

## ALKALİ ÇİNKO VE ALAŞIMLI ÇİNKO KAPLAMA ÜZERİNE ÇÖZÜCÜ BAZLI ÇİNKO LAMELLİ KAPLAMA UYGULAMASI İLE OLUŞTURULAN ÇOK KATMANLI KAPLAMANNIN KOROZYON ÖNLEME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ahmet CAN<sup>1</sup>, Levent AKYALÇIN<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Uzman Kaplama San. Tic. Ltd. Şti, Bursa

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-0831-021X>

<sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6779-1597>

### Anahtar Kelimeler

Korozyon; Alkali Çinko ve Çinko Alaşimli Kaplama; Çinko Lamelli Kaplama

### Öz

Bu çalışmada, alkali çinko, çinko-nikel ve çinko-demir alaşım kaplama prosesleri ile çözücü bazlı çinko lamelli kaplama prosesi yeniden düzenlenerek bir araya getirilmiş ve iki farklı kaplama proselinin tekil üstün özellikleri birleştirilerek üstün korozyon önleme performansına sahip ürünlerin üretilmesine olanak sağlayan yeni bir proses geliştirilmiştir. Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen ve görsel uygunluk kriterini sağlayan kaplamalar kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerine tabi tutulmuştur. Geliştirilen yeni proses, yüksek korozyon direncine (>1000 saat tuz sis testi ve >63 döngü döngüsel korozyon testi), yüksek sıcaklık direncine (300 °C'de bir saat), kimyasal dirence ve elektriksel yalıtkanlığa sahip parçaların üretilmesini olanak sağlamıştır. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmış ve beklentilerden daha üstün özellikler elde edilmiştir.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MULTI-LAYER COATING ON CORROSION PREVENTION PERFORMANCE FORMED BY THE APPLICATION OF SOLVENT-BASED ZINC LAMEL COATING ON ALKALI ZINC AND ALLOY ZINC COATING

### Keywords

Corrosion; Alkaline Zinc and Zinc Alloy Plating; Zinc Lamella Coating

### Abstract

In this study, alkaline zinc, zinc-nickel, and zinc-iron alloy coating techniques were reorganized and merged, and a novel process was devised that allows the manufacturing of products with improved corrosion protection performance by combining their excellent qualities. The coatings obtained from the experimental studies and meeting the visual suitability criteria were subjected to dry adhesion, water resistance, moisture resistance, salt mist, cyclic corrosion, and chemical resistance tests. Parts with high corrosion resistance (1000 hours salt fog test and 63 cycles cyclic corrosion test), high-temperature resistance (one hour at 300 °C), chemically resistant and electrically insulating coatings were produced using the novel technology. The results obtained from the tests were compared with the expectations of the automotive industry and superior features were obtained.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 18.02.2022

: 27.07.2022

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 18.02.2022

: 27.07.2022

\* Sorumlu yazar; e-posta : lakyalcin@eskisehir.edu.tr



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Giriş

Denizcilik, yeraltı madenciliği, havacılık, otomotiv ve biyomedikal implantlar vb. agresif ortamlarda çalışan çelik malzemelerde oluşabilecek korozyonu önlemek için önerilen çözümlerden biri malzemenin korozyon direncini artırabilen metalik bir koruyucuyla kaplamaktır. Bu kaplamalar, fiziksel bir engel olabildiği gibi feda edilebilecek bir kaplama da olabilir. Kaplamanın altlık yüzeyine yapışmasını etkileyen iç gerilimler ile titreşim, sürtünme vb. gibi kullanıldığı yerdeki mekanik gerilimler, üstesinden gelinmek üzere optimize edilmesi gereken iki önemli parametredir. İdeal bir kaplama yüksek korozyon direncine sahip olmalı ve minimum çevresel tehdit oluşturmamalıdır. İdeal bir metalik koruyucu kaplama seçmek için, amaçlanan uygulamayı ve maruz kalma ortamını dikkate almak önemlidir (Maniam ve Paul, 2021).

Çelik malzemelerin korozyondan korunmasında çinko kaplamalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaplamalar, malzemeye iyi korozyon koruması ve mekanik nitelikler kazandırmasının yanı sıra malzemeye kaynak yapılmasına ve malzemenin boyanmasına imkân vermektedir. Çinko kaplamaların, çelik malzemeleri korozyondan korumak için fedakâr bir tabaka olarak hareket ettiği kanıtlanmış olsa da bunlar hızlı bir şekilde korozyona uğramakta ve bu durum kaplamaların genel performansını ve dayanıklılık ömrünü bulunduğu ortamla olan etkileşimine bağlı olarak önemli ölçüde etkilemektedir. Otomotiv sanayisinin kullandığı çelik malzemelerin korozyon performansını artırmak için çinko (Zn), kobalt (Co), nikel (Ni) ve demir (Fe) ile alaşımlandırılmakta ve sertlik, homojenlik, şekil değiştirilebilirlik, kaynaklanabilirlik, boyanabilirlik, korozyon ve aşınma direnci gibi işlevsel özelliklerine ve endüstrinin gereksinimlerine uygun ilave katkı sağlamak için kullanılmaktadır (Zaki, 1994).

Çinko-nikel kaplama prosesiyle ilgili olarak literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu tür kaplamalar için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar, asidik ve siyanür olmayan alkali kaplama sistemleridir. Asidik sistemlerde %10-14 arasında, alkali sistemlerde ise %5-9 arasında değişen miktarda nikel içeriğine ve yüksek korozyon direncine sahip kaplamalar yapılabilmektedir. Alkali banyolar hem düşük hem de yüksek akım yoğunluklarında, kaplamada tek düze nikel içeriği oluşturma avantajına sahiptir. Bir diğer avantajı ise kaplamasız iç alanlara karşı aşındırıcı olmamasıdır. Bu yöntem korozyon direnci, kullanım kolaylığı ve kadmiyum kaplama proselinin yerini alabilmesi gibi uygulama açısından iyi özelliklere sahiptir. Hem askı hem de dökme kaplamalar için kararlı bir banyodur. Öte yandan, alkali banyo ile kaplama hızı daha düşüktür (Chandrasekar, Srinivasan ve Pushpavanam, 2008).

Çinko-demir kaplama prosesi genellikle sülfat veya klorür bazlı asit tipi prosesler olup kompleksleştirici

olarak sitrik asit kullanılmaktadır. Çinko-demir kaplama prosesi, çinko-nikel kaplama prosesinden daha zahmetli olsa da çinko-demir alaşım kaplamaları, çinko-nikel alaşım kaplamalarına göre daha iyi fosfatlanabilmekte ve daha iyi boyanabilmektedir (Pushpavanam, 2000). Zn-Fe alaşımlarının asit ve alkali banyolardaki elektrokaplama, korozyona karşı dayanıklı ve yüksek kalitede kalın, pürüzsüz, parlak, sert ve yüzeye iyi tutunan siyah renkli kaplamaların elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Kaplamadaki Fe miktarı düşük (%10'dan az) ise kaplamalar açık gri renkte olup Fe oranının artmasıyla (%20'den fazla) kaplamanın rengi koyulaşarak siyaha dönmektedir. Zn-Fe alaşımın mikro sertliği çinkonunkinden daha yüksektir ve Fe miktarı arttıkça yükselir; örneğin %10 ve %40 Fe içeren alaşımların mikro sertlikleri sırasıyla 170 ve 300 HV'dir. Bununla birlikte, iyi kromat alıcılığı sağlamak için alaşım %0.5-1.0 Fe içermelidir. Alaşımdaki Fe içeriğinin %0.5 mertebesinde olmasının standart galvanizlemeden daha üstün pas direnci sağlamak için yeterli olduğu bildirilmiştir (Barbossa ve Carlos, 2006). Siyanür içermeyen alkali banyolar genellikle ekonomik olması, kurulumunun ve atık su arıtımının basit olması ve düşük derişimli, gümüş içermeyen siyah kaplamalar üretmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Bu alaşımların sunduğu korozyon koruma derecesi çinko-nikelden daha az, ancak çinkodan daha iyidir (Pushpavanam, 2000). Zn-Fe kaplamaları genellikle otomobillerdeki yakıt hatları ve ilgili bileşenleriyle, şasi bileşenleri ve kapı mandallarının korozyon korumalarında tercih edilmektedir.

Çinko lamelli kaplama, çinko ve alüminyum lamellerden ve lamellerin sıcaklıkla kürlenmesinden sonra metal altlığa yapışmasını sağlayan inorganik bağlayıcılardan oluşan korozyona dayanıklı bir kaplama şeklidir. Çinko lamelli kaplama, metal altlık gerekli temizleme basamaklarından geçtikten sonra püskürtmeyle, daldırma veya daldırıp döndürmeyle uygulanabilir (Can, 2019).

Çinko lamelli kaplamada kullanılan Delta Seal®, yüksek düzeyde çapraz bağlı bir bağlayıcı yapıdan ve yüksek kaliteli pigmentlerden oluşan organik bir mikro katmanlı son kat kaplamasıdır. Kuru filmde kadmiyum, krom ve kurşun gibi ağır metaller içermemektedir. Delta Seal® kuruduktan sonra altlığa kuvvetle tutunan, ince ve çok dayanıklı bir tabaka oluşturmaktadır. Delta Seal GZ® ise dişli bileşenlerde kullanıldığında Delta Seal®'in tüm özelliklerine ilaveten iyileştirilmiş bir tork/gerilim ilişkisi sağlamak için içeriğinde politetrafloroetilen (PTFE) bulunmaktadır (Delta Seal / Delta Seal Gz Description, 2022).

Otomotiv sanayinde korozyon önleme süreçleri içerisinde yer alan alkali çinko ve alkali çinko alaşım kaplama süreçleri ile çinko lamelli kaplama süreci birbirinden bağımsız uygulanan süreçlerdir. Bu süreçler içerisinde üretilen kaplamaların birbirlerinden üstün ve zayıf tarafları bulunmaktadır. Çalışmanın amacı, daha

uygun maliyetli, tüm şekil ve boyutlardaki parçalara uygulanabilen ve daha iyi korozyon direnci özelliklerine sahip kaplamalar üretebilen yeni bir kaplama süreci geliştirmektedir.

Farklı süreçlerden meydana gelen alkali çinko/çinko alaşım kaplama prosesleri ile çözücü bazlı çinko lamelli kaplama prosesleri yeniden düzenlenerek bu çalışma kapsamında bir araya getirilmiş, böylelikle farklı kaplama süreçlerinin olumlu yönleri birleştirilerek üstün korozyon önleme performansına sahip kaplamaların üretimi sağlanmıştır. Uygulanan bu yöntemle yüksek korozyon (1000 saat tuz sis testi ve 63 çevrim döngüsel korozyon testi) ve yüksek sıcaklık (300 °C'de bir saat) direncine sahip, elektrik iletken olmayan ve yüksek kimyasal dayanımı olan kaplamalar elde edilmiştir (Can, 2019). Yapılan çalışmalardan elde edilen kaplamalar görsel uygunluk kriterini sağladıktan sonra yapışma, su direnci, nem direnci, çekme yapışma, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç ve sıcaklık dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmıştır.

## 2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında oluşturulan üç farklı kaplama süreci şu şekilde özetlenebilir.

- I. Çözücü bazlı çinko lamelli kaplı / kaplı olmayan son kat kaplaması olan/olmayan alkali çinko kaplama işlemi
- II. Çözücü bazlı çinko lamelli kaplı / kaplı olmayan son kat kaplaması olan/olmayan alkali çinko-demir alaşım kaplama işlemi
- III. Çözücü bazlı çinko lamelli kaplı / kaplı olmayan son kat kaplaması olan/olmayan alkali çinko-nikel kaplama işlemi

Geliştirilen yeni kaplama yönteminde kullanılan iş akışı Şekil 1'de ve deney planlamaları ise Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Deneyler sırasında otomotiv sanayisine yönelik olarak üretilen ve boyutları 80x100x1 mm olan soğuk haddelenmiş DKP çelik sac levhalar kullanılmış olup, %0.08 C, %0.65 Mn, %0.01 P, %0.006 S, %0.01 Si ve %0.05 Al içermektedirler.

Alkali çinko/çinko alaşım kaplamalar ve çözücü bazlı çinko lamelli kaplamalar Uzman Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti., Bursa'da yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen alkali çinko/çinko alaşım kaplamalar üzerine çözücü bazlı çinko lamelli kaplama uygulamasındaki süreçler iki ana başlık altında değerlendirilmiştir. Bunlar, alkali çinko kaplamalar ve çinko lamelli kaplamadır. Deneysel çalışmalar sırasında takip edilen deney planlaması Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen Kaplama Prosesinin İş Akışı

Tablo 1

Zn (1-15) ve Zn-Fe (16-30) Kaplama Deney Planı

Deney No.	AKK	ÜK1	ÜK1K	ÜK2	ÜK2K	TK
1	5	DPK	8	DSB	20	33
2	8	DPK	8	DSB	20	36
3	12	DPK	8	DSB	20	40
4	5	DPK	8	-	-	13
5	8	DPK	8	-	-	16
6	12	DPK	8	-	-	20
7	5	DSB	20	-	-	25
8	8	DSB	20	-	-	28
9	12	DSB	20	-	-	32
10	5	DSBGZ	20	-	-	25
11	8	DSBGZ	20	-	-	28
12	12	DSBGZ	20	-	-	32
13	5	DSSGZ	20	-	-	25
14	8	DSSGZ	20	-	-	28
15	12	DSSGZ	20	-	-	32
16	5	DPK	8	DSB	20	33
17	8	DPK	8	DSB	20	36
18	12	DPK	8	DSB	20	40
19	5	DPK	8	-	-	13
20	8	DPK	8	-	-	16
21	12	DPK	8	-	-	20
22	5	DSB	20	-	-	25
23	8	DSB	20	-	-	28
24	12	DSB	20	-	-	32
25	5	DSBGZ	20	-	-	25
26	8	DSBGZ	20	-	-	28
27	12	DSBGZ	20	-	-	32
28	5	DSSGZ	20	-	-	25
29	8	DSSGZ	20	-	-	28
30	12	DSSGZ	20	-	-	32

AKK: Alt Kaplama Kalınlığı, µm	DPK: Delta Protekt KL100
ÜK1: Üst Kaplama - 1	DSB: Delta Seal Black
ÜK1K: 1. Üst Kaplama Kalınlığı, µm	DSBGZ: Delta Seal GZ Black
ÜK2: Üst Kaplama - 2	DSSGZ: Delta Seal GZ Silver
ÜK2K: 2. Üst Kaplama Kalınlığı, µm	
TK: Toplam Kaplama Kalınlığı, µm	

Tablo 2  
Zn-Ni Kaplama Deney Planı

Deney No.	AKK	%Ni	ÜK1	ÜK1K	ÜK2	ÜK2K	TK
31	5	12	DPK	8	DSB	20	33
32	8	12	DPK	8	DSB	20	36
33	12	12	DPK	8	DSB	20	40
34	5	15	DPK	8	DSB	20	33
35	8	15	DPK	8	DSB	20	36
36	12	15	DPK	8	DSB	20	40
37	5	18	DPK	8	DSB	20	33
38	8	18	DPK	8	DSB	20	36
39	12	18	DPK	8	DSB	20	40
40	5	12	DSB	20	-	-	25
41	8	12	DSB	20	-	-	28
42	12	12	DSB	20	-	-	32
43	5	15	DSB	20	-	-	25
44	8	15	DSB	20	-	-	28
45	12	15	DSB	20	-	-	32
46	5	18	DSB	20	-	-	25
47	8	18	DSB	20	-	-	28
48	12	18	DSB	20	-	-	32
49	5	12	DSBGZ	20	-	-	25
50	8	12	DSBGZ	20	-	-	28
51	12	12	DSBGZ	20	-	-	32
52	5	15	DSBGZ	20	-	-	25
53	8	15	DSBGZ	20	-	-	28
54	12	15	DSBGZ	20	-	-	32
55	5	18	DSBGZ	20	-	-	25
56	8	18	DSBGZ	20	-	-	28
57	12	18	DSBGZ	20	-	-	32
58	5	12	DSSGZ	20	-	-	25
59	8	12	DSSGZ	20	-	-	28
60	12	12	DSSGZ	20	-	-	32
61	5	15	DSSGZ	20	-	-	25
62	8	15	DSSGZ	20	-	-	28
63	12	15	DSSGZ	20	-	-	32
64	5	18	DSSGZ	20	-	-	25
65	8	18	DSSGZ	20	-	-	28
66	12	18	DSSGZ	20	-	-	32

AKK: Alt Kaplama Kalınlığı, $\mu\text{m}$	DPK: Delta Protekt KL100
%Ni: Ağırlıkça Nikel miktarı, %	DSB: Delta Seal Black
ÜK1: Üst Kaplama - 1	DSBGZ: Delta Seal GZ
ÜK1K: 1. Üst Kaplama Kalınlığı, $\mu\text{m}$	Black
ÜK2: Üst Kaplama - 2	DSSGZ: Delta Seal GZ
ÜK2K: 2. Üst Kaplama Kalınlığı, $\mu\text{m}$	Silver
TK: Toplam Kaplama Kalınlığı, $\mu\text{m}$	

## 2.1. Kaplama Süreçleri

### 2.1.1 Alkali Çinko/Çinko Alaşım Kaplama

Alkali çinko ve alkali çinko alaşım kaplama süreci (i) yüzey hazırlama, (ii) elektro kaplama ve (iii) pasivasyon basamaklarından oluşmaktadır.

Alkali sıcak yağ alma, yüzey hazırlama basamağının ilk basamağıdır. Metal üzerinde biriken kirler, alkali sıcak yağ alma yöntemi kullanılarak uzaklaştırılmaktadır. Yağ alma banyolarında kullanılan alkali kimyasallar ticari olarak sıvı veya toz biçiminde temin edilmektedir. Bu çalışma kapsamında Ekinoks Kimya'dan temin edilen

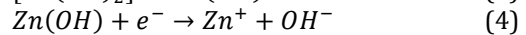
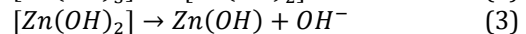
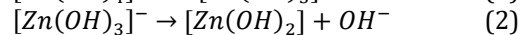
Cleanox 1972 ürünü kullanılmıştır. Sıcak yağ alma işlemi %3-10 mL çözelti derişiminde, 50-85°C banyo sıcaklığında ve 1-30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir.

Alkali çinko kaplama sürecinde yer alan her bir işlem basamağından sonra durulama işlemi uygulanmaktadır. Durulamanın amacı, durulamadan önceki basamakta kullanılan ve metal yüzeyine tutunmuş kimyasalları metal yüzeyden uzaklaştırmak ve böylelikle takip eden aşamalarda banyoların kirlenmesini ve kimyasal bileşiminin bozulmasını önlemektir. Çalışmalarımız sırasında durulama işlemlerinde şebeke suyu kullanılmıştır.

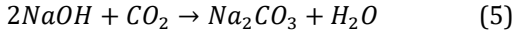
Durulama işleminden sonra elektrolitik temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Elektrolitik temizlemede, çözünmeyen bir elektrot ile temizlenecek parça arasında bir doğru akım uygulanmaktadır. Elektrolitik temizleme sırasında temizlenecek malzemenin yüzeyinde oluşan oksijen veya hidrojen gazı kabarcıkları yüzeydeki safsızlıkları uzaklaştırmaktadır. Yapılan çalışmada Ekinoks Kimya'dan temin edilen Cleanox E ürünü kullanılmıştır. Elektrolitik yağ alma işlemi %4-6 mL çözelti derişiminde, 50-80°C banyo sıcaklığında, 1-20 dakika süreyle ve 3-5 A/dm<sup>2</sup> akım yoğunluğunda gerçekleştirilmiştir.

Asidik yağ giderme işlemi, çinko kaplamadan önceki son temizleme basamağıdır. Asidik yağ alma kimyasalları, yağ gideriminin yanı sıra parçalardaki pas ve tufalin arındırılmasında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Banyo içeriğinde yüzey aktif maddeler, emülgatörler, inhibitörler ve asitler (fosforik, sülfürik, hidroklorik, hidroflik, nitrik asit, vb.) bulunabilir. Metal parça üzerindeki pas ve yağ miktarına bağlı olarak banyodaki çözelti derişimi %5-50 mL arasında değişmektedir. Banyodaki çözelti derişimi azaldıkça işlem süresi uzamaktadır. Toplam asit derişimi ve işlem süresi, asidik yağ alma banyolarında dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Çalışmamız sırasında kullandığımız asidik yağ alma banyosunda %10-30 mL çözelti derişiminde HCl çözeltisi kullanılmış olup, yağ alma işlemi 5-15 dakika sürmüştür.

Asit klorür çinko kaplama işlemi gibi siyanürsüz alkali çinko kaplama işlemi de güvenilir ve düşük maliyetli bir işlemdir. Eşitlik 1-4'de çelik malzemelerin alkali çinko kaplanmasında meydana gelen reaksiyonlar verilmiştir.



Siyanürün kullanılmadığı alkali çinko kaplama prosesinde karşılaşılan en büyük zorluk, kaplama banyosundaki karbonat derişiminin yüksek olmasıdır. Eşitlik 5'te gösterildiği gibi, çözeltiye aşırı miktarda CO<sub>2</sub> girmesi sonucu kaplama banyosunda karbonat bileşikleri oluşmaktadır.



Çözeltideki karbonat iyonu derişimi, artan çözelti sıcaklığı ve karıştırma hızıyla artmakta ve çözeltinin iletkenliğini azaltarak elektrokaplamaı engellemektedir. Havadaki CO<sub>2</sub> miktarına bağılı olarak, çözeltide izin verilen karbonat derişimi 50 ile 100g/L arasındadır. Karbonatın çözeltiden uzaklaştırılmasında iki farklı yöntemden biri tercih edilmektedir. Daha yaygın olarak tercih edilen ilk yöntem, çözeltinin 5-10°C'ye soğutulması ve katılaşılan karbonatlı bileşiklerin filtre edilerek uzaklaştırılmasıdır. İkinci ve daha az tercih edilen diğere yöntem ise banyo çözeltisine eklenen kalsiyum hidroksit (CaOH) ile karbonat iyonunun çöktürülerek ortamdan uzaklaştırılmasıdır (Can, 2019).

Çinko-nikel alaşımları, asit veya alkali siyanür olmayan çözeltiler kullanılarak kaplanabilir. Tipik olarak, asit çözeltisi kullanımında %10-14'lük bir nikel içeriğı sağlanırken, siyanür içermeyen alkali çözeltiler %5-8 nikel veya %10-17 nikel içeriğı sağlamaktadır. Nikel içeriğı %17'ye yükseldikçe korozyon direnci artmakta, bu seviyeden sonra çinko-nikel kaplama, korozyon önleme özelliklerini kaybederek alt tabakadan daha asal hale gelmektedir. Çinko-nikel alaşımlı kaplama işlemi, diğere tüm çinko alaşımlı kaplama işlemlerinden biraz daha pahalıdır, ancak artan korozyon direnci, maliyet artışını fazlasıyla telafi etmektedir (Sierka, 2015).

Çalışmalar sırasındaki alkali çinko/çinko alaşım kaplama banyolarının parametre ve çalışma aralıkları Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3  
Siyanürsüz Alkali Çinko/Çinko Alaşım Kaplama Banyolarının Çalışma Parametreleri ve Aralıkları

Kaplama	Parametre	Çalışma Aralığı
Zn	Zn, g/L	6.0-17.0
	NaOH, g/L	75-112
	Süre, µm/dak.	3
	Sıcaklık, °C	20-40
	Akım, A/dm <sup>2</sup>	1-5
Zn-Ni	Zn, g/L	6.0-17.0
	Ni, g/L	1-3
	NaOH, g/L	75-120
	Süre, µm/dak.	3
	Sıcaklık, °C	20-40
Zn-Fe	Zn, g/L	6.0-17.0
	Fe, ppm	50-250
	NaOH, g/L	75-120
	Süre, µm/dak.	3
	Sıcaklık, °C	20-40
	Akım, A/dm <sup>2</sup>	1-5

Çinko veya çinko alaşım kaplama sonrasında parçaların durulandığı banyonun pH'ın nötralizasyonunda ağırlıkça %5-6'lık zayıf asit çözeltisi kullanılmaktadır. Nötralizasyon işlemi yaklaşık olarak 30 saniye sürmektedir (Can, 2019).

Çinko kaplama işleminin son aşaması olan pasivasyon işlemi, çinko kaplı yüzeylerde parmak izlerinin oluşmasını engellemek, dekoratif bir görünüm kazandırmak ve kaplamanın korozyon direncini artırmak için kullanılmaktadır. Özellikle tuzlu suyun yaratacağı korozyondan korumak için çinko kaplı parçaların bir kromat tabakasıyla kaplamasına pasivasyon denilmektedir. Çinko kaplı parçaların pasivasyonunda pH'ı 2 olan bir lityum kromat banyosu kullanılmaktadır. Uygulanan formülasyona göre pasivasyon tabakasına dekoratif renkler verilebilmektedir. Korozyon direncini artırmak için organik (reçine) veya inorganik (silikat) esaslı kaplama banyolarında bu katmana şeffaf veya renkli bir koruyucu kaplama da yapılabilmektedir (Can, 2019).

Pasivasyon işlemini takiben yapılan son durulama işleminden sonra parçalar kürlenme fırınına alınmaktadır. Kürlenmede geleneksel ve kızılötesi olmak üzere iki farklı fırın türü kullanılmaktadır. Çalışmalarımız sırasında kurutma fırını sıcaklığı 50-110°C arasında olup, kurutma süresi 3-15 dakika aralığında değişmiştir (Can, 2019).

### 2.1.2. Çinko Lamelli Kaplama

Çinko lamelli kaplama süreci yüzey hazırlama ve çinko lamelli kaplama işlemi olmak üzere iki kademe ve bu işlemler altında yer alan yedi basamakta gerçekleştirilmektedir.

Yüzey hazırlama işleminin ilk aşamasında yağ alma, yıkama, kurutma ve kumlama işlemleri yapılmaktadır.

Yağ alma işleminde metal parçalardaki yağ ve kir tabakasını giderilmektedir. Yağ giderme banyolarında, fosfat ve silikat içeren alkali temizleme kimyasalları kullanılmaktadır. Banyo sıcaklığı 40-80°C olup yağ alma işlemi püskürtme veya daldırma yapılarak uygulanmaktadır.

Durulama basamağında, metal parçaların yüzeyinde yağ alma işleminden sonra kalan alkali kimyasallar ve diğere kirlilikler giderilmektedir. Alkali yağ alma banyosundan taşınacak bir kimyasal çinko lamelli kaplama banyolarının içeriğini kolayca bozabileceğinden, durulama işleminde parçaların kimyasallardan uygun şekilde arındırılması gerekmektedir.

Metal yüzeyinde sıvı veya alkali kalıntı kalmaması için çinko lamel kaplama işleminden önce yapılan durulama işlemi sonrasında parçaların kurutulması önemlidir. Çinko lamelli kaplama banyosuna giren parça yüzeyindeki sıvı, kaplama banyosunun konsantrasyonunu değiştirebilir ve özelliklerini kaybetmesine neden olabilir. Eğer gerekirse kurutulan parçalar kumlama işlemine tabi tutulur.

Çinko lamelli kaplamaya hazırlamak için metal yüzeyde kalmış olabilecek kimyasallar ile parçanın üretimi sırasında oluşmuş olabilecek metal çapakları veya pası gidermede mekanik bir temizleme işlemi olan kumlama kullanılmaktadır. Kumlama işlemi özellikle karmaşık geometrileri olan parçaların temizlenmesinde tercih edilmektedir.

Delta Protekt KL100®, Delta Seal Black®, Delta Seal GZ Black® ve Delta Seal GZ Silver®, sıvı halde ticari olarak temin edilen ve kullanmadan önce uygun bir çözücü veya su ile karıştırılarak hazırlanması gereken çinko lamelli kaplama kimyasallarıdır. Viskozite, sıcaklık ve karıştırma süresi, uygulamadan önce dikkate alınması gereken çok önemli faktörlerdir. Çinko lamel kaplama dört farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlar, püskürtme, daldırıp-döndürme, askıyarak daldırıp-döndürme ve daldırıp çıkarmadır. Kullanılacak kaplama yöntemi parçanın büyüklüğüne, kaplanacak malzeme türüne ve kaplama kalınlığının hassasiyetine bağlı olarak seçilmektedir.

Çinko lamelli kaplama işleminden sonra kaplanan parçalar ön kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Ön kurutma işlemi 60-100°C sıcaklıkta, 6-10 dakikada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada parça üzerindeki düşük kaynama noktasına sahip uçucu bileşenler buharlaşarak uzaklaştırılmaktadır. Parçaların doğrudan yüksek ısıya tabi tutulmadan önce ön kurutmaya tabi tutulmasıyla, iyi bir kaplama kalitesi ve görünümü elde etmek beklenmektedir.

Parçalar, ön kurutma işleminden sonra kürlenme işlemi için taşıma bandıyla fırına gönderilmektedir. Çinko lamelli kaplı ürünler 300-350°C'de 15-45 dakika süreyle fırında kürlenirler. Kürlenme işleminin ardından parçalar aynı taşıma sistemi kullanılarak soğutma alanına taşınır ve dış hava kullanılarak ortam sıcaklığına soğutulur (Kılınç, 2019). Çinko lamelli kaplama prosesi için istenilen ve ölçülen banyo ve proses ölçüm sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4

Çinko Lamelli Kaplama Prosesi İçin İstenilen ve Ölçülen Banyo Ve Proses Ölçüm Sonuçları

		İstenilen	Ölçülen
Çinko Lamelli Kaplama	Viskozite	69-83 s	72 s
	Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	1.3-1.4	1.34
	Katı, %	40-42	41.2
	Sıcaklık, °C	18-22	19
	pH	7-8.5	7.7
Ön Kurutma	Sıcaklık, °C	60-100	74
	Süre, dak.	6-10	7
Kürlenme	Sıcaklık, °C	300-350	320
	Süre, dak.	15-45	30

### 2.1.3. Son Kat Kaplama

Çinko lamelli kaplama işleminden sonra soğuyan ürün son kat kaplama işlemine tabi tutulur. Kullanıma hazır

sıvı kaplama kimyasalları, belirtilen çalışma parametrelerine göre çözücü veya su bazlı çözelti olarak hazırlanır. Son kat kaplama işleminde de çinko lamelli kaplama basamağındaki kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Son kat kaplamaları yapılan parçalar bir taşıyıcı bant üzerine yerleştirilerek kürlenmek üzere fırına gönderilir. Son kat kaplama işlemi için kürlenme süresi 140-180°C'de 15-30 dakikadır (Kılınç, 2019).


### 2.2. Kaplama Testleri

Kaplamalara uygulanan testler, testlere ait standartlar ve açıklamaları Tablo 5'de özetlenmiştir.

Tablo 5

Kaplama Test Standartları ve Başarı Kriterleri

Test	Test Standardı	Başarı Kriteri
T0	EN ISO 3497	Fischer XDL 230 X-Ray cihazıyla gerçekleştirilmiştir. (Bkz. Şekil 2)
T1	DIN EN ISO 2409	Testin başarı kriteri Ad0 olmalıdır. (Kılınç ve Akyalçın, 2022)
T2	ASTM D 870-02	Testin başarı kriteri Ad0 olmalıdır.
T3	DIN EN ISO 6270-2	Testin başarı kriteri Ad0 olmalıdır.
T4	ASTM D4541	Çekme mukavemeti >200 psi olmalıdır.
T5	EN ISO 2812-3/ Kısım3	İlgili kimyasala (benzin, mazot, fren sıvısı, transmisyon sıvısı) maruz kaldığında, kaplanmış parçaların yüzeyinde renk değişikliği, yapısal yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, katmanlara ayrılma ve boyada kopma gibi yüzey kusurları olmamalıdır.
T6	ASTM B 117 ve DIN EN ISO 9227	Kırmızı pas parça yüzeyinin en fazla %5'ni kaplamalı ve boyalı yüzeye çizilen cross-cut bıçağıyla yapılan 'X' şeklindeki çizikteki boya kalkması 4 mm'den daha fazla olmamalıdır.
T7	EN ISO 11997-1 Çevrim B (Kılınç ve Akyalçın, 2022)	Çevrimsel korozyon testi sonunda yüzeyde lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, katmanlara ayrılma, boyada kalkma gibi yüzey kusurları bulunmamalı, kırmızı pas parça yüzeyinin en fazla %5'ni kaplamalı ve boyalı yüzeye çizilen cross-cut bıçağıyla yapılan 'X' şeklindeki çizikteki boya kalkması 4 mm'den daha fazla olmamalıdır.
T8	-	Test edilecek parça etüvde 300°C sabit sıcaklıkta, 1 saat süreyle bekletilir. Oda sıcaklığına kadar soğuması beklenir. Etüve konulmamış şahit numune ile kıyaslanır. Teste tabi tutulan parçada, renk değişimi, yapıda yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanarak dökülme, tabakalara ayrılma ve boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları gözlemlenmemelidir.
T0: Kaplama Kalınlığı Ölçümü T1: Yapışma Testi T2: Su Direnci Testi T3: Nem Direnci Testi T4: Çekme Yapışma Testi, psi		T5: Kimyasal Direnç Testi T6: Tuz Sisi Testi T7: Çevrimsel Korozyon Testi T8: Sıcaklık Dayanımı Testi



n= 1	NiZn1=	10,5 µm	Ni 1 =	14,5 ‰	Zn 1 =	85,5
n= 2	NiZn1=	9,9 µm	Ni 1 =	13,8 ‰	Zn 1 =	86,2
n= 3	NiZn1=	10,7 µm	Ni 1 =	14,4 ‰	Zn 1 =	85,6
n= 4	NiZn1=	10,5 µm	Ni 1 =	14,0 ‰	Zn 1 =	86,0
n= 5	NiZn1=	9,8 µm	Ni 1 =	14,3 ‰	Zn 1 =	85,7
<b>Ortalama</b>		10,28 µm	14,2 ‰	85,80 ‰		
<b>Standart Sapma</b>		0,402 µm	0,292 ‰	0,292 ‰		
<b>Fark ( Max-Min )</b>		0,90 µm	0,70 ‰	0,70 ‰		
<b>Ölçüm sayısı</b>		5	5	5		
<b>Min. deger</b>		9,8 µm	13,8 ‰	85,5 ‰		
<b>Max. Deger</b>		10,7 µm	14,5 ‰	86,2 ‰		
<b>Ölçüm Süresi</b>		10 sec				

Şekil 2. Fischer XDL 230 X-ray Cihazıyla Yapılan Kaplama Kalınlığı Ölçümü Örneği

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ve Tablo 5’de verilen testlerin ve yapılan ölçümlerin tamamı, bir aracın kullanımı sırasında maruz kalabileceği koşulların kontrollü ve hızlandırılmış olarak simülasyonu aracın garanti ve kullanım ömrünün belirlenmesine yönelik uluslararası kabul görmüş standart test teknikleridir (Kılınç ve Akyalçın, 2022).

### 3. Bulgular

Tablo 1-2’de verilen deney planına göre yürütülen deneylerden elde edilen kaplamalar üzerinde yapılan testlerden (Bkz. Tablo 5) elde edilen sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir. Tablo 6’da verilen sonuçlarda ✓ işareti test sonucunun uygun olduğunu × işareti ise test sonucunun uygun olmadığını ifade etmektedir.

Tablo 6  
DeneySEL Çalışma Planına Göre Numunelere Uygulanan Testlerden Elde Edilen Sonuçlar

Deney No.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1	×	✓	×	176	✓	×	×	✓
2	×	✓	×	181	✓	×	×	✓
3	×	✓	×	170	✓	×	×	✓
4	×	×	×	182	✓	×	×	✓
5	×	×	×	164	✓	×	×	✓
6	×	×	×	164	✓	×	×	✓
7	✓	✓	✓	233	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	246	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	226	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	×	276	✓	×	×	✓
11	✓	✓	×	281	✓	×	×	✓
12	✓	✓	×	244	✓	×	×	✓
13	✓	×	×	254	✓	✓	✓	✓
14	✓	×	×	266	✓	✓	✓	✓
15	✓	×	×	257	✓	✓	✓	✓
16	×	✓	×	176	✓	×	×	✓
17	×	✓	×	179	✓	×	×	✓
18	×	✓	×	163	✓	×	×	✓
19	×	×	×	157	✓	×	×	✓
20	×	×	×	158	✓	×	×	✓

21	×	×	×	102	✓	×	×	✓
22	✓	✓	✓	344	✓	✓	✓	✓
23	✓	✓	✓	320	✓	✓	✓	✓
24	✓	✓	✓	325	✓	✓	✓	✓
25	✓	✓	×	356	✓	×	×	✓
26	✓	✓	×	348	✓	×	×	✓
27	✓	✓	×	360	✓	×	×	✓
28	✓	×	×	378	✓	✓	✓	✓
29	✓	×	×	352	✓	✓	✓	✓
30	✓	×	×	367	✓	✓	✓	✓
31	×	✓	×	166	✓	×	×	✓
32	×	✓	×	172	✓	×	×	✓
33	×	✓	×	182	✓	×	×	✓
34	×	✓	×	153	✓	×	×	✓
35	×	✓	×	158	✓	×	×	✓
36	×	✓	×	167	✓	×	×	✓
37	×	✓	×	148	✓	×	×	✓
38	×	✓	×	156	✓	×	×	✓
39	×	✓	×	164	✓	×	×	✓
40	✓	✓	✓	469	✓	✓	✓	✓
41	✓	✓	✓	447	✓	✓	✓	✓
42	✓	✓	✓	458	✓	✓	✓	✓
43	✓	✓	✓	437	✓	✓	✓	✓
44	✓	✓	✓	442	✓	✓	✓	✓
45	✓	✓	✓	463	✓	✓	✓	✓
46	✓	✓	✓	463	✓	✓	✓	✓
47	✓	✓	✓	445	✓	✓	✓	✓
48	✓	✓	✓	439	✓	✓	✓	✓
49	✓	✓	×	494	✓	×	×	✓
50	✓	✓	×	431	✓	×	×	✓
51	✓	✓	×	453	✓	×	×	✓
52	✓	✓	×	466	✓	×	×	✓
53	✓	✓	×	477	✓	×	×	✓
54	✓	✓	×	480	✓	×	×	✓
55	✓	✓	×	492	✓	×	×	✓
56	✓	✓	×	438	✓	×	×	✓
57	✓	✓	×	486	✓	×	×	✓
58	✓	×	×	439	✓	×	×	✓
59	✓	×	×	486	✓	×	×	✓
60	✓	×	×	471	✓	×	×	✓
61	✓	×	×	452	✓	✓	✓	✓
62	✓	×	×	463	✓	✓	✓	✓
63	✓	×	×	455	✓	✓	✓	✓
64	✓	×	×	475	✓	✓	✓	✓
65	✓	×	×	489	✓	✓	✓	✓
66	✓	×	×	477	✓	✓	✓	✓

### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Tablo 1-2’de verilen deneysel çalışma planına göre yürütülerek elde edilen kaplamalara uygulanan test sonuçları Tablo 6’da özetlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar ışığında 1-6, 16-21 ve 31-39 deneylerinde yapılan kaplamaların hiçbiri yapışma testini (T1) geçememiştir. Bu kaplamaların ortak yönü alt kaplama türünden bağımsız olarak 8 µm kalınlığında kaplanan Delta Protekt KL100® üst kat kaplamasının altlığa yapışmamasıdır. Bunların haricindeki tüm kaplamalar yapışma testinden geçmiştir.

Su direnci testi (T2)’den geçemeyen kaplamaların, 4-6, 13-15, 19-21, 28-30 ve 58-66 no’lu deneyler, ortak

noktası hiçbirinde ikinci üst kat kaplamanın olmaması ve birinci üst kat kaplamalarının Delta Protekt KL100® ve Delta Seal GZ Silver® olmasıdır.

Nem direnci testi (T3)'den geçemeyen kaplamaların, 1-6, 10-21, 25-39 ve 49-66 no'lu deneyler, ortak yönü ise Delta Protekt KL100® üzerine ikinci kat kaplama olsun olmasın, Delta Seal GZ Black® ve Delta Seal GZ Silver®'ın kaplamalara sahip olmasıdır.

Çekme yapışma testi (T4)'den geçemeyen kaplamalar, T1 testini de geçemeyen kaplamalardır ve ortak noktası alt kaplama türünden bağımsız olarak 8 µm kalınlığında kaplanan Delta Protekt KL100® üst kat kaplamaya sahip olmasıdır.

Kimyasal direnç testi (T5)'den tüm kaplama türleri başarıyla geçmiştir.

Hem tuz sis testi (T6) hem de çevrimsel korozyon testini (T7) geçemeyen kaplamalar aynı olup, 1-6, 10-12, 16-21, 25-27, 31-39 ve 49-60 no'lu deneylerin ortak yönü Delta Protekt KL100® üzerine ikinci kat kaplama olsun olmasın ve Delta Seal GZ Black® kaplamaya sahip olmasıdır.

Sıcaklık dayanım testi (T8)'den tüm kaplama türleri başarıyla geçmiştir.

Tablo 6'da verilen test sonuçları değerlendirildiğinde, 7-9, 22-24 ve 40-48 numaralı deneylerde üretilen kaplamaların tüm testleri başarıyla geçtiği görülmektedir.

Zn, Zn-Fe ve Zn-Ni elektrokaplamların her bir grubunda da korozyon testlerini geçen ve geçemeyen kaplamalar olmuştur. Bu nedenle çelik plakanın korozyon performansını belirleyen en önemli etmenin çinko/çinko alaşım kaplamadan daha çok çinko lamelli kaplamanın türü olduğu sonucuna varılmıştır.

Tüm testlerden başarıyla geçen ve en iyi çok katmanlı kaplama performansı gösteren tüm alkali çinko ve alkali çinko alaşım alt kaplamaların ortak paydası alt kaplama üzerine birinci üst kat kaplama olarak uygulanan 20µm kalınlığındaki çözücü bazlı çinko lamelli kaplama olan Delta Seal Black® kaplamadır. Çekme yapışma testi sonuçları dikkate alındığında ise bu grup içerisindeki en iyi kaplama performansına %12-15 nikel içeriğine sahip alkali çinko nikel kaplama üzerine birinci üst kat kaplama olarak uygulanan Delta Seal Black® kaplamalarla ulaşılmıştır.

Otomobil üreticilerinin teknik şartnamelerinde belirttiği ve tuz sisi, çevrimsel korozyon ve sıcaklık dayanım testlerindeki istekleriyle kıyaslandığında çalışmamız kapsamında üretilen ve testlerden başarıyla geçen tüm kaplamalar, otomobil üreticilerinin isteklerinden daha yüksek performans göstermiştir.

Tablo 7'deki firma isimleri ticari bilgi olması sebebiyle saklı tutularak verilmiş ve çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz korozyon dayanım testi sonuçlarıyla

kıyaslanmıştır.

Tablo 7

Otomobil üreticilerinin korozyon dayanım testlerine ait beklentileri ve çalışmamızdan elde edilen sonuçlar.

Firma	Tuz sisi	Çevrimsel Korozyon	Sıcaklık Dayanım Testi
A	480 saat	28 çevrim	En çok 120°C
B	720 saat	42 çevrim	En çok 120°C
C	600 saat	35 çevrim	En çok 120°C
D	384 saat	18 çevrim	En çok 120°C
<b>Çalışmamız</b>	<b>&gt;750 saat</b>	<b>&gt; 63 çevrim</b>	<b>300°C</b>

Bunun da ötesinde çalışmanın patentlenmiş olması ve önemli otomobil üreticilerince elektrokaplama şartnamelerinde yer verilmesi çalışmamızın olumlu olarak değerlendirilmesi için çok önemlidir.

Elde edilen sonuçlar ışığında konuyla ilgili yapılan patent başvurusu sonucunda Türk Patent ve Marka Kurumundan 2017/11527 başvuru numarasıyla patent alınmıştır.

#### Destek/Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK/TEYDEB tarafından, 3170630 no.'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

#### Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Ahmet CAN, bilimsel yayın araştırması, deneylerin yürütülmesi ve sonuçların raporlanması, Levent AKYALÇIN, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

#### Kaynaklar

Barbossa, L. L. ve Carlos, I. A. (2006). Development of a novel alkaline zinc-iron plating bath containing sorbitol and the chemical, physical and morphological characterization of the Zn-Fe films, Surface & Coating Technology, 201, 1695-1703. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.02.050>

Can, A., (2019). Alkali ve Alaşımli Çinko Kaplama Üzerine Solvent Bazlı Lamelli Kaplama Uygulaması ile Oluşacak Dupleks Kaplamanın Korozyon ve Ömür Testine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,



Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 56.

Chandrasekar, M. S., Srinivasan, S. ve Pushpavanam, M. (2008). Properties of Zinc alloy electrodeposits produced from acid and alkaline electrolytes, *J. Solid State Electrochem* 13, 781-789. doi: <https://doi.org/10.1007/s10008-008-0607-2>

Delta Seal / Delta Seal Gz Description. (2022). Erişim Adresi: <https://www.deltagbn.co.uk/libraryfile/download/FLWLGF>

Kılınc, M., (2019). Katakforez Kaplama Üzerine Solvent Bazlı ve Su Bazlı Lamelli Kaplama Uygulamaları ile Oluşacak Dupleks Kaplamanın Korozyon ve Ömür Testine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 88.

Kılınc, M. ve Akyalçın, L. (2022). Katakforez Kaplamalı Çelik Yüzeyle Uygulanan Dupleks Kaplamanın Korozyon Dayanım Performansı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30 (1), 68-78. doi: <https://doi.org/10.31796/ogummf.981120>

Maniam, K. K. ve Paul, S. (2021). Corrosion Performance of Electrodeposited Zinc and Zinc-Alloy Coatings in Marine Environment, *Corros. Mater. Degrad.*, 2, 163-189. doi: <https://doi.org/10.3390/cmd2020010>

Pushpavanam, M. (2000). Critical Review on Alloy Plating: A Viable Alternate to Conventional Plating, *Bulletin of Electrochemistry*, 16, 12, 559-566. Erişim adresi: [https://krc.cecri.res.in/ro\\_2000/35-2000.pdf](https://krc.cecri.res.in/ro_2000/35-2000.pdf)

Sierka, C. E. (2015). Industrial Zinc Plating Processes, Yüksek Lisans Tezi, Indiana University of Pennsylvania, Pennsylvania, 61.

Zaki, N. (1994). Zinc Alloy Plating, *ASM Handbook Volume 5: Surface Engineering*, 264-266. doi: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v05.a0001257>