

KATAFOREZ KAPLAMALI ÇELİK YÜZEYLERE UYGULANAN DUBLEKS KAPLAMANIN KOROZYON DAYANIM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Muhammed KILINÇ¹, Levent AKYALÇIN^{2*}

¹ Coatech Danışmanlık, Eğitim ve Laboratuvar, Bursa,

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-1781-6888>

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,

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

Anahtar Kelimeler

Öz

Korozyon,
Kataforez,
Dubleks Kaplama

Bu çalışma kapsamında, (i) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama, (ii) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama, (iii) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama, (iv) kataforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama ve (v) kataforez kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan çalışmalardan elde edilen kaplamalar görsel uygunluk kriterini sağladıktan sonra kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerine tabi tutulmuştur. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmıştır.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DUPLEX COATING APPLIED ON CATAPHORESIS COATED STEEL SURFACES ON CORROSION RESISTANCE PERFORMANCE

Keywords

Abstract

Corrosion,
Cataphoresis,
Duplex Coating

Within the scope of this study, (i) solvent or water-based zinc lamella coating on cataphoresis coating, (ii) solvent or water-based topcoat coating on cataphoresis coating, (iii) solvent or water-based topcoat on cataphoresis coating. Lubricating coating on solvent or based topcoat on zinc lamella coating, (iv) solvent or water-based topcoat on cataphoresis coating and (v) lubricant coating on cataphoresis coating were carried out. The coatings obtained from the studies were subjected to dry adhesion, water resistance, moisture resistance, salt mist, cyclic corrosion, and chemical resistance tests after meeting the visual suitability criteria. The results obtained from the tests were compared with the expectations of the automotive industry.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 12.08.2021

Submission Date : 12.08.2021

Kabul Tarihi : 24.02.2022

Accepted Date : 24.02.2022

1. Giriş

Otomobil gövde üretiminin ilk dönemlerinde hem çelik hem de ahşap bileşenler kullanılmış ve boyanan parçalar yüksek sıcaklıkta fırınlanmadığından boyanın kuruması için haftalarca beklenmesi gerekmiştir. Bu nedenle, araç gövdelerinin boyanmasında daha fazla

renk pigmenti ve daha az uçucu bileşen içeriği olan koyu renkler tercih edilmiştir. Boyama işinin yol açtığı bu durum, otomobillerin toplu üretiminde çok önemli bir darboğaz yaratmıştır. 1930'lu yılların başından itibaren otomobillerin tamamen çelikten üretilmeye başlamasıyla birlikte üretim hızı artmış ve artan yığın

* 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/>).

üretim hacmi, otomobillerin maliyetini düşürmeye başlamıştır (Akafuah, Poozesh, Salaimh, Patrick, Lawler ve Saito, 2016).

1920'ler ile 1940'lar arasında, yüksek üretim hızlarının karşılanması için otomobil gövdelerinin kaplanmasında püskürtme ekipmanları kullanılmaya başlanmıştır. Böylece daha eşit dağılımlı kaplama kalınlıkları elde edilmiştir. Püskürtme ekipmanı ve nitroselüloz lak kullanımıyla renk çeşitliliği artmış olsa da istenen yüzey özelliklerini elde etmek için kaplama işleminin en az 3-4 kez tekrarlanması gerekmiştir. Bununla birlikte, bu tür kaplamalar asidik ortamlara karşı daha düşük direnç sergilemiştir. Öte yandan, 1930'lu yılların başlarında kullanılmaya başlanan alkid emaye kaplamalar araç yüzeyine uygulanmış ve fırında pişirilerek kürlenmiştir. Kürlenme sırasında meydana gelen moleküler bağlanma reaksiyonları sonucunda dayanıklı bir kaplama elde edilmiştir. Ayrıca alkid reçine esaslı emayelerin kullanılmasıyla kaplama ve kuruma süresi kısalmıştır. Emaye kaplamaların bir diğer avantajı da 2-3 adımda uygulanabilmesi ve kimyasallara ve çözücülere karşı yüksek direnç göstermesidir. Ancak, alkid emaye kaplamalar güneş ışığına maruz kaldığında oksitlenmekte ve zamanla solarak matlaşmaktadır. 1960'larda akrilik fırınlama emayelerinin piyasaya sürülmesiyle, emaye kaplamaların dayanıklılığı da önemli ölçüde artmıştır. Ancak yüzeye elle püskürtme ile uygulanmasından dolayı yüzeyin kaplama kalınlığı değişkenlik göstermiş ve istenilen yüzey özelliklerini elde etmek için birden fazla kat uygulanması gerekmiştir. Ayrıca çelik yüzeyi korozyondan korumak için astar, pürüzlülüğü azaltmak ve boyanın kalkma direncini arttırmak için astar üzerine astar üstü kaplaması, çevre direncini arttırmak için de renk ve son kat kaplaması arka arkaya sürülmüştür. Otomobil gövdelerinin korozyondan korunması amacıyla 1950'lerde kullanılmaya başlanan daldırma kaplama işlemlerinde ciddi güvenlik, çevre ve işletim sorunlarıyla karşılaşmıştır. Çözücü veya su bazlı daldırma tankları kullanılırken patlama ve yangın tehlikeleri meydana gelmiştir. Karşılaşılan bu sorunlar, 1960'ların ortalarında, otomobil endüstrisini genellikle maleinize doğal yağların kullanıldığı anodik elektro kaplama yöntemine yöneltmiştir. Bununla birlikte, 1970'lerin ortalarında, anodik elektro kaplamaya göre daha iyi korozyon önleme performansı gösterdiği için katodik elektro kaplama tercih edilmeye başlanmıştır. Katodik elektrokaplama, modifiye epoksi reçine omurgaları ve bu reçinelerin reaktif poliüretan esaslı çapraz bağlayıcıları kullanılmıştır. Bunların fırlatma kuvvetlerinin yüksek olması ve daha yüksek işlem güvenilirliği sağlayarak düşük akımlarda daha yüksek kaplama oluşturması, korozyon önleme performansının artmasını da beraberinde getirmiştir. Günümüzde katodik elektrokaplama, otomobillerin hem gövdelerinin hem de diğer bileşenlerinin korozyondan korunmasında kullanılan en etkili yöntemdir. Bu yöntemin avantajı, metal altlıkta bulunan demir, çinko

veya alüminyumun, uygulanan ön işlemler sırasında çözünmemesinden ve reçinelerin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır (Akafuah vd., 2016).

Kataforez kaplama olarak da bilinen elektroforetik kaplama, başta otomotiv endüstrisi olmak üzere birçok endüstriyel ürünün korozyona karşı direncinin artırılmasında ilk kat kaplaması olarak kullanılmaktadır. Bu işlemin en önemli avantajları karmaşık yüzey geometrisine sahip metallerin etkin bir şekilde kaplanabilmesi, kaplama sürecinin otomatik olarak yürütülebilmesi, kaplama malzemesinin etkin kullanımı ve düşük kirlilik oluşumu olarak sıralayabiliriz.

Ticari olarak ilk katodik kataforez kaplama tesisi 1970 yılında PPG Industries, ABD, şirketi tarafından tanıtılmıştır. Otomotiv sanayisinde ise ilk katodik kataforez kaplama kullanımı 1975'te gerçekleşmiştir. Günümüzde dünyada kullanılan kataforez kaplama hacminin yaklaşık %70'i katodik kataforez kaplamadır ve bu hacim büyük ölçüde otomotiv sanayisi tarafından kullanılmaktadır. Katodik kataforez kaplama teknolojisi otomotiv sanayisinde kullanılan parçaların ömrünün uzamasına neden olmuştur. Çeşitli kataforez kaplama (KK) kompozisyonları, KK işlemleri ve KK ile kaplanmış eşyalarla ilgili olarak binlerce patent bulunmaktadır (Kılınç, 2019).

Çinko lamelli kaplama yöntemi de 1970'lerde, Amerika Birleşik Devletleri'nde yeni bir kaplama sistemi olarak geliştirilmiştir. Tipik olarak 8-12 µm ince bir kaplama kalınlığıyla korozyona karşı yüksek koruma sağlamaktadır. Söz konusu kaplama sistemi otomotiv sanayinde 1980'lerden sonra yaygın olarak yüksek seviyede korozyon direnci sunan kaplama sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çinko-lamelli kaplama işlemi sırasında hidrojen gazı oluşmadığından kataforez kaplama işlemine bir alternatif olarak kritik uygulamalar için kullanılmaktadır.

Bu yöntem günümüzde özellikle otomotiv sanayinde darbeye, sürtünmeye, kimyasal etkiye ve korozyona maruz kalan malzeme tiplerinden civata, somun, bağlantı braketleri, kapı menteşeleri, denge milleri, fren diskleri, debriyaj sistemleri vb. birçok otomotiv parçasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kılınç, 2019).

Çinko lamelli kaplamalar elektrolitik olarak uygulanmayan ve içeriğinde çinko ve alüminyum bulunan kaplama türleridir (Zink Flake Coatings).

Çinko lamelli kaplamalar için uluslararası standart olarak ISO 10683 standardı geliştirilmiş olup aynı amaçla EN 13858 Avrupa standardı da tanımlanmıştır. ISO 10683, dişli bağlantı elemanları için çinko lamelli kaplama gereklilikleri bildirirken EN 13858, vida dışı içermeyen bağlantı elemanları ve diğer metal parçalar için çinko lamelli kaplama gerekliliklerini tanımlamaktadır.

Üç tür çinko lamelli kaplama vardır. Bunlar; (i) Cr (VI) içeren çinko lamelli kaplamalar, (ii) çözücü bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamalar ve (iii) su bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamalardır.

Cr (VI) içeren çinko lamelli kaplama yöntemiyle kaplanan yüzeylerde daha ince kaplama kalınlığı ve daha fazla korozyon direnci elde edilmesine karşın Cr (VI) kanserojendir ve çevre ve canlı yaşamı için potansiyel bir tehlike oluşturmaktadır. Avrupa'da konuyla ilgili olarak yayınlanmış kanun ve yönetmeliklere göre Cr (VI) içeren yüzey kaplamanın kullanımını yasaklanmıştır. Bu durum, 1 Temmuz 2007'den itibaren EC 2000/53 sayılı Araç Ömrü Yönetmeliği ile elektrikli ve elektronik teçhizata ilişkin EC 2002/95 yönetmeliğinde yer almaktadır. Otomotiv ve elektrik endüstrisi dışındaki uygulamalar için bu kaplama türü kullanılmaya devam etmektedir (Holmes, Wise ve Wise, 2008; Toxicological Review Of Hexavalent Chromium, 1998).

Çözücü bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamada sıvı olarak temin edilen kimyasallar, tiner gibi çözücüler yardımıyla istenilen viskozite değerlerinde kullanıma hazır hale getirilerek kullanılır.

Su bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamada ise yine sıvı olarak temin edilen kimyasallar çözücü olarak deiyonize suyun kullanılmasıyla istenilen viskozite değerlerinde kullanıma hazır hale getirilerek kullanılır.

Günümüzde, su bazlı Cr (VI) içermeyen çinko lamelli kaplamalar otomotiv sanayisinde bağlantı elemanları ve diğer otomobil parçaları için tercih edilen bir kaplama türüdür. Bu tür kaplamaların avantajlarını iyi kaplama görünümü elde edilebilmesi, yüksek korozyon ve sıcaklık direncine sahip olması, kimyasallara karşı iyi direnç göstermesi, çevreyle uyumlu olması, iyi sürtünme karakteristiği sergilemesi, hidrojen gazı çıkışı olmaması ve düşük elektrik iletkenliğine sahip olması olarak sıralayabiliriz (Kılınç, 2019).

Kataforez kaplamada, kaplama tabakası hasar gördüğünde katodik korozyon direnci ortadan kalkmaktadır. Kaplamanın ayrılmasına ve kabarmasına/yongalanmasına yol açan boşluklarda ve çiziklerde kırmızı pas oluşabilmektedir. Çinko veya çinko alaşımı kullanılan kaplamalarda ise boru biçimindeki hacimli parçaların iç kısımları kaplanamaz. Ayrıca bu tür kaplamaların uygulandığı yüksek mukavemetli çelik malzemelerde hidrojen gevrekleşmesiyle de karşılaşılabılır.

Çinko lamelli kaplamalarda ise parça geometrisi riski ve hidrojen gevrekliği olmadığından mükemmel korozyon koruması yapılabilir. Bu tür kaplamalar aynı zamanda aşırı sıcaklıklara dayanıklıdır ve iyi sürtünme özelliklerine sahiptir. Çinko lamelli kaplamalar çevre dostudur ve herhangi bir hidrojen gevrekleşmesi olmadığı için yüksek mukavemetli bağlantı elemanları için güvenle kullanılabilir. Sonuç olarak, çinko lamelli

kaplamalar çok çeşitli parçalarda kullanılabilir ve çok büyük avantajlar sunarlar.

Çinko lamelli kaplamayla istenilen korozyon performansına, sürtünme katsayısına, kimyasal dirence ve renk türüne ulaşabilmek için Son Kat Kaplama (Top Coat) işlemleri de uygulanmaktadır. Son Kat Kaplama prosesleri de su ve çözücü bazlı olarak iki ayrı türde hazırlanmaktadır.

Son kat kaplamalar, organik olarak yüksek oranda bağlanma yapısına sahip, mikro tabaka oluşturucu bir kaplamadır ve çinko lamelli kaplamalara son kat olarak kullanılmaktadır. Uygun kaplama ve fırınlama işleminden sonra iyi yapışan, kimyasallara dayanıklı, pürüzsüz, 5-12 µm arasında kaplama kalınlığına sahip ve yapışmayan bir tabaka meydana gelmektedir. Son kat kaplamaların tek başına katodik koruma özellikleri yoktur, bu nedenle metal parçalar son kat kaplama prosesinden önce ön kaplama işlemine tabi tutulmalıdır. Aksi takdirde kaplama zarar gördüğünde metalde korozyon görülebilir. Çinko lamelli kaplamalarda olduğu gibi galvanik çinko kaplamalar üzerine de tatbik edilen son kat kaplamalar üstün bir koruma sağlamaktadır (ISO 10683:2000(en)-Fasteners-Non-Electrolytically Applied Zinc Flake Coatings).

Otomotiv sanayinde metal parçaların korozyon dirençleri, üretici firmaların kalite standartları ve beklentileri çevresinde, tuz sisi ve çevrimsel korozyon direnci testlerine göre değerlendirilmektedir. Otomobili oluşturan metal parçaların kullanıldığı yere bağlı olarak söz konusu testlere ait kalite standartları ve beklentiler de değişmektedir. Parçalar hem tekil hem de montajlı olarak testlere tabi tutularak uygunlukları araştırılmaktadır. Korozyon direnci testlerinden elde edilen sonuçlara göre otomobilin ortalama ekonomik ömrüyle ilgili beklentiler ve buna bağlı olarak üretilen araçların satış sonrası korozyona karşı garanti süreleri ortaya konulmaktadır. Otomobil üreticileri araçlarının doğrudan darbe ve korozyona maruz kaldığı bölgelerdeki parçalarının korozyon dirençlerinin yüksek performans göstermesini beklemektedirler. Üreticiler özellikle yeni nesil elektrikli araçların bataryalarının muhafaza edildiği bölümlerin hem çok yüksek korozyon direnci göstermesini hem de yalıtkan olmasını istemektedirler. Tüm bunların ötesinde dünya üzerinde farklı coğrafi ve iklimsel farklılığı olan ülkelere satılan araçların her türlü iklim ve coğrafya koşulunda asgari korozyon direnci beklentisini karşılaması gerekmektedir. Bu beklentilerin karşılanmasında da tek bir kaplama prosesi yeterli olamamaktadır. Bu nedenle farklı kaplama proseslerinin üstün özelliklerinin bir araya getirilerek korozyon performansının yükseltilmesine yönelik araştırma-geliştirme faaliyetleri tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan oranda devam etmekte olup bu durum çalışmamızın en önemli motivasyon kaynağı olmuştur.

Bu çalışma kapsamında, (i) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama, (ii) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama, (iii) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı çinko lamelli kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama, (iv) kateforez kaplama üzerine çözücü veya su bazlı son kat kaplama ve (v) kateforez kaplama üzerine kayganlaştırıcı kaplama çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan çalışmalardan elde edilen kaplamalar görsel uygunluk kriterini sağladıktan sonra kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerine tabi tutulmuştur. Testlerden elde edilen sonuçlar otomotiv endüstrisinin beklentileriyle kıyaslanmıştır.

2. Yöntem

Deneyler sırasında otomotiv sanayisine yönelik olarak üretilen ve soğuk haddelenmiş DKP sac levhalar kullanılmış olup, kimyasal olarak %0.08 C, %0.65 Mn, %0.01 P, %0.006 S, %0.01 Si ve %0.05 Al içermektedirler. Kalınlığı 1 mm olan standart ve yüzeyi kumlanmış olarak kullanılan levhalar 80 x 100 mm boyutlarında kesilmiş olarak temin edilmiştir.

Kateforez kaplama, çinko lamelli kaplama ve son kat kaplama uygulamaları Uzman Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti., Bursa'da yapılmıştır. Kullanılan kaplama banyolarının özellikleri Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kateforez kaplama üzerine dubleks kaplama uygulamasındaki süreçler üç ana başlık altında değerlendirilmiştir. Bunlar, kateforez kaplama, çinko lamelli kaplama ve son kat kaplamadır. Deneysel çalışmalar sırasında takip edilen deney planlaması Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'de verilen deney planlamasında kullanılan tüm plakalar yüzey hazırlama işleminden sonra kateforez kaplama işlemine tabi tutulmuş ve kaplamanın kürlenmesi için fırınlanmıştır. Her deneyde beş ayrı plaka kullanılmış, böylelikle kaplama işlem süresince plakaların kaplama banyosundaki konumlarından bağımsız olarak değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1

Kateforez kaplama prosesinde kullanılan banyoların analiz sonuçları.

				Hedef	Ölçüm	
KATAFOREZ KAPLAMA	Yüzey Hazırlama	Aktivasyon	pH	8.5 -10	9.43	
		Fosfat Kaplama	Top. Asit, mL		17-25	22,2
			Ser. Asit, mL		1.2-2.0	1.64
			Hız, mL		1.5-3.0	1.9
			Toplam F, ppm		550-850	662
			Serbest F, ppm		50-250	233
	Ni Mik, g/L			0.6-1.1	1.01	
	Zn Mik, g/L			0.6-1.2	0.98	
	Mn Mik, g/L		0.2-0.5	0.37		
	Fe Mik, ppm		<20	15		
	Pasivasyon	Titir. Nok, mL		1.7-6.9	3.2	
		İletkenlik, µS		<900	811	
Elektro-Kaplama	Kateforez	Katı Miktarı, %		14-17	15.8	
		Kül Miktarı, %		1.5-3.0	2.28	
		Reçine/Pigment Bağlama Oranı		0.15-0.20	0.168	
		Sıcaklık, °C		31-33	32°C	
	pH	Kat. DI Su		5.7-6.3	5.9	
				5.5-7.5	6.9	
İletkenlik	Kat. Anolit DI Su		1.1-1.9 mS	1.57		
			4-6 mS/cm	4.20		
Ultrafiltrat	pH		5.6-6.3	5.8		
	İletkenlik		0.6-1.4 mS	0.65		
Kürlenme	Pişirme Fırını	Sıcaklık		>150°C	155	
		Süre		> 15 dk.	20	

Tablo 2

Çinko lamelli ve son kat kaplama prosesi teorik ve deneysel banyo proses analizleri

				Hedef	Ölçüm
ÇİNKO LAMELİ VE SON KAT KAPLAMA	Çinko Lamelli Kaplama	Çinko Lamelli Kaplama	Viskozite	69-83 s	72 s
			Yoğunluk, g/cm ³	1.3-1.4	1.34
			Katı, %	40-42	41.2
			Sıcaklık, °C	18-22	19
			pH	7-8.5	7.7
	Ön Kurutma	Kürlenme	Sıcaklık, °C	60-100	74
			Süre, dak.	6-10	7
			Sıcaklık, °C	300-350	320
	Son Kat Kaplama	Son Kat Kaplama	Yoğunluk, g/cm ³	1.04-1.24	1.14
			Katı, %	17-26	21.5
			Sıcaklık, °C	10-30	19.6
			Sıcaklık, °C	140-180	155
Süre, dak.			15-30	25	

Tablo 3

Deney planlaması

Deney No	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	✓	✓				
2	✓		✓			
3	✓	✓		✓		
4	✓	✓			✓	
5	✓		✓	✓		
6	✓		✓		✓	
7	✓	✓		✓		✓
8	✓	✓			✓	✓
9	✓		✓	✓		✓
10	✓		✓		✓	✓
11	✓				✓	
12	✓			✓		
13	✓					✓

P1	Kataforez Kaplama
P2	Su Bazlı Çinko Lamelli Kaplama
P3	Çözücü Bazlı Çinko Lamelli Kaplama
P4	Su Bazlı Son Kat
P5	Çözücü Bazlı Son Kat
P6	Kayganlaştırıcı

2.1. Kaplama Süreçleri

2.1.1. Kataforez Kaplama

Kataforez kaplama süreci (i) yüzey hazırlama, (ii) elektro kaplama ve (iii) kürlenme basamaklarından oluşmaktadır.

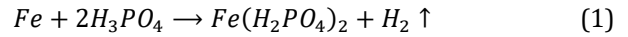
Yüzey hazırlama süreci yağ alma işlemiyle başlamaktadır. Bu işlemle metal yüzeyindeki tüm kirliliklerin uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Bu amaçla genellikle alkali temizleyiciler kullanılmaktadır. Yağ alma işlemi hem sprey hem de daldırma olarak uygulanabilmektedir.

Yağ alma işlemi takiben durulama işlemi yapılmaktadır. Durulama işleminin amacı hem metal yüzeyinde kalan kirlilikleri ve kimyasalları uzaklaştırmak hem de yağ alma sürecindeki kimyasalların kaplama banyolarına taşınmasını önlemektir.

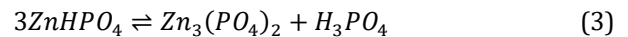
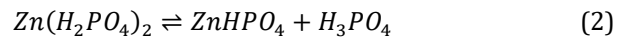
Durulama işleminden sonra, fosfatlama işleminin etkinliğini arttırmak üzere, aktivasyon işlemi uygulanmaktadır. Aktivasyon işlemi sırasında metal yüzeyi tek tip kristallerle kaplanmakta ve böylelikle fosfat kaplama ağırlığının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Aktivasyon sürecinde titanyum orto fosfatın sulu dispersiyonları, $Na_4TiO(PO_4)_2 \cdot 7H_2O$, kullanılmaktadır. Aktivasyon işleminden sonraki basamak olan fosfatlama işleminde titanyum fosfat

yüzeyindeki sodyum iyonlarıyla çinko iyonları yer değiştirmektedir. İyon değişimi, çinko fosfat kristalleri için kristalleşme ajanı görevi görmektedir. Fosfat kaplama basamağındaki kristal oluşum hızı aktivasyonla artmaktadır.

Fosfat kaplama, kataforez kaplama süreci içerisinde yer alan yüzey hazırlama basamağındaki en önemli işlemlerden birisidir. Fosfat kaplama, ekonomik olması, operasyon hızının yüksek olması, üstün korozyon ve aşınma direnci sergilemesi ve adezyon ve yağlama özelliklerinin iyi olması sebebiyle özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Fosfat kaplama, metal altlıkla bütünleşmiş ve metale göre daha absorblayıcı olan çözünmeyen fosfatın yeterince sert ve elektriksel olarak iletken olmayan bir yüzey kaplaması oluşturduğu bir metal yüzey işlemi olarak tanımlanabilir. Kaplama, yüzeyde gerçekleşen kimyasal reaksiyonun bir sonucu olarak metal altlık ile kendisinin korozyona dirençli bir film tabakasıyla bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Tüm geleneksel fosfatlama çözeltileri, bir veya daha fazla alkali metal/ağır metal iyonunun seyreltik fosforik asit temelli çözeltileridir. Bunlar, esas olarak banyoda bulunan metal iyonlarının serbest fosforik asidini ve birincil fosfatlarını içermektedir. Fosfatlama çözeltisine bir çelik panel daldırıldığında, banyoda bulunan serbest fosforik asit tarafından panelin yüzeyinde bulunan demirin çözülmeye başladığı ve hidrojen gazı çıkışının meydana geldiği bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmektedir (Narayanan, 2005).



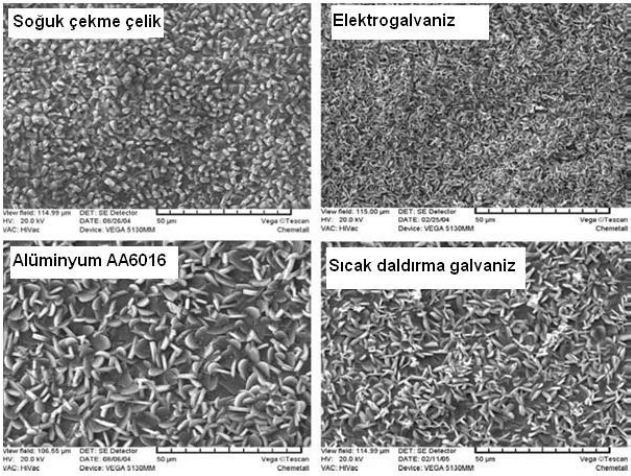
Çözünür birincil ferröz fosfatın oluşumu, çözeltideki serbest asit derişiminin eşzamanlı olarak bölgesel tükenmesine yol açarak metal/çözelti ara yüzündeki pH'da bir artışa neden olmaktadır. pH'daki bu değişiklik, çözünebilir birincil fosfatlar ile fosfatlama çözeltisinde bulunan ağır metal iyonlarının çözünmeyen tersiyer fosfatları arasındaki hidrolitik dengeyi değiştirerek, çözünemeyen ağır metal tersiyer fosfatların hızlı dönüşümü ve birikmesi ile sonuçlanır. Bir çinko fosfat banyosundaki denge reaksiyonları aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Narayanan, 2005).



Hidrolizi baskılamak ve fosfatın etkin bir şekilde birikmesi için gerekli olan banyonun kararlılığı kaplama banyosunda bulunan belirli bir miktardaki serbest fosforik asit ile sağlanabilir. Birincil ve üçüncül fosfat dengesinde dengenin yönünü etkileyen bir başka faktör de banyonun sıcaklığıdır. Daha yüksek sıcaklıklar, üçüncül fosfatların daha kısa sürede ve kolay çökmesini sağlar. Bu nedenle daha yüksek sıcaklıklarda çalışan banyolar için daha fazla miktarda

fosforik asit gerekmektedir. Öte yandan, sürekli olarak oda sıcaklığında çalıştırılan fosfatlama banyolarının asitliğinin artması olasılığı daha fazladır ve kaplamayı oluşturan metalin karbonatının ($Zn(CO_3)_2$) çinko fosfat banyosuna eklenmesiyle nötralize edilir. Bu nedenle, serbest fosforik asit içeriği, denge koşulunu korumak için çalışma sıcaklıklarına ve banyodaki bileşenlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak seçilmelidir. Çok fazla miktardaki fosforik asit sadece kaplamanın oluşumunu geciktirmekle kalmaz, aynı zamanda aşırı metal kaybına da yol açmaktadır (Narayanan, 2005).

Fosfat kaplama hem demir içeren hem de demir içermeyen metaller üzerinde etkili bir şekilde gerçekleştirilebilir (Bkz. Şekil 1). Demir içeren metaller arasında en çok yumuşak çelikler kullanılır, ancak maraging çelikler, galvanizli çelikler ve paslanmaz çelikler de kaplanabilir. Kaplanacak çelik malzemedeki karbon içeriğinin artmasıyla birlikte fosfatlama yavaşlamakta ve sonuçta yüzeydeki kristaller büyümektedir. Fosfat kaplanabilen demir içermeyen metaller arasında çinko, alüminyum, magnezyum ve kadmiyum bulunmaktadır. Orijinal metalin sertliği, gerilme mukavemeti ve işlenebilirliği gibi fiziksel özellikler fosfatlamadan sonra korunur. Fosfat kaplamaların metal yüzeyinde neden olduğu boyutsal değişim 10^{-3} mm mertebesinde (Narayanan, 2005).



Şekil 1. Soğuk Çekme Sac, Elektrogalvanizli Sac, Sıcak Daldırma Galvanizli Sac ve Alüminyum Sacın Düşük Çinko İçerikli Fosfat Kaplamalarındaki Kristal Morfolojilerine Ait Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri (Kılınç, 2019).

Fosfatlama banyosundan çıkan metaller, yüzeyindeki artık kimyasallardan ve çamurlardan arındırılmak ve bunların takip eden adımlara bulaşmasını engellemek için durulama işlemine tabi tutulmaktadır. Aksi durumda pasivasyon banyosunun etkinliği azalmaktadır (Kılınç, 2019).

Fosfat kaplamalı metal sacın korozyon dayanımını arttırmak için pasivasyon işlemi uygulanmaktadır.

Pasivasyon banyosu; krom (VI), krom (III) veya krom içermeyen çözeltilerinden oluşmaktadır. Krom (VI) çözeltilerinin kanserojen olmasından dolayı, günümüzde krom (VI) pasivasyonlarının yerini, zirkonyum temelli pasivasyonlar almıştır. Zirkonyum temelli pasivasyon prosesinde, pasivasyon ajanlarının, asit çözeltileri ile beraber fosfat yüzeyi üzerindeki ikincil fosfat kristallerini aşındırdığı ve çözünemeyen bileşenlerin çökmesine bağlı olarak fosfat yüzeyi üzerindeki gözenek boyutlarını azalttığı ve böylelikle korozyonun ilerlemesini engellediği bildirilmektedir. Japonya ve Kore'deki otomotiv üreticileri pasivasyon işlemini kullanmamaktadır. Onun yerine üç kademedeki daha fazla art arda saf su ile yıkama işlemini tercih etmektedirler. Son yıllarda Avrupa'daki otomobil üreticileri de bu üretim felsefesini benimsemeye başlamış ve pasivasyon adımını ortadan kaldırmışlardır (Kılınç, 2019).

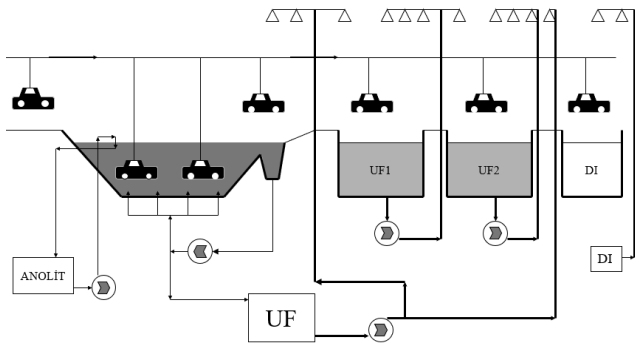
Kataforez kaplama öncesi deiyonize suyla durulama yapılmasının sebebi, kataforez kaplama banyosuna Ca^{+2} , Mg^{+2} , v.b. iyonların taşınmasının engellenmesidir. Bu iyonlar, fosfat kristalli yüzeylerde kaldıklarında, kataforez kaplama sonrasındaki yapışma performansını olumsuz yönde etkilemektedirler. Kaplama hatlarında kullanılan deiyonize suyun iletkenliğinin $20^{\circ}C$ 'de $15 - 50 \mu S cm^{-1}$ olması istenilmektedir. Deiyonize durulama banyosunun iletkenliğinin düşük olmasının en önemli sebebi, fosfat banyosu ve sonrası durulamalardan taşınan Ca^{+2} , Mg^{+2} , gibi iyonların banyo içinde tutularak kataforez banyosuna geçmesinin engellenmesiyle kataforez kaplama sonrasında oluşabilecek olası tuz reaksiyonlarını engelleyerek boyanın yapışma kaybının önlenmesidir.

Kataforez kaplama çözeltisi reçine, bağlayıcı, pigmentleri içeren bir macun ve bir çözücü karışımından oluşmaktadır. Anodik elektro kaplama sırasında, boya negatif olarak yüklenirken metal parçalar pozitif olarak yüklenmekte ve az miktardaki metal iyonunun boya filmine migrasyonu, kaplamanın performans özelliklerini kısıtlamaktadır. Bu nedenle, anodik kaplamalar çoğunlukla iç mekanlarda kullanılmakta ve mükemmel renk ve parlaklık kontrolü sunmaktadırlar. Katodik elektro kaplamada ise, boya pozitif yüklü iken kaplanacak metal negatif olarak yüklenmektedir. Anodik işlemin aksine, katodik işlem, boya filmine girebilecek demir miktarını azaltmaktadır. Bu nedenle, katodik kaplamalar yüksek performans ve mükemmel korozyon direnci sunmakta olup pek çok ülkede anodik kaplamaların yerini almıştır. Kataforez kaplama işleminde sadece %0.5'lik bir çözücü kullanıldığı için nispeten çevre dostu olarak kabul edilmektedir.

Elektro kaplama tankındaki çözücünün pH'ı, tanktaki asidik ve bazik bileşenlerin dengesinin bir ölçüsüdür. Dengeye reçinedeki fonksiyonel gruplar ve nötralize edici ajanlar hakimdir. Kataforez tankındaki düşük pH,

film kalınlığını azaltmakta ve bu nedenle filmin kopma riskine karşı daha yüksek potansiyel farkı uygulanması gerekmektedir. pH, ön arıtma kimyasallarından olumsuz bir şekilde etkilenebilmektedir. Böyle bir durumda, iletkenlik ve pH'ın spesifikasyon dışındaki değerlere kayması ve ultrafiltratın deiyonize su ile tazelenmesiyle iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

Şekil 2'de gösterildiği gibi, kataforez kaplama, otomobil gövdelerinin kaplama çözeltisine daldırmasını ve gövdeden ve sıvı kataforez kaplama çözeltisinden bir elektrik akımı geçirilmesini içermektedir. Bu kaplama işleminin yüklü doğası nedeniyle, kataforez kaplama çözeltisi spreynin ulaşamayacağı yerlere nüfuz edebilmektedir. Kataforez kaplama, kaplamanın metal altlığa yapışmasını teşvik ederek düzgün bir kaplama kalınlığı elde edilmesini sağlamaktadır. Sonuç, çok yüksek katı içerikli ve ön işlem görmüş gövdeye sıkı bir şekilde yapışan ve çözünmeyen bir kaplama tabakasıdır (Kılınç, 2019).



Şekil 2. Kataforez Kaplama Prosesi (Kılınç, 2019).

Kataforez kaplama prosesinde kullanılan karışım, çalışma sırasında kaplama tankına beslenmektedir. Otomobil gövdesi kaplama tankına indirilmekte ve bir elektrik akımı uygulanmaktadır. Tanktaki çözelti %80-90 deiyonize su ve %10-20 kaplama karışımından oluşmaktadır. Sürekli olarak karıştırılan kaplama karışımındaki deiyonize su, karışımındaki katılar için bir taşıyıcı görevi görmektedir. Reçine, son kat boya filmi için önemlidir ve korozyona karşı koruma, dayanıklılık ve tokluk sağlamaktadır. Pigmentler renk ve parlaklık sağlamak için kullanılmaktadır. Kataforez kaplama sırasında boya performansını kontrol etmek için boyayı temizlemek ve uygulanan potansiyel farkını ayarlamak esastır. Kaplamanın kalınlığı arttıkça, kaplanan yüzey daha yalıtkan hale gelmekte ve kaplama işleminin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bir otomobil gövdesi tanktan çıkarken, yüzeye yapışan ancak yüzeye bağlı olmayan boyadaki katı maddeler durulanıp bir ultrafiltrasyon ünitesi aracılığıyla süzülerek kataforez kaplama çözeltisindeki katıların geri kazanımı ve kaplama tankına yeni girecek altlıklardaki kaplamanın pürüzsüz olması

sağlanmaktadır. Ultrafiltrasyon kataforez kaplama tesislerinde yaygın olarak kullanılan bir ayırma prosesidir. Ultrafiltrasyonda amaca uygun olarak seçilmiş polimerik membranlar kullanılmaktadır. Membranlar 30 ila 300 nanometre gözenekliliğe sahiptir. Katodik elektro kaplamalarda su, sıvı fazdaki organik çözücüler, elektrolitler ve düşük molekül ağırlıklı reçineler membrandan geçerek boyadan ayrılmaktadır. Bunlara ultrafiltrant veya permeat denir. Kataforez kaplama tesisi çalışırken ultrafiltrant durulama banyosundaki katı miktarı sürekli olarak artmaktadır. Bunun nedeni metal altlık üzerine elektrostatik kuvvetlerle tutulmuş boyanın ultrafiltrant durulama banyolarına (UF1 ve UF2) taşınmasıdır. Boya kullanımının %100'e yakın olabilmesi için ultrafiltrant durulama banyosundaki (UF1) katı miktarının %1-2 arasında, ultrafiltrant durulama (UF2) banyosundaki katı miktarının ise %0,5-1,0 arasında tutulması gerekmektedir.

Kataforez kaplamadan sonra otomobil gövdesi, maksimum kaplama performans özelliklerinin elde edebilmesi için kürlenmenin gerçekleştiği ve sıcaklığı 160°C sabit tutulan bir fırına en az 10 dakika süreyle girmektedir. Fırın sıcaklığı ve ısıtma süresi kaplamanın kopma direncini ve filmin gövdeye yapışmasını arttırmakta ve korozyon korumasına önemli katkılar sağlamaktadır (Kılınç, 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.

Birinci kademe olan yüzey hazırlama işlemi yağ alma, durulama, kurutma ve kumlama basamaklarından meydana gelmektedir.

Yağ alma basamağında metal parçalar üzerindeki yağ ve kir tabakasının parçadan uzaklaştırılması için uygulanmaktadır. Yağ alma banyolarında fosfat ve silikat içerikli alkali temizleme kimyasalları kullanılmaktadır. Yağ alma banyoları 40-80°C de çalışmakta ve püskürtme ya da daldırma yöntemleri kullanılmaktadır.

Durulama basamağında, yağ alma işlemi sonrasında metal parçaların yüzeyinde kalan alkali kimyasallar ve diğer safsızlıklar uzaklaştırılmaktadır. Alkali yağ alma banyosundan taşınacak bir kimyasal çinko lamelli kaplama banyolarının içeriğini kolaylıkla bozabileceğinden durulama işleminde parçaların kimyasallardan iyice arındırılması gerekmektedir.

Durulama işlemi sonrasında, çinko lamelli kaplama işlemine başlamadan önce, metal yüzeyinde herhangi bir sıvı ve alkali kalıntısının olmaması için kurutma

işleminin yapılması büyük önem taşımaktadır. Kaplama banyosuna giren parçanın yüzeyindeki sıvı, hazırlanan kaplama sıvısının derişimini değiştirerek özelliğini kaybetmesine yol açabilmektedir. Kurutmadan sonra parçalar kumlama prosesine alınır.

Mekanik bir temizleme yöntemi olan kumlama işlemi, metal yüzeyinde kalabilecek tüm kimyasalların, metal çapaklarının ve daha öncesinde oluşabilecek pasların sökülerek, çinko lamelli kaplamaya uygun bir hale getirilmesinde kullanılmaktadır. Bu işlem ile farklı ve karmaşık geometrilerdeki tüm parçaların temizliği mümkün olabilmektedir.

Çinko lamelli kaplama kimyasalları sıvı halde temin edilmektedir ve uygulamadan önce istenen koşullara göre uygun bir çözücü veya suyla hazırlanmaları gerekmektedir. Uygulamadan önce viskozite, sıcaklık ve karıştırma süresi gibi parametreler önemli bir rol oynamaktadır. Çinko lamelli kaplama dört farklı uygulama tekniği kullanılarak uygulanabilmektedir. 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 tutulmuştur. Ön kurutma işlemi 60-100°C sıcaklıkta 6-10 dk. süreyle gerçekleştirilmektedir. Böylelikle parçalar üzerindeki kaynama noktası düşük uçucu kimyasallar buharlaşarak parçadan uzaklaştırılmaktadır. Parçalar doğrudan yüksek ısıl işleme tabi tutulmadan önce ön kurutma işlemi yapılarak kaplama kalitesinde ve görünümde yüksek kaliteye ulaşılmaya hedeflenmektedir.

Parçalar ön kurutma işlemi sonrasında konveyör bant ile fırına taşınmaktadır. Çinko lamelli kaplama işlemi görmüş parçaların kürlenme işlemi 300-350°C sıcaklıkta 15-45 dk. sürede gerçekleştirilmektedir. Parçalar aynı taşıma sistemi ile kürlenme işlemi sonrasında soğutma bölümüne taşınarak dışarıdan çekilen hava ile ortam sıcaklığına kadar soğutulmaktadır (Kılınç, 2019).

2.1.3. Son Kat ve Kayganlaştıracı Kaplama

Son kat kaplama prosesi, çinko lamelli kaplama işleminin devamında ve istenilen özellikler doğrultusunda parçanın soğuma işleminden sonra gerçekleştirilmektedir. Hazır gelen sıvı kaplama kimyasalları istenilen çalışma parametrelerine göre çözücü veya su bazlı olarak hazırlanarak kullanıma uygun hale getirilmektedir. Son kat kaplama işlemi, çinko lamelli kaplama işlemindeki aynı uygulama yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir.

Son kat kaplama işleminden sonra parçalar konveyör bant üzerine alınarak kürlenme işleminin gerçekleştirileceği fırına gönderilir. Kürlenme işlemi son kat kaplama prosesi için 140-180°C'de 15-30 dakika sürmektedir.

Kayganlaştıracı kaplama, kimyasallara ve aşınmaya karşı direnç, sürtünme katsayılarının kontrolü iyileştirilmesi vb. gereksinimleri karşılayan son kat kaplama çeşididir. Kayganlaştıracı kaplama birçok sektörde yeni beklentilere cevap verebilir. Bu kaplama çeşidi, çinko lamelli kaplamada ve son kat kaplamada olduğu gibi daldır-döndür, daldır-çıkır ve püskürtme yöntemleriyle uygulanabilir. Kayganlaştıracı kaplamalar, hidrolik sıvısı, fosforik asit, otomobil yağları ve diğer kimyasallara karşı koruma sağlamakta, hidrojen kırılmalığı gözlenmemekte ve çinko lamelli kaplamayla birlikte kullanımında korozyona karşı korumada iyileşme gözlemlenmektedir (Kılınç, 2019).

2.2. Kaplama Testleri

2.2.1. Görsel Uygunluk Testi

Yapılan tüm deneme çalışmalarının ardından plakaların görsel uygunlukları kontrol edilmiştir. Görsel uygunluk, plakadaki kaplamaların yekpare ve sürekli olmasıyla ilişkilidir. Kaplama kusurları, boya kabarmaları, boya akıntıları, pürüzlülük, çatlak ve çizik oluşumları gözlenmemelidir. Referans alınan görsel uygunluk için kaplama örnekleri Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Görsel Olarak Uygun Referans Kaplama Örnekleri



Şekil 4. Görsel Olarak Uygun Olmayan Referans Kaplama Örnekleri

2.2.2 Kuru Yapışma Testi

Test yapılacak kaplamalı yüzey, kesici bir alet (cross-cut bıçağı) yardımıyla, kaplamasız yüzeye ininceye kadar sabit bastırma kuvveti uygulanarak, düz ve görülebilir bir şekilde çizilir. Çizilen yüzey üzerine kendinden yapışkanlı bir bant (TESA 4657) yapıştırılır. Yapıştırılan bant, elle hızlı bir şekilde yüzeyden yukarıya doğru kuvvet uygulanarak kaldırılır. Bandın çekilerek kaldırılması sonrasında elde edilen yüzey görünümü, yüzey değerlendirmeleri standartlara göre kontrol edilir. Kuru yapışma testi DIN EN ISO 2409 standardına göre yapılmakta olup ve Tablo 4'te verilen tanımlara göre değerlendirilmektedir. Kuru yapışma testinin başarılı olarak değerlendirilebilmesi için sonucun Ad0 olması gerekmektedir.

Tablo 4

Sınıf	Açıklama	Gösterim
Ad0	Kesik kenarlar mükemmel bir biçimde düzdür; karelerde boya kalkması yok.	--
Ad1	Kesişme noktalarında kırılmış küçük parçalar; karelenmiş yüzeyden %5 kalkma var.	
Ad2	Karelerin kesişme noktalarında veya karelenmiş yüzeyden %5 den fazla, %15'ten az kalkma var.	
Ad3	Kesik kenarlar boyunca kırılmanın kısmi veya karelenmiş yüzeyden %15'ten fazla %35'ten az kalkma var.	
Ad4	Geniş şeritler veya tek karelerden tamamen veya karelenmiş yüzeyden %35'ten fazla %65'ten az kalkma var.	

2.2.3. Su Direnci Testi

Su direnci testi, kaplamanın metal yüzeyine veya kaplamaların birbirine yapışıp yapışmadığını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Su direnci testi DIN EN ISO 2812-3/Kısım 2'ye göre yapılmakta ve DIN EN ISO 4628-1 standardına göre değerlendirilmektedir. Test, kaplamalı parçanın, 60±2°C sıcaklıktaki deiyonize suya, 24 saat süreyle batırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sürenin sonunda çıkarılan parça, kurutma kâğıdı ile kurulanır ve iki saat süreyle ortam koşullarında bekletildikten sonra yapışma direnci testine tabi tutulur. Kaplanan parçanın yapışma direnci testinden başarılı olabilmesi için test sonucunun Ad0 olması ve kaplamanın renginde herhangi bir değişim olmaması gerekmektedir.

2.2.4. Nem Testi

Nem testi, kaplamanın metal yüzeyine veya kaplamaların birbirine yapışıp yapışmadığını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Nem direnci testi DIN EN ISO 6270-2 standardına göre yapılmakta ve değerlendirilmektedir. Test edilecek numune 40±1°C sabit sıcaklıkta, 300 saat süreyle %95 nem koşullarında bekletilmektedir. Sürenin sonunda çıkarılan parça,

kurutma kâğıdı ile kurulanır ve iki saat süreyle ortam koşullarında bekletildikten sonra yapışma direnci testine tabi tutulur. Kaplanan parçanın yapışma direnci testinden başarılı olabilmesi için test sonucunun Ad0 olması ve kaplamanın renginde herhangi bir değişim olmaması gerekmektedir.

2.2.5. Tuz Sisi Testi

Tuz sisi testi, ASTM B 117 ve DIN EN ISO 9227 standartlarına göre gerçekleştirilmektedir. Test standartlarına göre hazırlanmış plakalar kaplandıktan sonra 35°C sabit sıcaklık ve %95 nemde %5'lik sodyum klorür çözeltisini püskürten bir tuz sisi kabini içerisine yerleştirilmektedir. Kırmızı pas korozyonun metal yüzeyine ulaştığının göstergesidir. 720 saat süreyle uygulanan tuz sisi testi sonrasında lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanarak dökülme, tabakalara ayrılma, boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır ve parça yüzeyinin en çok %5'nde kırmızı pas olmalıdır. Bununla beraber boyalı yüzeye özel Cross-Cut bıçağıyla çizilen 'X' şeklindeki çizikte bulunan boya kopması maksimum 4 mm olmalıdır.

2.2.6. Çevrimsel Korozyon Testi

Çevrimsel korozyon testi EN ISO 11997-1 Çevrim B standardına göre yapılmaktadır. Söz konusu test, yedi gün süreyle devam etmekte ve Tablo 5'de verilen adımlardan meydana gelmektedir.

Tablo 5

Adım	Süre (saat)	Sıc. (°C)	Nem, %	Gözlem
1	24	35±2	Tuz Sisi	
2	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
3	16	23±2	50±20	
4	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
5	16	23±2	50±20	
6	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
7	16	23±2	50±20	
8	8	40±2	100	Panellerde su yoğuşması
9	16	23±2	50±20	
10	48	23±2	50±20	
11		1. Adıma dön.		Adım 1'den 10'a kadar toplam çevrim sayısı 7 gündür.

Çevrimsel korozyon testleri nem, tuz, sıcaklık, kuru hava, yağmurlama gibi etki faktörlerini taklit etmek adına birbirini takip eden adımlardan oluşmaktadır. Bir aracın gerçek hayatta karşılaşılabileceği tüm çevre koşulları hızlı ve kontrol edilebilir bir test cihazında test edilmektedir. Çevrimsel korozyon testi sonunda kaplanmış parçada lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, tabakalara ayrılma, kaplama yapışmasında kopma gibi yüzey bozukluklarının olmaması ve parça yüzeyinin en çok %5'nde kırmızı pas olması, ayrıca kaplamalı yüzeye özel cross-cut bıçağıyla

"X" şeklinde çizilen çizikte bulunan boya kopmasının en çok 4 mm olması beklenmektedir.

2.2.7. Kimyasal Direnç Testi

Kimyasal direnç testi benzin ve fren sıvısı direnci testleri olmak üzere iki farklı test olarak gerçekleştirilmektedir. Testler, EN ISO 2812-3 standardına göre gerçekleştirilmektedir.

Benzin direnci testi DIN EN ISO 2812-3/Kısım 3 standardına göre yapılmakta ve DIN EN ISO 4628-2 standardına göre de değerlendirilmektedir. Test edilecek parça etüvde $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta ve 30 dakika süreyle bekletilmektedir. Etüvden çıkarılan parça, 10° eğimli olacak şekilde sabitlenir ve sıcak parça yüzeyine %80 benzin ve %20 etanol'den oluşan 5 ml'lik karışım 1 dakika içerisinde kısa aralıklarla damlatılır. Parça, 5 dakika daha bu konumda bekletilir, sonra yatay düzlemde 23°C sıcaklıkta 24 saat süreyle muhafaza edilir. Bu işlemler 24 saat aralıklarla iki kez tekrarlanır. Üçüncü testin (72 saat) sonunda parçanın değerlendirilmesi yapılır. Kaplamalı parçaların yüzeyi, ilgili kimyasala maruz kaldığında renginde değişim, yapıda yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, tabakalara ayrılma ve boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır.

Fren sıvısı direnci testi DIN EN ISO 2812-3/Kısım 3 standardına göre yapılmakta ve DIN EN ISO 4628-2 standardına göre değerlendirilmektedir. Test edilecek parça etüvde $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıkta ve 30 dakika süreyle bekletilmektedir. Etüvden çıkarılan parça, 10° eğimli olacak şekilde sabitlenir ve sıcak parça yüzeyine 5 ml fren sıvısı olan DOT3 ya da DOT4, 1 dakika içerisinde kısa aralıklarla damlatılır. Parça, 5 dakika daha bu konumda bekletildikten sonra yatay düzlemde 23°C sıcaklıkta 24 saat süreyle muhafaza edilir. Bu işlemler 24 saat aralıklarla iki kez daha tekrarlanır. Üçüncü testin (72 saat) sonunda parçanın değerlendirilmesi yapılır. Kaplamalı parçaların yüzeyi, ilgili kimyasala maruz kaldığında renginde değişim, yapıda yumuşama, lekelenme, bozulma, çatlama, kırılma, şişme, pullanma, tabakalara ayrılma ve boya yapışmasında kopma gibi yüzey bozuklukları olmamalıdır.

3. Bulgular

Deney planı dahilinde yapılan çalışmalara ait görsel uygunluk testi sonuçları Tablo 6'de özetlenmiştir.

Tablo 6

Deney planlamasına göre görsel uygunluk değerlendirmesi sonuçları.

Deney No	Standart Plaka	Kumlanmış Plaka
1	x	x
2	x	x
3	x	x
4	x	x
5	x	x
6	x	x
7	x	x
8	x	x
9	x	x
10	x	x
11	✓	✓
12	x	x
13	✓	✓

Görsel uygunluk değerlendirmesi sonucunda uygun olarak değerlendirilen 11 ve 13 numaralı deney kombinasyonuna ait standart ve kumlanmış plakalara uygulanan kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sisi, çevrimsel korozyon ve kimyasal direnç testlerinden el edilen sonuçlar Tablo 7'de özetlenmiştir.

Tablo 7

Görsel uygunluğu olan standart ve kumlanmış plakaların test değerlendirme sonuçları.

Deney No	11		13	
	Standart	Kumlanmış	Standart	Kumlanmış
Plaka Türü	✓	✓	✓	✓
Kuru Yapış.	✓	✓	✓	✓
Su Direnci	✓	✓	✓	✓
Nem Direnci	✓	✓	✓	✓
Tuz Sisi	✓	✓	✓	✓
Çevr. Korozyon	✓	✓	✓	✓
Kim. Direnç	✓	✓	✓	✓

Görsel uygunluk değerlendirmesinin sonucuna göre yapılan testler sonucunda hem 11 hem de 13 numaralı kaplama kombinasyonları tüm testlerden başarıyla geçmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında konuyla ilgili yapılan patent başvurusu sonucunda Türk Patent Ofisinden 2017/11105 başvuru numarasıyla patent alınmış olup, söz konusu kaplama prosesi ülkemizde üretim yapan otomotiv üreticileri tarafından hızla değerlendirilerek uygulanmaya ve teknik şartnamelerinde yer almaya başlamıştır.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan tüm kaplama çalışmalarında, görsel uygunluk değerlendirmeleri ve test sonuçlarının sonrasında yapılan değerlendirmeler sonucunda hem su bazlı hem de çözücü bazlı çinko lamelli kaplamaların kataforez kaplamayla uyumlu olmadığı gözlenmiştir. Bunun nedeni kataforez kaplamanın hidrofobik özellikte olup, mevcut yüzey geriliminin çinko lamelli kaplama

çözeltilisiyle yeterince temas etmesini engelleyerek uygun reaksiyon düzlemini oluşturamamasıyla açıklanabilir.

Kataforez kaplama üzerine yapılan hem son kat hem de kayganlaştırıcı uygulamasının olduğu standart ve kumlanmış plakalar görsel uygunluk ve test değerlendirmelerinden başarıyla geçmiştir. Bu kaplamalar içerisinde en yüksek korozyon performansını 11 no'lu deney kombinasyonundaki kataforez kaplama üzerine son kat kaplama uygulaması göstermiştir. Söz konusu kaplama 1200 saatten daha uzun süren tuz sisi testinden ve 63 çevrimlik çevrimsel korozyon testinden başarılı olmuş üstün özellikli bir kaplama kombinasyonudur.

Otomobil üreticilerinin teknik şartnamelerinde belirttiği ve hem tuz sisi hem de çevrimsel korozyon testlerindeki istekleriyle kıyaslandığında çalışmamız kapsamında üretilen kaplamaların, otomobil üreticilerinin isteklerinden daha yüksek performans göstermiştir.

Tablo 8'deki firma isimleri ticari bilgi olması sebebiyle saklı tutularak verilmiş ve çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz korozyon testi sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Tablo 8

Otomobil üreticilerinin korozyon testlerine ait beklentileri ve çalışmamızdan elde edilen sonuçlar

Firma	Tuz sisi	Çevrimsel Korozyon	Deney No. 11 Tuz Sisi Testi Sonucu	Deney No. 11 Çevrim Testi Sonucu
A	-	35 çevrim		
B	750 saat	30 çevrim		
C	500 saat	9 hafta çevrim	>1200 saat	63 çevrim
D	750 saat	60 çevrim		
E	840 saat	50 çevrim		

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

Su bazlı çinko lamelli kaplamaların, kataforez kaplamayla birlikte kullanılabilmesi için kataforez kaplamaya hidrofilik özellik kazandırılması gerekmektedir. Bunun için kataforez kaplamının kürlenme sıcaklığı, katı/kül bağlayıcılık oranı gibi parametreler değiştirilerek kataforezin hidrofilik özelliği araştırılmalıdır. Çözücü bazlı kaplamaların günümüzde otomotiv endüstrisinde kullanımının azaltılması hedeflenmektedir. Bu durum bundan sonra yapılabilecek çalışmalar için önemli bir motivasyon kaynağıdır.

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

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Muhammed KILINÇ, 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

Akafuah, N. K., Poozesh, S., Salaimah, A., Patrick, G., Lawler, K. & Saito, K. (2016). Evolution of the Automotive Body Coating Process—A Review. *Coatings*, 6,24. Erişim adresi: <https://www.mdpi.com/2079-6412/6/2/24>

Holmes, A. L., Wise, S. S. & Wise, J. P. (2008). Carcinogenicity of hexavalent chromium. *The Indian Journal of Medical Research*, 128 (4), 353–372. Erişim adresi: <https://digitalcommons.usm.maine.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=appmedsci>

ISO 10683:2000(en)-Fasteners-Non-Electrolytically Applied Zinc Flake Coatings. Erişim Adresi: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10683:ed-1:v1:en>, (06.07.2018).

Kılınç, M. (2019). *Kataforez 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.

Narayanan, T. S. N. S. (2005). Surface Treatment by Phosphate Conversion Coatings – A Review. *Reviews on Advanced Material Science*, 9, 130-177. Erişim adresi: https://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_2905/narayanan.pdf

Toxicological Review Of Hexavalent Chromium. (1998). Erişim adresi: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0144tr.pdf, (14.01.2019).

Zink Flake Coatings. Erişim Adresi: https://www.fabory.com/en/knowledge_center/technical/surface_treatments/zinc_flake_coatings, (15.05.2019).