kaplamaların korozyona karşı iyi direnç gösterdiğini işaret eder. Korozyon direncini en iyi sağlamak için uygun kaplama kalınlığı ve malzemesi seçimi önemlidir.

6. Düşük hızda darbe testi sonrasında çizilen kuvvet-deplasman grafikleri üzerinden yapılan analizler sonucunda, farklı parametrelerle kaplanmış çelik levhaların darbe dayanımında, kaplanmamış çelik örneğine kıyasla olumsuz bir etki görülmemektedir. Grafiklerde oluşan ani bir düşüş, çatlak oluşumu veya diğer plastik deformasyon mekanizmalarının etkisiyle enerjinin serbest bırakıldığı bir noktayı göstermektedir. Kaplama, çatlak oluşumunu önleyerek veya sınırlayarak malzemenin eski elastik davranışına geri dönmesine izin verir. Ani düşüşü takip eden yükseliş ise çelik üzerine uygulanan kaplamanın malzemenin elastik davranışına dönüşünü simgelemektedir. Bu bölge, malzemenin çatlak oluşumu olmaksızın enerjiyi absorbe etmeye devam ettiği bir noktayı temsil etmektedir. ZnAl8515 tel ile gerçekleştirilen alev püskürtme kaplaması genellikle korozyon koruması amacıyla kullanılır, ancak yapılan testlerde kaplamanın darbe direncini olumsuz etkilemediği gözlemlenmiştir. Çizelge 4.6'da tüm örneklerin tepe deplasman değerleri listelenmiş olup, grafikler incelendiğinde tepe deplasman değerleri arasında sadece 0,0002 mm'lik bir ortalama fark bulunmaktadır. Bu fark, kaplamanın darbe direnci üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını doğrular. Bu durum, genellikle korozyona karşı koruma amaçlı kullanılan ZnAl8515 kaplamalarının darbe direnci üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını ve alev püskürtme kaplama yönteminin darbe direncinin gerektiği yerlerde tercih edilebileceğini gösterir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın devamında, ileriye dönük araştırmalara yönelik öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- Bu çalışmada tuz püskürtme ve nem testleri 120 saat olarak gerçekleştirilmiş kaplamalar üzerinde kırmızı pas oluşumu başlamadan testler sona ermiştir. Kaplamaların korozyon performansının daha iyi açıklanabilmesi için testlerin daha uzun süreli olarak gerçekleştirilmesi
- Kaplamaların benzer parametreler ile tekrarlanarak aşınma dayanımı performanslarının incelenmesi
- Kaplamaların üzerine ek katman olarak boya tabakası eklenerek benzer terlerle mekanik özelliklerinin incelenmesi
- Kaplamaların genellikle araç üstü ekipmanlara uygulandığı düşünülerek kan, idrar vb. maddelere dayanımının incelenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akçin, Y., Osman, A. ve Yeşil, Ö., 2013, Kompozit malzemelerin kaplanabilirliğinin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (7), 319-322.
- Albayrak, M. ve Kaman, M. O., 2019, Charpy darbe testinin deneysel ve sayısal analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10 (3), 945-957.
- Alpaydın, S. ve Şimşek, A., 2014, Genel Kimya, Eğitim Kitabevi.
- Altuncu, E. ve Üstel, F., 2017, Termal spreyn kaplama sektöründe son gelişmeler-2017, *Metalurji*.
- Anık, S., Anık, E. S. ve Vural, M., 1993, 1000 Soruda kaynak teknolojisi el kitabı *İstanbul*, Birsan Yayınevi.
- Anonim, a., Termal püskürtme ve mühendislik uygulamalarına giriş, "<https://www.metallisation.com/applications/thermal-spray-engineering-applications/>" [Ziyaret Tarihi: 25 Mart 2023].
- Anonim, b., Manuel Alev Sprey Toz ve Tel Püskürtme Sistemleri, "<https://dehaendustri.com/alev-sprey-kaplama/>" [Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2023].
- Anonim, c., Flame Spray Equipment, "<https://www.metallisation.com/product-category/flame-spray/>" [Ziyaret Tarihi: 26 Mart 2023].
- Anonim, d., Ark Püskürtme Ekipmanı, "<https://www.metallisation.com/product-category/arc-spray/>" [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2023].
- Anonim, e., Plazma Sprey, "<https://www.erametalurji.com.tr/urunler/termal-sprey-ekipman/plazma-sprey/>" [Ziyaret Tarihi: 30 Mart 2023].
- Anonim, f., Alev Spreyi Nasıl Çalışır?, "<https://www.metallisation.com/how-does-flame-spray-work/>" [Ziyaret Tarihi: 1 Nisan 2023].
- Anonim, g., Kumlama Nedir? Nasıl Yapılır?, "<http://www.sspst.com/icerik/goTo/8/kumlama-nedir-nasil-yapilir.html>" [Ziyaret Tarihi: 3 Nisan 2023].
- Atar, A. ve Özgürlük, Y., 2021, NiCr bağ kaplamaya sahip termal bariyer kaplama (TBC) sisteminin mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak üretilen CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ (CMAS) tozları ile korozyon davranışlarının incelenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (3), 610-617.
- Ayday, A., 2018, Mikro ark oksidasyon işlemi ile kaplanan Ti6Al4V alaşımının yüzey karakterizasyonu ve korozyon özelliklerinin incelenmesi, *Sakarya University Journal of Science*, 22 (2), 243-247.

- Aygün, H., 2009, Korozyon ve jeotermal uygulamalar. Jeotermal Enerji Semineri: 423-446.
- Bülbül, F., 2014, Sert ve yumuşak kaplamalar, *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (2), 32-41.
- Campbell, F. C., 2008, Elements of metallurgy and engineering alloys, ASM international.
- Can, A. Ç., 2020, Makine Elemanları Tasarımı-2023, Ahmet Çetin CAN.
- Castolin Kaynak Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (1992). Endüstriyel Tamir ve Bakım İçin Geliştirilmiş Ürün ve Prosesler. *Katalog*, 226-260. İstanbul
- Çakmak, A., 2021, Yapı malzemesinin tarihsel gelişimi ve mimarlığa etkileri, *Atatürk Üniversitesi ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*, 5 (1), 41-54.
- Çalışkan, O., 2004, Termal sprey teknolojisinde alternatif uygulamalar, *Sakarya Üniversitesi*
- Çeçil, Ö. ve Şen, Ş., 2014, TiN kaplı AISI D2 çeliğinin korozyon davranışı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14 (3), 285-289.
- Das, S., Mukhopadhyay, A. K., Datta, S., Das, G. ve Basu, D., 2008, Hard glass-ceramic coating by microwave processing, *Journal of the European Ceramic Society*, 28 (4), 729-738.
- Davis, J. R. ve Committee, A. S. M. I. T. S. S. T., 2004, Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International.
- Dilek, S., 2021, Darbeli elektro-biriktirme yöntemi ile üretilen mikron altı boyutlu tic seramik partikül takviyeli Ni-W-TiC kompozit kaplamalar: tribolojik ve korozyon özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*
- Dorfman, M. R., 2012, “19 - Thermal Spray Coatings,” in Handbook of Environmental Degradation of Materials Oxford: William Andrew Publishing.
- Gorlach, I. A., 2009, A new method for thermal spraying of Zn–Al coatings, *Thin Solid Films*, 517 (17), 5270-5273.
- Güleç, A., 2006, Termal püskürtme tekniği ile yüksek performanslı Zn/Al (85/15) kaplamaların üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*
- Güleç, A., Yılmaz, F., Türk, A. ve Üstel, F., 2011, Comparison of corrosion performance of Zn and Zn/Al 85/15 Coatings Produced by TWEA, *Defect and Diffusion Forum*, 325-330.
- Hashmi, S., 2014, Comprehensive materials processing, Amsterdam: Elsevier Science.

- Islak, S. ve Özorak, C., 2019, Plazma sprey yöntemiyle AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde üretilen Ti₃SiC₂ MAX fazlı kaplamanın karakterizasyonu, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 206-213.
- Karadeniz, E., Ceylan, İ., Öz Saraç, U. ve Gökçe, A., 2011, Toz metal püskürtme yöntemi ile boru iç yüzeylerinin kaplanması ve karakterizasyonu, *International Powder Metallurgy Conference & Exhibition*, 652-659.
- Kaya, Ö. A., Çakır, K. ve Bozkurt, Y., 2017, Plazma püskürtme yöntemiyle çelik levha üzerine farklı alaşımların kaplanması, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9 (3), 36-42.
- Kocatürk, F., Zeren, D., Yurtdaş, S., Toparlı, M. B. ve Kılıçarslan, C., 2020, Soğuk dövmede kullanılan yüzey işlem metotları, *Mühendis ve Makina*, 61 (699), 116-131.
- Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M. ve Payer, J., 2016, International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study report.
- Kumar, N., Mahade, S., Ganvir, A. ve Joshi, S., 2021, Understanding the influence of microstructure on hot corrosion and erosion behavior of suspension plasma sprayed thermal barrier coatings, *Surface and Coatings Technology*, 419, 127306.
- Öz, A., Demir, A., Sağiroğlu, S. ve Yakut, A. K., 2019, Plazma sprey tekniği ile Cr₂O₃ kaplanmış fren diskinin frenleme performansının deneysel olarak incelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 394-403.
- Özel, S., 2013, Yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan ısı püskürtme yöntemleri, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 88-97.
- Pawlowski, L., 1995, The science and engineering of thermal spray coating. New York: John Wiley & Sons
- Sabry, F., 2022, Süper Alaşım: Daha sıcak, daha hızlı ve daha verimli olmak için türbin motorları tarafından üretilen 2700 derece Fahrenheit ısıya dayanıklı (Cilt 22) In: Knowledge Management, Eds: Melbourne: One Billion Knowledgeable.
- Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı. (2023, 04 01). *Alev Sprey*. sakarya.edu.tr: <https://teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10715/42048/alev-sprey> adresinden alındı
- Sarı, N. Y., Akay, S. ve Kaluç, E., 1997, Isıl Püskürtme, *Mühendis ve Makine*, 38, 19-25.
- Simunovic, K., 2010, Thermal Spraying, "<https://www.eolss.net/sample-chapters/c05/E6-171-17-00.pdf%22>" [Ziyaret Tarihi: 07 Temmuz 2023].

- Stm Coatech., (2016, Haziran 20), Korozyon Türleri, Sakarya: Stm Coatech Kalite Denetim Belgelendirme.
- Sulzer Metco (US) Inc., (1995, Kasım 17), Single cathode plasma gun with powder feed along central axis of exit barrel (Patent numarası: 5837959).
- Uzun, M., Gökkaya, H. ve Metlioğlu, M. R., 2014, St37 çelik levhanın türbinli kumlama tezgâhında kumlanması esnasında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Karaelmaz Science and Engineering Journal*: 58-62.
- Wang, G., Li, H., Li, P., Li, X., Wang, Y., 2023, Effect of cerium on the microstructure and anti-corrosion performance of Al-Zn coatings, *Surface and Coatings Technology*, 473, 130046, (ISSN 0257-8972).
- Yakup, K., Aktürkoğlu, F. ve Kahraman, N., 2018, AISI 8620 çelik malzemelerin plazma püskürtme yöntemiyle kaplanması ve kaplamaların karakterizasyonu, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (3), 1111-1122.