

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SICAK DALDIRMA GALVANİZ KAPLAMA
ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN PİLOT BİR
FİRMADA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERİDE BUKET KARDEŞ

DENİZLİ, OCAK - 2020

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SICAK DALDIRMA GALVANİZ KAPLAMA
ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN PİLOT BİR
FİRMADA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERİDE BUKET KARDEŞ

DENİZLİ, OCAK - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

FERİDE BUKET KARDEŞ tarafından hazırlanan "SICAK DALDIRMA GALVANİZ KAPLAMA ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN PİLOT BİR FİRMADA İNCELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 14.01.2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Cemal MERAN
Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Üye
Prof. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU
Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Üye
Doç. Dr. Mehmet Burak BİLGİN
Amasya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
12/02/2020 tarih ve 07/111 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

FERİDE BUKET KARDEŞ



ÖZET

SICAK DALDIRMA GALVANİZ KAPLAMA ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN PİLOT BİR FİRMADA İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FERİDE BUKET KARDEŞ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. CEMAL MERAN)

DENİZLİ, OCAK - 2020

Kaplama ve yüzey işlemleri malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek ekonomik yönden avantaj sağlar. Sıcak daldırma galvaniz kaplama, makine parçalarına korozyon ve diğer dış etkilere karşı dayanım sağlama, görsel estetik kazandırma, uzun ömürlü kullanım seçenekleri sunması açısından yüzey kaplama teknolojisi içerisinde günümüzde en sık kullanılan yöntemdir.

Bu tez çalışmasında, sıcak daldırma galvaniz kaplamaya etki eden işlem parametreleri araştırılmıştır. Kaplama kalitesindeki iyileştirmeler ve kaplama kalınlığını azaltmak hem firma maliyetleri hem de müşteri memnuniyeti açısından fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada optimum kaplama kalınlığını tespit etmek için birçok deney gerçekleştirilmiştir. Tezde çalışılan kaplama parametreleri; kaplama malzemesinin çinko banyosuna daldırma/çekme açısı, daldırma/çıkarma hızları, yüzeylerin kimyasal çözeltilerle temizlenmesinin etkisi (asit-flux banyoları), malzemelerin flux banyosundan sonra kuru/ıslak kalması, çinko havuzunun sıcaklığı, malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ile malzemelerin çinko havuzunda bekletilme süresidir. Tüm bu işlem parametrelerinin kaplama kalınlığına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Kaplama kalınlığının yanı sıra kaplama sonrası numune sacların görüntülerine de yer verilerek kıyaslama yapılmıştır. Yapılan çalışma sonuçlarının hem galvaniz kaplama sektörüne hem de bu sektörde yeni çalışmaya başlayacak olanlara faydalı olması beklenmektedir.

Deneysel neticesinde elde edilen bulgularda ölçülen kaplama kalınlıkları kaplama görüntüleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tez çalışmasının sonuçlarından anlaşılacağı üzere, sıcak daldırma galvaniz kaplamada uygun galvaniz kaplama koşulları ve doğru parametre seçimi ile kaliteli kaplamalar elde edilebilir.

ANAHTAR KELİMELER: Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama, Kaplama Kalınlığı, Yüzey Temizleme, Kaplama Kalitesi ve Parlaklık, Kaplama Parametreleri Galvaniz Banyosu, Yüzey pürüzlülüğü

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EFFECTED PARAMETERS ON HOT DIPPING GALVANIZED COATING IN A PILOT FACTORY

MSC THESIS

FERİDE BUKET KARDEŞ

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
MECHANICAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF. DR. CEMAL MERAN)

DENİZLİ, JANUARY 2020

Coating and surface treatments provide in terms of economy advantage by changing the physical and chemical properties of the materials. Hot dip galvanized coating is the most commonly used method in surface coating technology in terms of providing resistance to machine parts against corrosion and other external effects, providing visual aesthetics, and in terms of offering long-lasting usage options.

In this thesis, process parameters affecting hot dip galvanized coating were investigated. Improvements in coating quality and reducing coating thickness will benefit both in terms of firm costs and customer satisfaction. In this study, many experiments were carried out to determine the optimum coating thickness. Coating parameters examined in the thesis; the dipping/withdrawal angle of the coating material to the zinc bath, the speeds of immerse/withdrawal, the effect of cleaning the surfaces with chemical solutions (acid flux baths), remaining dry/wet materials after the flux bath, temperature of the zinc pool, surface roughness of the materials with in the zinc pool of the materials is the holding time. The effect of all these process parameters on the coating thickness has been investigated experimentally. Besides the coating thickness, comparisons were made by including images of the specimen sheet metals after coating. The results of the study conducted are expected to be beneficial for both the galvanizing industry and those who will start working in this sector.

The coating thicknesses measured in the findings obtained from the experiments were evaluated comparatively with the coating images. As can be understood from the results of the thesis study, high quality coatings can be obtained with suitable galvanized coating conditions and correct parameter selection in hot dip galvanized coating.

KEYWORDS: Hot Dip Galvanized Coating, Coating Thickness Measurement, Surface Cleaning, Coating Qualities and Brightness, Galvanized Bath, Coating Parameters, Surface Roughness

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	8
1.2 Literatür Özeti	9
2. SICAK DALDIRMA GALVANİZ KAPLAMA.....	34
2.1 Genel Bilgiler	34
2.2 Sıcak Daldırma Galvanizle Kaplamanın Kullanım Alanları	40
2.3 Sıcak Daldırma Galvanizle Kaplama İşlemine Etki Eden Faktörler ..	42
2.4 Sıcak Daldırma Galvanizle Kaplamada Sanayide Karşılaşılan Sorunlar, Kaplama Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar.....	43
3. MATERYAL VE METOD	45
3.1 Deney Çalışmalarında Kullanılan Malzemelerin Kaplama İşleminden Önceki Hazırlık Aşamaları	46
a-) Asit Havuzu	51
b-) Su Havuzu	52
c-) Flux Havuzu	53
d-) Nişadır (Tuz)	54
e-) Çinko Kaplama Banyosu.....	54
3.2 Deneylerde Etkisi Araştırılan İşlem Parametreleri.....	57
3.3 Deneylerde Ölçümler İçin Kullanılan Cihazlar.....	60
3.4 Standartlarda Belirtilen Kaplama Kalınlığı Değerleri.....	62
4. SICAK DALDIRMA GALVANİZLEME DENEYLERİ.....	66
4.1 Daldırma ve Çekme Açısının Kaplama Kalınlığına Etkisi.....	66
4.2 Daldırma ve Çıkarma Hızlarının Kaplama Kalınlığına Etkisi	72
4.3 Yüzey Temizleme Kimyasallarının Kaplama Kalınlığına Etkisi	76
4.4 Sacların Islak – Kuru Daldırılmasının Kaplama Kalınlığına Etkisi ...	81
4.5 Çinko Kaplama Banyosunda Bekletme Süresinin Kaplama Kalınlığına Etkisi.....	84
4.6 Çelik Sac Numunelerinin Üzerindeki Yüzey Pürüzlülüğünün Mekaniksel İşlemlerle Değiştirilmesinin Kaplama Kalınlığına Etkisi.....	87
4.7 Çinko Kaplama Banyosu Sıcaklığının Kaplama Kalınlığına Etkisi...	90
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	100
6. KAYNAKLAR.....	103
7. ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çinkonun kullanım alanları (%) (a) Çinkonun tüketim alanları, (b) Birincil çinkonun tüketimleri	4
Şekil 2.1: Galvaniz kaplamada oluşan metalurjik bağlar.....	34
Şekil 2.2: Galvanik Koruma.....	35
Şekil 2.3: Galvaniz kaplama sonrası ortaya çıkan bariyer ve katodik koruma mekanizmaları	36
Şekil 2.4: Çinko Patinası Oluşumu	37
Şekil 2.5: Galvaniz kaplama işlemi uygulama adımları.....	37
Şekil 2.6: SDGK işleminin uygulandığı bir işletmede kaplama istasyonu	42
Şekil 3.1: 4 mm kalınlığındaki deney numune sac levhanın boyutları ve üç boyutlu hali.....	45
Şekil 3.2: Deneylerde kullanılan numune saclar	46
Şekil 3.3: 1. grup deneylerden giriş-çıkış açısı 180^0 iken (a) preste kesilen saclar, (b) dikey matkapta saca delinen askılama delikleri, (c) sacın tel çubuğa asılmış hali	47
Şekil 3.4: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180^0 iken numune sacın asit banyosuna dalışı ve bekletilmesi	48
Şekil 3.5: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180^0 olduğunda numune sacın su havuzunda durulanması	48
Şekil 3.6: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180^0 iken numune sacın flux banyosuna dalışı.....	49
Şekil 3.7: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180^0 iken numune saca nişadır uygulaması.....	49
Şekil 3.8: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısının 90^0 iken (a) sacların preste kesilmiş hali, (b) saclara askılama deliğinin delinmiş hali ..	50
Şekil 3.9: SDGK prosesinin şematik çizimi.....	50
Şekil 3.10: SDGK istasyonu genel görünümü (a) Asit, su ve flux havuzları, (b) Galvanizleme ocağı	51
Şekil 3.11: SDGK prosesindeki asit havuzları (a) Asit havuzu, (b) Asit havuzu havalandırma fanı	52
Şekil 3.12: SDGK prosesindeki su ile durulama havuzu	53
Şekil 3.13: SDGK prosesindeki flux havuzu	53
Şekil 3.14: SDGK prosesindeki nişadır	54
Şekil 3.15: SDGK prosesi a) Çinko kaplama banyosu, b) Ortamdan çıkan zehirli gazları tahliye için kullanılan havalandırma fanı	55
Şekil 3.16: Ölçümlerde kullanılan mikrometre	60
Şekil 3.17: Kaplama banyosunun sıcaklığını ölçmek için kullanılan termometre	60
Şekil 3.18: Çinko kaplama kalınlığını ölçmek için kullanılan Teskon TT-211 cihazı ve ölçüm başlangıcında değerleri sıfırlama yüzeyi	61
Şekil 3.19: Excell marka terazi	61
Şekil 4.1: (a) Sacın yatay konumda çelik teller ile asılması, (b), (c) 180^0 daldırma açısında numune sacın kaplama banyosuna daldırılması	67

Şekil 4.2: (a) 180° çekme açısında numune sacın kaplama banyosundan çıkarılması, (b) Yatay konumda işlemden geçen sacın kaplanmış hali	68
Şekil 4.3: 90° daldırma açısında numune sacın çinko kaplama banyosu içerisine girmesi	69
Şekil 4.4: (a), (b) 90° çekme açısında numune sacın çinko kaplama banyosunun dışına alınması	70
Şekil 4.5: Kaplama kalınlığının giriş/çıkış açısı ile değişimi.....	71
Şekil 4.6: Çekme/daldırma açısı 180° iken numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri.....	71
Şekil 4.7: Çekme/daldırma açısı 90° iken numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri.....	72
Şekil 4.8: Kaplama kalınlığının giriş/çıkış hızları ile değişimi.....	74
Şekil 4.9: Giriş hızı: 1,17 m/min-çıkış hızı: 3,8 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	74
Şekil 4.10: Giriş hızı: 3,8 m/min-çıkış hızı: 1,17 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	75
Şekil 4.11: Giriş hızı: 3,8 m/min-çıkış hızı: 3,8 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	75
Şekil 4.12: Giriş hızı: 1,17 m/min-çıkış hızı: 1,17 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	76
Şekil 4.13: Kaplama kalınlığının yüzey temizleme kimyasallarının kullanımı ile değişimi	78
Şekil 4.14: Asit-flux banyolarına daldırılarak galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri.....	79
Şekil 4.15: Asit-flux banyolarına daldırılmadan galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri.....	79
Şekil 4.16: Asit ile temizlenip flux havuzuna daldırılmadan galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri.....	80
Şekil 4.17: Flux çözeltisi ile temizlenip asit havuzuna daldırılmadan galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri	81
Şekil 4.18: Kaplama kalınlığının sacların daldırılmadan önce kurutulma koşullarına göre değişimi	82
Şekil 4.19: Islak halde daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	83
Şekil 4.20: Kurutulmuş daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	83
Şekil 4.21: Kaplama kalınlığının süre ile değişimi	85
Şekil 4.22: Çinko kaplama banyosunda farklı sürelerde bekletilen numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	86
Şekil 4.23: Kaplama kalınlığının yüzey pürüzlülüğü ile değişimi.....	88
Şekil 4.24: Yüzeyi zımparalanarak daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri.....	89
Şekil 4.25: Yüzeyi zımparalanmadan daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	89
Şekil 4.26: Kaplama kalınlığının sıcaklık ile değişimi	91
Şekil 4.27: Farklı galvanizleme ocağı sıcaklıklarında daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri	92

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Deneysel çalışmalarda kullanılan numune sac levhalarının kimyasal bileşimleri (%)	45
Tablo 3.2: Galvanizleme ocağında bulunan çinko külçelerinin kimyasal bileşimi (%)	56
Tablo 3.3: Galvanizleme ocağında yapılan kimyasal analiz sonuçları	57
Tablo 3.4: Deneylerde çalışılan kaplama parametreleri	58
Tablo 3.5: Deneylerin listesi	59
Tablo 3.6: ASTM A 123/A 123M_2015'e göre farklı malzemelerin minimum ortalama kaplama kalınlık değerleri (μm)	63
Tablo 3.7: TS EN ISO 1461 Aralık 2004'e göre santrifüjlenmemiş numuneler üzerinde minimum kaplama kalınlıkları (μm)	63
Tablo 3.8: TS EN ISO 1461 Aralık 2004'e göre santrifüjlenmiş numuneler üzerinde minimum kaplama kalınlıkları (μm)	64
Tablo 4.1: Çinko kaplama kalınlığının bekletme süresi ile değişimi	84
Tablo 4.2: Çinko kaplama kalınlığının kaplama banyosu sıcaklığı ile değişimi	90
Tablo 4.3: Deney numaraları ve deneylerde incelenen işlem parametreleri ile kaplama kalınlıkları	93
Tablo 4.4: SDGK istasyonunda kullanılan malzemelerin birim alış fiyatları (TL/kg, TL/l)	97
Tablo 4.5: SDGK'da kaplanan film tabakasının maliyeti	97

SEMBOL LİSTESİ

SDG	:	Sıcak Daldırma Galvanizleme
HDG	:	Hot-Dip Galvanizing
Galder	:	Galvanizciler Derneği
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
HCl	:	Sülfürik Asit
NH₄Cl	:	Amonyum Klorür
SDGK	:	Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama
C	:	Karbon
Mn	:	Mangan
P	:	Fosfor
S	:	Kükürt
Si	:	Silisyum
Al	:	Alüminyum
N	:	Azot
Cu	:	Bakır
Cr	:	Krom
Ni	:	Nikel
Pb	:	Kurşun
Cd	:	Kadmiyum
Fe	:	Demir
Zn	:	Çinko
Ti	:	Titanyum
Co	:	Kobalt
Sn	:	Kalay
Sb	:	Antimon
Mg	:	Magnezyum
In	:	İndiyum
Hg	:	Cıva
Bi	:	Bizmut
Be	:	Berilyum
As	:	Arsenik
η	:	Eta
ζ	:	Zeta
δ	:	Delta
δ₁	:	Delta ₁
Γ	:	Gama (Gamma)

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca sabrını ve desteğini esirgemeyen, değerli katkılarıyla rehberlik eden, zaman ayırarak yardımcı olan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Cemal MERAN'a en içten teşekkürlerimi ve saygımı sunarım.

Uygun Metal ve Plastik Konteyner işletmesinden Akif UYGUN ve Kürşat GENÇOĞLU'na numune hazırlama ve deneysel çalışmalar süresince şahsıma vermiş oldukları yardımlar için teşekkür ederim.

Her zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Feride Buket Kardeş

1. GİRİŞ

Günümüzde sanayide kullanılan metalik malzemelerin %90'ı demir-çelik esaslı olduğundan korozyon, ekonomiklik ve güvenilirlik demir-çelik endüstrisinde iç içe geçmiş kavramlardır.

Korozyon, metallerin çevresiyle kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girmeleri sonucunda hasara uğramasıdır. Korozyona uğrayan metal, tasarım yapıldığı andaki amacından uzaklaşarak beklenen özellikleri tam olarak karşılayamaz ve kullanılamaz hale gelir. Malzemedeki oksidasyon sonucu ortaya çıkan korozyon, dış görüntü bozukluğunun yanı sıra, yaşanan malzeme kayıpları ile aynı zamanda maddi kayıplara ve malzemenin özelliklerini zaman içerisinde kaybetmesine neden olur.

Korozyon mekanizması, malzeme ile malzemenin yer aldığı ortamın ara yüzünde başlayarak malzemenin derinliklerine doğru ilerleyip malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde istenmeyen zararlara uğratan olaylar zinciri olarak gerçekleşir. Korozyona karşı mücadelede, korozif ortamlarda çalışacak uygun malzeme seçimi, malzemelerin çalışacağı ortamları kontrol altında tutup malzeme kayıplarını önlemek, proseslerin tasarım aşamasındayken malzemelerin dış katmanlarını olası korozif ortamlara dayanıklı hale getirmek etkili olabilecek seçenekler arasındadır. Amaç, metalik malzemelerin çalışma ömrünü ve beklenen kaliteyi artırmaktır.

Korozyon endüstride her alanda kendini göstermektedir. Endüstriyel şartların etkisinde kalan metal malzemelerin kullanıldığı yer altı boruları, enerji nakil ve trafo hatları, gemi parçaları, depolama tankları, köprüler, nakil hattı direkleri, taşıtlar, konstrüktif yapılar, akaryakıt, şehir suyu gibi sıvı taşınan boru hatları, yaya korkulukları, baraj ve rögar kapakları, çöp konteynerleri, buhar kazanları, bariyerler vb. makine parçaları atmosfere açık olan yapılar olduğundan korozyon olayı gerçekleşmekte ve metal özelliklerini zamanla kaybederek belirli bir zaman sonra korozyon nedeni ile kullanılamaz hale gelmektedir.

Korozyon ile beraber ortaya çıkan kayıplar bilinirse; etkisini minimuma indirmek için neler yapılabilir sorularına daha etkili cevaplar bulunabilir. Petrol, doğalgaz veya su taşıyan boru nakil hattının korozyona uğraması ile boru malzemesinin delinmesi ya da gemilerle taşınan konserve kapaklarının korozyona uğraması ile kapakların kullanılamaz hale gelmesi durumunda geri dönüşü olmayan sonuçlar ile karşı karşıya kalınır. Örneğin, gemilerle deniz aşırı ülkelere ihracat yapan bir konserve firmasını ele alalım. Deniz yolu ticaretinde konservelerin gemilerle taşınması sonrası konserveleri teslim alan firma, kapakları taşınan atmosferik ortamın (deniz) koşullarından etkilenecek korozyona uğraması sonucu paslanması ile karşılaştığında ürünleri iade ediyor. Bu durumda konserve üreticisi firma maddi olarak büyük zarara uğruyor. Oysa konserve kapağında kullanılan yassı çelik malzeme, taşınan atmosferik ortama uygun şekilde kaplansa idi böyle bir sorun ortaya çıkmayacaktı. Sektörde çalışanlar, malzemelerin kullanım yeri ve çalışma koşullarını da değerlendirerek; atmosferik ortamın olumsuz koşullarından korumak için gerekirse malzemelere uygun yüzey kaplama işlemlerinden faydalanmalıdır. Bu şekilde çeşitli malzeme kayıplarının önüne geçilmiş olur. Sonuç her ne kadar metal kaybı olarak gözükse de diğer kayıplar da zararların büyük bölümünü oluşturur. Ürün kaybı, kirlilik, petrol, doğalgaz dâhilinde yangın ve patlama riski, şehir taşıma suyunda salgın hastalık riski, işçilik kaybı, zaman kaybı, ekonomik kayıplar, müşteri ve prestij kaybı ve uçak, otomobil gibi ulaşım araçlarında hayati parçaların korozyon nedeni ile kırılması, korozyonlu yorulma sonucu uçak düşmelerine, otomobillerde kazalara neden olması sonucu en önemlisi de can kaybı olur ki telafisi asla mümkün değildir.

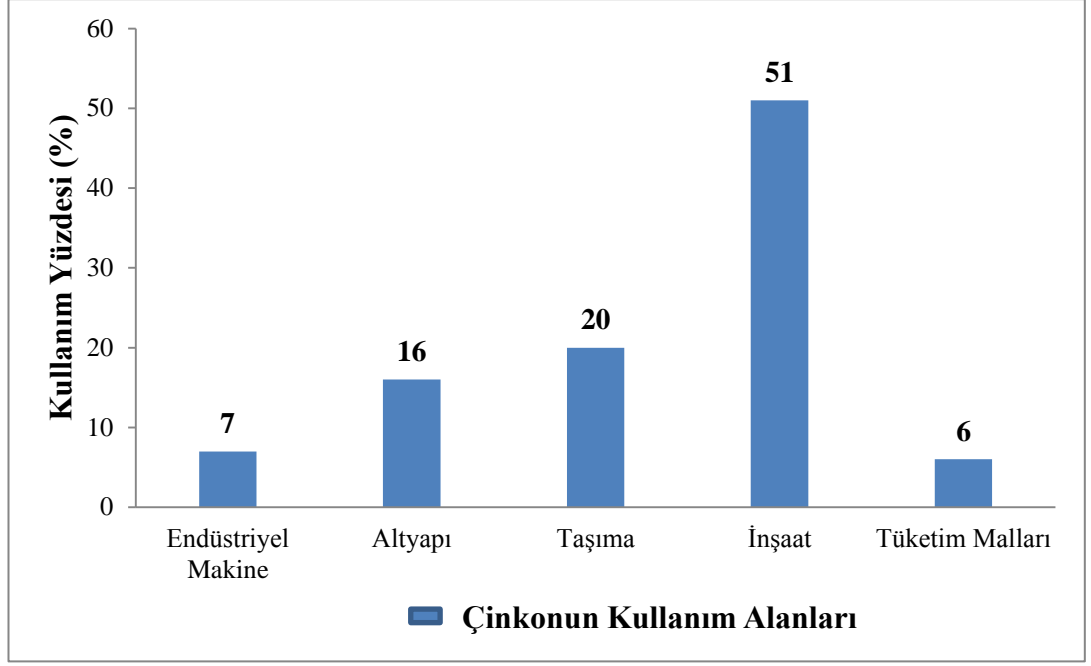
Korozyon nedeni ile “malzeme” kaybı yanında “sermaye-emek-enerji ve bilgi” de kaybolur. Korozyon dünyadaki sınırlı metal kaynaklarının en önemli israf nedenidir. Üretilen metalik malzemelerin büyük çoğunluğu korozyon nedeni ile kullanılmaz hale gelmektedir.

Malzemeler, dış etkenlerle karşılaştığı ilk yer dış yüzeyler olduğundan en sık yüzeyden korozyona uğrar. Bu aşamada devreye yüzeyin başka malzemelerle kaplanması girer. Metalik malzemelerin yüzeyinin çeşitli metal veya metal olmayan malzemelerle farklı amaçlar için kaplanması günümüzde sık karşılaşılan uygulamalardır. Bu amaçların içerisinde en önemlisi korozyona karşı korumaktır.

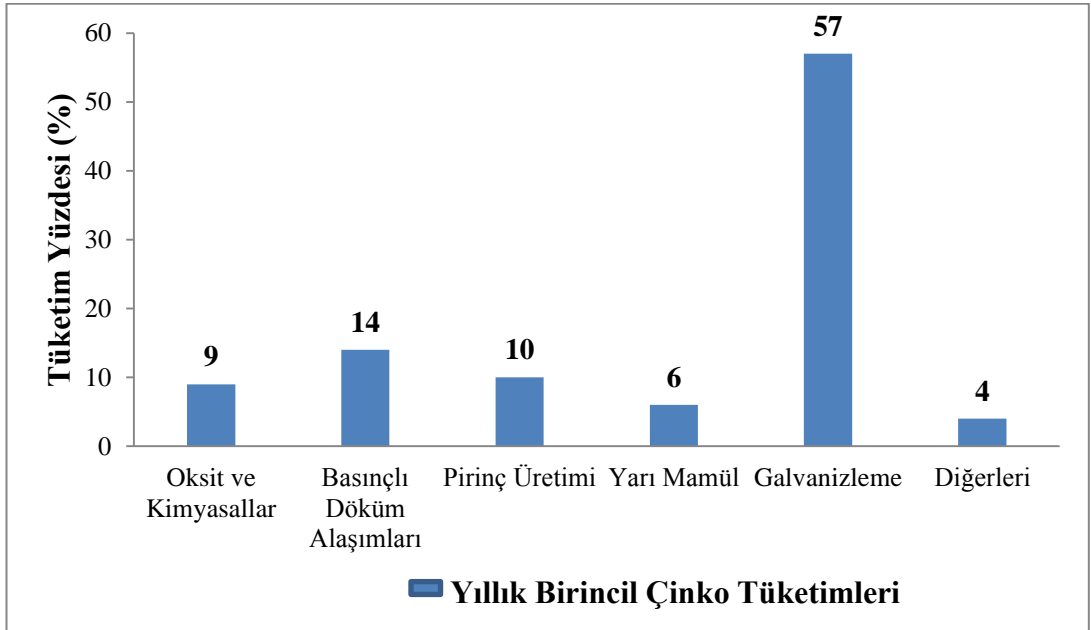
Korozyon kendiliğinden gerçekleşen doğal bir olay olup, durdurmak mümkün değildir. O halde prosesler korozyona karşı dirençli hale gelmeli, malzeme seçiminde korozif direnci yüksek olanlar seçilmelidir. Uygulamada karşılaşılan metal yüzeylere koruyucu yöntemlerden biri sıcak daldırma galvaniz kaplamadır (SDGK). SDGK yönteminde, diğer kaplama metodlarına göre korozyon dayanımında daha fazla avantaj elde edilmektedir. Çinko ile kaplanarak çelik koruma altına alınır. Bu önemli noktanın farkına varılmasından sonra yoğunlaşan çinko kaplama (galvaniz) sanayisinde karşılaşılan sorun, kaplama kalınlığını mümkün olduğunca azaltmak ile verimi ve kaliteyi artırmak olmuştur. Standartların veya müşterilerin talep ettiği kalınlığa ulaşmada birçok faktörün etkili olduğu bilinmektedir.

Günümüzde çinko endüstriyel uygulamalarda en sık kullanılan metallerden biridir. Dünya üzerinde yıllık 13 milyon tonluk saf Zn tüketiminin sektörlere göre tüketim miktarı Şekil 1.1’de verilmiştir (Karahana 2016a).

Üretilen çinkonun toplam %57’lik bir kısmının tüketildiği pazar galvanizleme prosesidir. Daldırma ile galvanizleme prosesi temel olarak ergiyik çinko içeren banyo içerisine çeliğin daldırılarak yüzeyinde bir kaplama tabakası oluşturulması esasına dayanır. Daldırma işlemi sırasında oluşan metalurjik reaksiyonlar sonucunda ergiyik çinko çelik üzerine kaplanır. Kaplamanın yapışma mukavemeti korozyon koruması açısından en önemli kalite karakteristiğidir. Bu ürünler sahip oldukları yüksek korozyon dirençleri nedeniyle inşaat, otomotiv, taşıma ve kimya sektörü dâhil olmak üzere geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Karahana 2016a).



(a)



(b)

Şekil 1.1: Çinkonun kullanım alanları (%) (a) Çinkonun tüketim alanları, (b) Birincil çinkonun tüketimleri (Karahan 2016a)

Çinko'nun ton fiyatının 3.000\$ ve üzerinde olması tüm galvaniz yapan işletmelerin ana amacını çinko sarfiyatını azaltmak üzerine toplamıştır. Kaplama kalınlığını azaltmak ve optimum seviyeye getirmek için, çelik malzemelerin

kimyasal bileşenlerinin kontrolü, ön işlem havuz işlemlerinin (yağ alma, asitleme, flakslama vb.) uygun parametrelere göre yapılması, askılama açısı, daldırma hızı, eriyik içine daldırma süresi ve çinko eriyik içindeki (Al, Pb, Bi, Ni, Sn gibi) bileşenlerinin kontrol edilmesi önem arz etmektedir (Saday ve Dağlılar 2018).

Üretim sektöründe kullanılan malzeme yelpazesi çok geniş olmasına rağmen, günümüzde çelik malzemeler hala ana malzeme olarak araç ve gereçlerde önemini korumaktadır. Çeliklerin dayanımı yüksek olduğundan dolayı kullanımı yaygındır. Ancak, üretilen parçalar atmosferik ortamdan etkilenip korozyona uğrayarak, parçaların kullanım ömrü azalır.

Metallerin korozyona uğraması oldukça tehlikelidir. Korozyon çelikler için ciddi bir sorun oluşturur. Oksitlenme sonucu, paslanma oluşarak malzemelerde hem görüntü olarak hem de ana metal kaybı ile istenmeyen sonuçlara neden olur. SDGK ile ana malzeme üzerine ince katman şeklinde çekilen çinko kaplama ile esas malzemenin korunumu sağlanır. Sıcak daldırma galvanizle kaplama işlemi sadece metallere uygulanan bir yüzey işlemi değildir. Boya ve diğer PVC kaplamalardan ziyade çinkonun kaplanan metalde alaşım oluşturarak metalurjik bağlar ile katmanlar halinde metalin iç kısımlarına nüfuz etmesidir. Sıcak daldırma galvaniz ile kaplamada malzeme tüm yönleriyle en ince ayrıntısına kadar çinko ile kaplanır. Böylece boya uygulanamayan yüzeylerde korozyondan korunmuş olur. Malzeme hasara uğradığında boya tabakası kalkar ise paslanma oluşur. Atmosfer nemi ile oluşan pas gitgide ilerleyip malzemenin içine etki eder. Ancak, sıcak daldırma galvanizlemede en küçük bir hasarda kimyasal aktivitesi daha düşük olan çinko kendisini feda etmesiyle ana metali korur. Doğal olarak aşınma durumunda koruma amaçlı ilave tabaka da yüzeyde oluşur. Sonuç olarak SDGK korozyon ortamlarında gösterdiği direncin yanı sıra, malzemelerin fiziksel özelliklerini de etkileyerek görünüm, aşınma ve çeşitli bozulmalara karşı dayanımı da olumlu yönde etkiler. Boya uygulamalarına göre daha az bakım gerektirmesi ve daha uzun kullanım süresi sağlaması da SDGK'nın seçilmesinin tercih nedenlerindedir.

SDGK yönteminin diğer yöntemlere nazaran avantajları aşağıda verilmiştir.

Uzun ömürlü koruma sağlaması: Sıcak daldırma galvanizle kaplama, makine parçalarını normal koşullarda 40 yılı geçen süre korozyona karşı korur. Böylece

makine parçalarının kullanım ömürleri uzar. Korozyondan koruma süresinin yıl bazında değişiklik göstermesinde makine parçalarının kullanıldığı atmosferik ortam (şehir içi, denizel ortam vb.) ve kaplama kalınlığı rol oynar.

Güvenilir kaplama olması: Sıcak daldırma galvanizleme ile, ASTM A 123 / A 123M ve TS 914 EN ISO 1461 standartlarında belirtilen şekilde güvenilir kaplama oluşturulur. Kaplama kalınlığı ölçülerek, standartlarda verilen değerlere göre uygunluk kontrolü yapılır.

Malzemeye estetik görünüm kazandırması: Görsel etkisi yüksektir. Kaplama sonrası ilk başlarda parlak olan yüzeyler zamanla mat, gri renge dönüşür.

Çevre dostu olması: Galvaniz kaplama sonrası ortaya çıkan atık asit, atık durulama suları tekrar kullanılmak üzere geri dönüşüme gönderilerek, kaplama yaparken kullanılır. Böylece çevre konusunda duyarlı davranılıp, zehirli kimyasallardan korunma sağlanır.

Dayanıklı kaplama olması: Çinko kaplama, kaplama esnasında oluşan metalurjik bağlarla tabakalar halinde özel bir içyapıya sahip olup çelik malzeme ile birleşen kaplama tabakaları, malzemenin depoda bekletilmesi, montajı ve çalışması sırasında dış etkenli zorlamalara karşı diğer yüzey işlemlerine göre daha iyi koruma sağlar. Kaplama sert olup, darbeye karşı dayanıklıdır. Galvaniz kaplı çeliğin, bu sayede deniz aşırı ülkeler bile dâhil her yere rahatlıkla gönderilerek sevkiyatı yapılır.

Bakımı istenmeyen kaplama oluşturması: Çinko kaplama ile gerçekleşen koruma boyamaya göre uzun periyotludur. Boyama işleminde yenileme-onarım işleri defalarca kez tekrar isterken, SDGK'da bu duruma rastlanılmaz. Zor ulaşılan tesislerde seri üretim hattının durdurulup ek bakım-onarım maliyetlerinin çıkarılması işletmeler için istenilmeyen durumdur. Galvaniz kaplama kolay kolay bakım ihtiyacı oluşturmayan kaplama olduğu için avantajlıdır.

Malzemede tüm yönleri ile homojen kaplama oluşturması: Çinko kaplama malzeme geometrisi açısından tüm yönleri ile bütünsel bir kaplama oluşturur. Malzemenin köşesi, kenarı, içi, dışı ile boşluk kalmadan tüm önemli noktalar aynı kaplama kalitesinde homojen kaplanır. Diğer yüzey işlem metotlarında zaman zaman sorunlar çıktığı görülmektedir.

Ekonomik boyutu: Boya uygulamaları ile kıyaslandığında SDGK maliyeti, boyama maliyetlerinin altındadır. Sıcak daldırma galvanizleme ile seri halde büyük makine parçaları bile birkaç seferde, daha az iş gücü kapasitesi harcanarak kısa sürede kaplanmış pek çok parça elde edilmektedir.

Kaplamanın kolay şekilde kontrolü: Kalite kontrol kolaylığı sağlar. Kaplama sonrası oluşan çinko tabakalar kontrol edilebilir. Görsel olarak ve taramalı elektron mikroskopunda mikroskobik içyapılar bile gözlemlenebilir. Bu şekilde hatalar bulunabilir.

Kaplanan malzemede, oluşan metalurjik bağların da etkisiyle, gelişen koruma mekanizmaları: Çinko kaplama, çelikte bariyer, katodik ve çinko patinası oluşumu ile koruma sağlar. Galvanizlenmiş çelikte üç etkili koruma mekanizması ortaya çıkar.

Zaman kullanımı açısından kolaylık sağlar: Çinko kaplama ile uzun süreli koruma kısa bir sürede (bir-iki dakika içinde) elde edilebilirken boyama işleminde ise birkaç haftaya ihtiyaç vardır. Üstelik boyamadan elde edilen koruma süresi, galvaniz kaplamaya göre oldukça kısadır. Çinko kaplamada, hava koşullarından etkilenmeyen, olabildiğince hızlı optimum kaplamalar elde edilmesinin yanı sıra kaplama sonrası kısa süre içinde malzemeleri kullanma ve montaj edilme imkânı da önemli bir avantajdır.

Sıcak daldırma galvanizleme işleminin avantajları kadar dezavantajları da bulunmaktadır. SDGK işleminin dezavantajları ise, uygulamanın bilinçli olarak kullanılmayıp yanlış veya eksik kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Kaplama öncesi yüzey temizlenmesi işleminde asit ile temizlemede kullanılan, arta kalan asit çözeltilisinin direkt çevre ile temas etmeden imha edilmesi gerekmektedir. Ancak, bu aktarım esnasında çevreye verebileceği zarar düşündürücüdür. Kullanılmış olan asit, flux ve suya karışmış olan kimyasal çözeltilerin doğaya geçmemesi için önlem alınmalıdır. Arta kalan ürünler ise, değerlendirilmeye çalışılmalı, değerlendirilemeyecek olanlar ise olabildiğince en az zararlı ortamdaki uzaklaştırılmalıdır.

Galvaniz kaplama sektöründe çalışan işçilerin sağlığı açısından zararları da olumsuz yönleri arasında sayılabilir. İşletmeler risk analiz raporlarını çıkararak

meslek hastalıklarını önlemek için koruyucu ekipman kullanımını doğru ve yerinde denetimle sağlamalıdır.

Galvaniz ile kaplanan parçaların tadilatından sonra parçaların bütün olarak tekrar galvanizlenmesi gerekmektedir. Montajı yapılmış parçaların galvaniz kaplanması için önce sökülmeleri, kaplama sonrası da birleştirilmeleri gerekmektedir. Yani, teker teker galvaniz kaplanacağından dolayı söküp-takılan parçalar için montajdan sonra galvanizleme akılcı bir yöntem değildir. SDGK işlemi her ne kadar bakım gerektirmese de parçaların montaj/demontaj aşamaları düşünülerek opsiyon alınmalıdır.

Bazı parçalar geometrik yapısından dolayı, SDGK'ya müsait değildir. Kaplama işlemi yapılmadan geometrik yapısı da gözden geçirilmelidir. Bunun için daha tasarım aşamasındayken kaplamaya uygun konstrüktif şekiller verilmeli ve parça çizimleri kaplamayı destekleyici olmalıdır.

1.1 Tezin Amacı

Günümüzde en yaygın kullanılan malzemeler çeliklerdir. Çeliğin kullanım ömrünü uzatmak için korozyona dayanım açısından en etkili yöntem çinko kaplamadır. Başarı sağlayan ve kaplama maliyetlerinin azaltıldığı galvaniz kaplama elde edilme yolları gitgide hem sanayide hem de akademik çalışmalarda önemini artırmıştır. Tezde yapılan deneysel çalışmalarla, galvaniz kaplamada dikkat edilmesi gereken kaplama parametreleri opsiyonel olarak değiştirilip kaplama sonrasındaki etkileri araştırılmıştır.

Çinko kaplamada ciddi anlamda hem maliyette hem de kalitede etkili olan parametrelerin; kaplanan çinko tabakası kalınlığına ve kaplama kalitesine etkisinin çok yönlü araştırılıp, optimum kaplama parametrelerinin tespit edilmesi bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Tezde kullanılacak olan parametreler; banyo sıcaklığı, numunenin banyoya giriş ve çıkış hızı ile açısı, yüzey temizleme işlemlerinin kalitesi, numune üzerindeki yüzey pürüzlülüğünün mekaniksel işlemlerle değiştirilmesi, galvaniz banyosuna daldırılan malzemenin ıslak / kuru olması, dalış (bekletme) süreleri olarak belirlenmiştir. Kaplama parametrelerinin

değiştirilerek farklı uygulanması sonucu elde edilen bulgular yorumlanarak kaplama prosesine getirdiği katkılar ele alınmış ve kaplama sürecindeki işlem parametrelerinin kalınlığa, görünüme etkisi araştırılıp sonuçları değerlendirilmiştir.

1.2 Literatür Özeti

Sepper ve diğ. (2011), bu çalışmada SDGK'nın görünüşünün nasıl değerlendirileceği konusuna değinmişlerdir. Sıcak daldırma galvanizleme işleminden kaynaklanan kusurları değil, çeliğin kimyasal bileşimi ve yüzey durumundan kaynaklan sonuçları değerlendirmişlerdir. Kaplamaların görünümü işleme özelliklerine, çelik içeriğine ve yüzey koşullarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın amacının, SDGK'ların görünümünün nasıl değerlendirileceğini belirleyen bir teknik geliştirmek olduğunu ifade etmişlerdir.

SDGK'ların görünümünü etkileyen kimyasal bileşim, yüzey pürüzlülüğü parametrelerini gözlem altına alıp, araştırmasına dayanarak görünüm sınıflandırmaları belirlenmiştir. Yüzey durumunun etkisini araştırmak için yapılan bir çalışmada, aynı kimyasal bileşikteki malzemelerden birisinin yüzeyi 80 numaralı ve diğerinin 240 numaralı zımpara ile düzeltilmiştir. Parçalar galvanizle kaplanmasından sonra, 80 numara zımpara ile yüzeyi düzeltilenin görünümü girinti ve çıkıntılı iken 240 numaralı zımpara ile düzeltilen parçanın ise düzgün, parlak ve çiçekli görünüm aldığını gözlemlemişlerdir.

Çalışmada, SDGK'ları etkileyen faktörler incelenmiştir. Görsel görünüm (pul boyutu), kaplama pürüzlülüğü ve Fe / Zn alaşım tabaka büyümesi ve oluşumuna dayanan üç görünüm sınıflandırması oluşturmuştur. Çalışmasının sonucunda, çelik kimyasal bileşiminin kaplama görünümü üzerinde büyük etkisi olduğunu ve yüzey pürüzlülüğü ile yüzey kusurları da kaplama görünümü üzerinde bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Nasr ve diğ. (2008), sıcak daldırma çinko kaplamalarda çekme hızının çinko tabakasının kalınlığı üzerine etkisini incelemişlerdir. Reaktif çeliğin galvanizlenmesinde çinko tabakasının kalınlığı, galvaniz kaplama işini yapanları ilgilendirmektedir. Bu çalışmada, geri çekilme hızı bu katmanı azaltabilecek bir

faktör olarak araştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, galvanizlenen numunenin yaklaşık 4 m/min'de çekilmesi durumunda çinko tabakasının kalınlığını önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermiştir. Bu bulgunun galvanizleme kalitesi ve maliyeti üzerinde önemli bir etkisinin olabileceği düşünülmüştür.

Elkoca (2001), ele aldığı çalışmada sürekli olarak gerçekleşen sıcak daldırma çinko kaplama ve kaplamayı takip eden bir tavlama ile kaplanan metalin yapısında ortaya çıkan gama, delta ve zeta fazları kaplanan sacın presle şekillendirme özelliğini de etkilediğini ortaya koymuştur. Tavlı çinko kaplamalarda Fe-Zn fazlarının yapısı ve kaplama özelliklerine etkisini incelemiştir. Sıcak daldırma çinko kaplaması yapılmış çelik sacın devamında hemen tavlama işlemi (kısa süre için 500 °C'ye ısıtılması ile) yapılarak tavlı çinko kaplama elde edildiğini ve bu işlem adımlarını aktarmıştır. Tavlı çinko içyapısını gözlemlemiştir. Ayrıca; tavlı çinko kaplanmış sac ile sadece sıcak daldırma galvanizlenmiş sac arasındaki farklara da değinmiştir. Tavlı çinko kaplamaların diğerlerine göre daha iyi punta kaynağı yapılabildiğini, boya tutma özelliğini ve boyalı halde iken korozyon dayanımının iyi performans verdiğini, presle şekillendirme esnasında daha az yapışma olasılığı sunduğunu belirlemiştir.

Gambrell (1987), en geniş haliyle kaplamanın tüm safhalarını galvanizleme öncesi hazırlık ile yüzeyi arındırma işlemleri, galvanizleme esnasında daldırılan banyoları ve galvanizleme sonrası şeklinde ele alarak incelemiştir. Ayrıca demir-çinko kimyasal tepkimesinde ortaya çıkan evreleri de ele almıştır. Kaplama kalınlığında etkisi olan değişkenler üzerinde gözlemler yapmıştır. Kaplama banyosuna daldırılacak çeliğin kimyasal içeriğindeki silisyum, mangan, fosfor ile karbon elementlerinin oranının kalınlık konusunda etkili olacağını saptamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda kaplamanın gerçekleştiği ortam (banyo) sıcaklığının, kaplanacak metalin çinko ile temas edecek bölgesinde gerilmelerin, tane durumunun ve içyapının, yüzey pürüzlülüğünün, kaplama banyosundaki çeşitli alaşım elementlerinin ve kaplama sonrasındaki metalin soğuma hızının, kaplama kalınlığı üzerinde etkileri olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca; kaplanacak metalin daldırıldığı banyoya eklenecek kurşun, kadmiyum gibi alaşım elementlerinin hatta çinko külçesinin kimyasal analizindeki saf çinko, demir, kurşun, kadmiyum derişim oranlarının kaplama kalitesine ve kaplanan metalin yüzey özellikleri ile görünümünü etkileyeceğini belirtmiştir.

Chen ve diğ. (1992), ele aldıkları makalede sıcak daldırma galvanizlemede diğer gelişmeler ve Technigalva konusu üzerinde inceleme yapmışlardır. Technigalva işlemi, son on yılda geliştirilen, özellikle ağırlıkça yaklaşık %0,1 silisyum içeren "reaktif" çeliklerin galvanizlenmesi sırasında kaplama yapısının daha iyi kontrolü için nikel ilavelerini kullanan bir seri sıcak daldırma galvanizleme işlemidir. Prosesin optimizasyonunu, nikelin galvanizleme reaksiyonundaki rolünün ve cüruf oluşumunun anlaşılmasına dayanacağını belirtmişlerdir. Daha çevre dostu galvanizleme işlemlerine olan talebin artması, kromat içermeyen pasivasyon üzerine seri sıcak daldırma galvanizleme, Zn-Al alaşımlarını kullanmak için alternatif akışlar ve proses optimizasyonu için geliştirme çalışmalarını incelemişlerdir. Normal koşullar altında galvanizleme işleminin gerçekleştiği sıcaklık 450 °C iken silisyum içeren çeliklerin galvanizleme banyo sıcaklığını içerdiği oranlara bağlı olarak etkilediğini belirtmişlerdir. Silisyumun çeliğe etkisinin galvaniz kaplamaların yapıları ve özellikleri üzerine etki mekanizmaları yoğun olarak incelenmiştir.

Reaktif çelikler ve galvanizlenmesi üzerine çözümler sunulmuştur. Galvanizlemede nikelin rolü incelenmiştir. Bir bariyer tabakası oluşturmak için bir Zn-Fe-Ni fazı, sıvı metalde termodinamik olarak sabit olması gerektiğini vurgulamıştır. 450 °C'de Zn-Fe-Ni üçlü faz diyagramında sıvı çinkodaki nikel seviyesinin ağırlıkça yaklaşık %0,07'nin üzerinde olduğu bildirilmiştir. 450 °C'de, cüruf içinde mevcut olan intermetalik fazın bileşimi ağırlıkça yaklaşık %5 Fe olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlıkça %4 Ni ve ağırlıkça %91 Zn olarak saptanmıştır. Bu çalışmalara ek olarak, daha çevre dostu galvanizleme işlemlerinin geliştirilmesine daha fazla önem verilmesi gerektiğini böylece de seri sıcak daldırma galvanizlemenin belirli yönlerinde gelişmelere yol açtığını ve pasivasyon için kromat alternatifleri, alüminyum içeren galvaniz banyoları için florür içermeyen flux banyoları ile proses modellemesi ve optimizasyonu içermesi gerektiği üzerinde durulmuştur.

Akgün (2010), yaptığı çalışmasında farklı kimyasal bileşimli çelikleri farklı süre ve sıcaklıklarda SDGK yaparak kaplama kalınlıklarını ölçmüştür. Numunelerin kaplamadaki davranışlarını ve sertlik ölçümlerini incelemiştir. Çalışmasında 50 mm çapında 10 mm keserek S235, 1020, 1040 ve 1045 olmak üzere dört farklı çelik kullanmıştır. Galvaniz banyosu sıcaklıklarını 440 °C, 445 °C, 450 °C; kaplama

banyosunda bekleme sürelerini ise 2, 4, 6, 8 dakika şeklinde belirlemiştir. Kaplanan numuneler, metalografik olarak taramalı elektron mikroskobunda incelemiştir. Kaplama sonrasında numuneler üzerinde mikro sertlik ölçümlerini yapmış ve değerlendirmiştir. Kaplama tabakasının sertliğinin malzemenin üst yüzeyinden alta doğru arttığını gözlemiştir. Çeliğin kimyasal bileşimindeki kükürt ve fosfora dikkat çekmiştir.

Syahbuddin ve diğ. (1999), ele aldıkları çalışmada demir-çinko bileşimine alüminyum eklenerek metaller arası faz değişimlerini incelemiştir. Galvanizleme sıcaklığını aynı (400 °C) tutarak, galvaniz banyosunda bekletme sürelerini değiştirerek içyapıyı gözlemiştir.

Kozdras ve Niessen (1989), silisyum içeren çeliklerin galvanizlenmesinde aşırı tepkimeye girebilme özelliğinin uzun yıllardır çalışılmakta olduğunu, ancak olgunun temel bir anlayışının hala eksik olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma, Fe-Zn sistemindeki demir açısından en zengin faz olan Γ 'nın reaksiyon kinetiği üzerindeki etkisini göstermek için yapılmıştır. Reaktif kaplama oluşumunun başlamasının Γ kararsızlaşma ile çakıştığı gösterilmiştir. Kararsızlık hem katı hal hem de katı-sıvı etkileşimlerinde gözlenmiştir. Metalografik sonuçlar ve bu dengesizliklerin etkileri sunulmuştur. Sonuç olarak, alt tabakanın oksidasyona meyilli olması gözlenmiştir. Çelik yüzeyinde silisyum içeriği az olursa, çeliğin kimyasal reaksiyonda pasif kaldığı araştırmalar neticesinde elde edilmiştir. Silisyum içeren çeliklerin daldırma galvanizleme esnasındaki silisyumun kimyasal tepkimeye girme istekliliği-reaktiflik fazlalık- ve sonuç olarak bu durumun demir-çinko mekanizmasını nasıl etkileyeceği üzerine gidilmiştir. Silisyum alaşım elementinin yüzey özelliklerine sunduğu katkılar ele alınmıştır. Metalografik sonuçlarla etkileri sunulmuştur. Silisyumun tepkimeye katılım oranı yüzey kısımda az olursa çok fazla etkisinin olmadığını gözlemleyip değerleri saptamışlardır.

Christoph ve Siegfried (1976), tarafından ele alınan "The Distribution of the Elements Fe, Zn and Al in the Zinc Coatings on Hot-galvanised Sheet" isimli makalesinde sıcak daldırma galvaniz ile çinko kaplamada ortaya çıkan içerikte demir, alüminyum ve çinkonun ölçüm değerlerini ve görülme sıklığını belirtmişlerdir. Ayrıca, bu elementlerin kaplama sonucundaki kimyasal tepkimelerde bulunması muhtemel olan durumlarını ele alıp incelemiştir. Kaplama işleminden

sonra ortaya çıkan yapı ele alınarak kalınlığın sıcaklık, daldırmadan sonra soğumaya bırakılması vb. koşullar ile görülen nicel değişiklikler üzerinde çalışılmıştır. Ergiyik çinko içerisine eklenen alüminyum ile ortaya çıkan alaşımların yapıları ve nasıl ortaya çıktığı değerlendirilmiştir.

Vourlias ve diğ. (2004), tarafından ele alınan makalede alaşım elementlerinin galvanizleme işlemi sırasında çinko kaplamaların arayüz reaksiyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu reaksiyonların kristalleşmeyi ve kaplamaların dış katmanının yapısını ve özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Galvanizleme banyosundaki alaşım ilavelerinin türüne ve konsantrasyonuna bağlı olarak Fe-Zn fazlarının kristalizasyon prosesinde farklılıklar ortaya çıktığı ele alınmıştır. Alaşım elementlerinin hem konsantrasyonunun hem de dağılımının fazların büyümesinde önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Fazların oluşumu ve kaplamalardaki alaşım elementlerinin dağılımı, enerji dağılımlı X-Ray spektroskopisi (EDS) analizi ile ilişkili X-Ray difraksiyonu (XRD) ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanarak belirlenmiştir. Son olarak, galvaniz kaplamaların davranışı, hızlandırılmış tuzlu püskürtme korozyon koşulları altında incelenmiştir. Galvaniz ocağının içerisine katılan Al, Sn, Pb, Cu, Cd, Ni alaşım elementlerinin kaplama esnasında çinkonun davranışını nasıl etkilediğini ve kaplanan metalin iç yapısında, yüzey görünümünde değişiklik saptamışlardır.

Frazier (1964), tarafından hazırlanan makalede galvanizlemede karşımıza çıkan sorunlar ele alınmış ve sorunlara yol açan etmenler incelenmiştir. Kullanılan metaldeki silisyum miktarı fazla olan ile düşük olan karşılaştırılmıştır. Silisyum miktarı düşük olan galvanizlenmiş üründen daha iyi sonuçlar alınmış ve kullanıcılar tarafından seçilmiştir. Elde edilen kaplamada yüzey özelliklerinin dışında silisyum oranı az olursa banyoya daldırma sürelerinde kısalma ve banyo sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir.

GalvInfoNote 2.4 (2019), yayınında sürekli SDGK'da banyoya ilave edilen alüminyum elementinin rolü üzerine çalışmalar yapılmıştır. Alüminyum kullanılmasının galvanizli sacın piyasada talebini artırmakta olduğu vurgulanmıştır. Alüminyumun etkisinin ve kullanımının, sürekli galvanizli sacın başarılı kullanımı için neden bu kadar önemli olduğu açıklanmıştır. Bilinenin aksine, korozyon performansını artırmak için alüminyum ilavesi yapılmamıştır. Kullanım şeklinin

kullanıcının ürünü oluşturma ve şekillendirme işlemleri sırasında kaplamanın iyi bir şekilde yapışmasını sağlama yeteneğini geliştirmek için olduğu ifade edilmiştir. Galvanizleme banyosuna alüminyum eklendiğinde alaşım tabakasının yapısı kurşun kalem gibi ince çizgi olduğu gözlemlenmiştir. Alaşım katmanı bu kadar ince olduğunda net sonuç, kaplanmış tabakanın kaplama yapışması kaybının endişelenmeyecek derecede olması, bükülebilen veya şekillendirilebilecek şekilde olması vurgulanmıştır. Alüminyum kaplama banyosuna eklendiğinde alüminyum, demir için çinkodan daha büyük bir kimyasal bağlanmanın gücüne sahip olduğunu böylece kaplama banyosuna çelik girdiğinde, oluşan stabil metaller arası bileşik bir çinko-demir bileşiği değil, bir alüminyum-demir bileşiği, yani Fe_2Al_5 olduğu belirtilmiştir. Bu alaşım tabakasının son derece ince olduğu ve çinko-demir reaksiyonunu geciktirdiği ifade edilmiştir. Oranları yaklaşık %45 Al, %35 Fe ve %20-35 Zn'den ($Fe_2Al_{5-x}Zn_x$) oluşan çok ince, üçlü bir intermetalik katman olduğu belirtilmiştir. Sıvı çinko ve katı demir, alüminyum içermeyen banyolarda ikili, $FeZn_7$ alaşımı oluşturmaya başladığında ortaya çıkan yüksek difüzyon oranı yerine, difüzyon hızı; çinko, alüminyum-demir bileşiği tarafından oluşturulan bariyer boyunca difüzyon özelliklerine bağlı olduğu gözlenmiştir. Çinko ve demir arasındaki reaksiyon oranı çarpıcı bir şekilde azaltılmıştır. Elde edilen net sonuç, alaşım tabakasının nihai kalınlığının, kalınlığı büyüyen bir çinko-demir alaşımı bölgesindeki difüzyon hızına bağlı olduğu zaman çok daha düşük olması şeklinde belirtilmiştir. Alüminyumun aslında çelik çinkonun ara yüzünde yoğunlaştığı ve şerit ile banyodan çıkarıldığı gözlemlenmiştir. Kaplamadaki alüminyumun kütlesi bu nedenle arayüze bağlandığı vurgulanmıştır. Bu arayüzün metalik alaşım miktarı kaplama ağırlığından bağımsız olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle daha hafif bir kaplama ağırlığı daha yüksek toplam alüminyum yüzdesi içerdiği belirtilmiştir. Kaplamadaki alüminyum miktarını kontrol eden daldırma süresi, alüminyum ilave oranı, çinko banyosu sıcaklığı ve çelik tipi gibi başka faktörlerin de olduğu ifade edilmiştir.

Foet ve ark. (1993), kaplamanın biçim ve dış yapılarını incelemişlerdir. Sıklıkla 450 °C'de gerçekleşen galvanizleme sırasında reaksiyondan kaynaklanan kaplamanın neredeyse Fe-Zn ikili diyagramına uyduğu gözlenmiştir. Ancak ideal olan bu durum çeliğe silisyum eklendiğinde ve iyi bilinen "sandelin" davranışı gözlemlendiğinde tamamen değişmekte olduğunu belirtmişlerdir. Çeliğin yaygın olarak silisyumla öldürülmesiyle, sandelin durumunun endüstriyel sonuçları dikkate değer

olduğunu vurgulamışlardır. Tabaka çok kalın veya çok ince olabilir ve zayıf görünüm, korozyon direncinin azalması oluşabilir. Sandelin durumunu mikroskop altında incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar neticesinde elde etmiş oldukları sonuçlar şöyledir. A-) Çeliğin reaksiyona girme hızı yapısındaki silisyumun yüzde oranına bağlıdır bu da kaplama kalınlığını etkilemiştir. B-) Karışımın dağılımı grafik olarak ifade edilirse silisyum içeriğine bağlı olarak parabol yapıdan lineer yapıya geçmiştir. C-) Kaplamanın yapısı, silisyum içeriği arttıkça δ_1 faz kalınlığı azalır, oluşan kaplama kalınlığının artmasından sorumlu iki fazlı δ_1 +FeSi katmanının ortaya çıkması ile ifade edilmiştir. Sandelin etkisini açıklamak adına, Fe-Zn-Si üçlü diyagramı hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duymuşlar ve difüzyon yollarının belirlenmesinde alaşım elementlerinin ek serbestlik dereceleri bu nedenle 450 °C ile 900 °C arasında yeniden hesaplamışlardır. Galvaniz kaplamadaki FeSi çokyüzlü parçacıklarının taramalı elektron mikroskobu ile tanımlanması ile Si içeriğinin bir mikroyapısı analizle açıklanmıştır.

Habraken (1979), silisyumun içerme oranlarının farklı olduğu metallere daldırma işlemini yapmıştır. Kalınlığa etkisini araştırmıştır. Sabit banyo sıcaklığında ve eşit sürede havuzda tutulan numunelerden silisyum oranı %0,05-0,1 olanlarda oluşan kalınlığın daha fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Vaamonde ve Gonzalez (1991), kaplanacak çeliğin içyapısındaki silisyum oranlarına göre banyodan çıkan kalınlıkları nitelendirmişlerdir. Silisyum oranı %0,03 olanların kaplaması iyi, %0,03 ile %0,11 arasındakilerin kaplama kalınlığının fazla olduğu (bu aralık sandelin etkisi -alanı-) gözlemlenmiştir. Banyo sıcaklık değerlerine göre grafikler belirlenmiştir. Banyoda tutma süresi uzadıkça kaplama miktarının artacağı ve sandelin (kaplamadan çıkan ürünün kalın çıkması) durumunun oluşacağı gözlemlenmiştir. Bekletme süresinin kısa olması gerektiğini belirtmişlerdir. Kaplama banyosuna alüminyum ilavesinin ise, banyonun oksit miktarını azalttığı ve yüzey matlığını giderdiğini gözlemlemiştir.

Elkoca (1996), kaplanacak çeliğin silisyum ihtiva etmesi ve kaplamadan önceki yüzeyi hazırlama adımlarının nasıl bir etkisinin olduğunu incelemiştir. Deney numunelerine aside daldırma, yüzeyin parlaklığını artırma ve zımpara uygulanarak kaplama sonucunda çıkan tabakanın biçimi ile demir çinko arasındaki reaksiyondan doğan içyapı enerjileri ve faz durumlarını da etkilediği gözlemlenmiştir. Spektral

analizde metalin içerdiği silisyum oranı ve kaplanacak yüzeyi temizleme işlemleri, pürüzlülük durumlarının kaplama kalınlığını belirlediği ifade edilmiştir.

Fratesi ve ark. (2001), galvanizleme işlemlerinde kullanılan kurşunun iş sağlığı ve güvenliği konusunda çevresel olarak kirliliğe yol açtığından bunun yerine kullanılan bizmut elementinin uygulamalarda tercih edilir hale gelmesini baz alarak bu makalede kurşun ve kurşun-bizmut etkisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Kaplama kalınlığı, yüzey görünümü (matlık/parlaklık), pullanmaların olup olmaması ve yüzey sertliği, yumuşaklığı şeklinde kriterlere etkisi araştırılmıştır. Nitekim yapılan deneylerle bizmut ve kurşun içeren havuzlara daldırılan numuneler için, bizmut ilavesi olan havuzda yüzey görüntüsünün mat olmadığı, esnek ve kalınlık ölçümlerinin takip edilebildiği kaplamalar elde edilmiştir.

Yaluk (2009), bu çalışmasında karbon, mangan, fosfor, kükürt, silisyum, alüminyum gibi elementleri içyapısında barındıran çeliklerin galvaniz kaplamaya etkisini açıklamıştır. Çeliklerin kaplama öncesi yüzey hazırlık durumları da çalışmada belirtilmiştir. Kaplama banyolarına alaşım elementlerinin ilavesi, kaplama havuzunun sıcaklığı, soğuma hızının etkileri de kaplamayı belirleyen faktörler olarak ifade edilmiş ve çok yönlü çalışmalar yapılmıştır. Çeliğe uygulanan mekaniksel işlemler ki bunlar yüzeyi asit ile temizleme, zımparalayarak yüzey pürüzlülüğünü giderme, kumlama, parlatma adımları uygulanmış ve bu aşamalar anlatılmıştır. Kaplama öncesi-sonrası şeklinde sonuçları karşılaştırmalı olarak vermiştir. Sıvı çinko ocağına ilave edilen Pb, Al, Fe, Sn, Ni, Bi alaşım elementlerinin kaplama üzerindeki katkıları gözlemlenmiştir. Kaplamadan önce yüzey temizleme işlemlerinin kaplamanın kalitesini etkilediği ifade edilmiştir. Silisyum yüzde miktarı arttıkça kaplama kalınlığının arttığı ve tabakaların daha çok ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Sacın kimyasal içeriğinin kaplamayı etkilediği belirtilmiştir. Özellikle Si ve P elementlerinin etkisi incelenmiştir. Sonuçta ciddi anlamda galvaniz kaplamanın kalınlığını ve görüntüsünü etkilemekte olduğu yapılan deneylerde gözlemlenmiştir. Sandelin etkisi oluşan kısımda, düşük Si içerikli çeliklerde parlatma, kaplama kalınlığına etkili olmuştur. Daha yüksek Si içerikli çeliklerde ise parlatma etkisini kalınlık üzerinde kaybetmiştir.

Yapılan deneylerle sıvı çinko içerisine eklenen alaşım elementlerinin tekli, ikili ya da çoklu kullanımları özel kimyasal tepkimelerin etkisiyle çok yararlı

olabilecek çinko tabakaları oluşmasını sağladıkları, kaplama kalınlığını ve kaplama yapısını etkilediği gözlemlenmiştir.

Marder (2000), çinko kaplamada çeliğin geçirdiği değişimleri ele almıştır. Çinko havuzuna ilave edilen alüminyum ile elde edilen galvaniz, galfan, galvalume gibi üç tip kaplamanın özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca bu kaplamaların tabakalar arası geçirdiği reaksiyonlar ve içyapısının korozyon, şekillenebilme, kaynaklanabilme ve boyanabilme üzerine etkisi incelenmiştir. Kaplama havuzuna miktar olarak az alüminyum ilavesi ile kaplama matlığının ve çinko havuzunun oksidasyon oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda oluşan kaplanmış tabakanın (demir-çinko) sertliği azalarak yumuşak (esnek) hale geldiği belirtilmiştir.

Karahan (2015), bu makalesinde sıcak daldırma galvanizleme işleminde saf çinko yerine ZnNi alaşımlarının kullanımının kaplama kalitesi üzerine etkilerini ve sonuçlarını araştırmıştır. Galvanizleme işleminde temel prensip, daldırma işlemi sırasında oluşan metalurjik reaksiyonlar sonucunda ergiyik çinkonun çelik üzerine kaplanmasıdır. Kaplamadaki yapışma mukavemeti korozyon koruması açısından en önemli kalite göstergesi olduğunu ifade ederken, kaplamanın çelik yüzeyine yapışma mukavemetinin ise filmde oluşan intermetaliklerin özelliklerine bağlı olduğunu belirtmiştir. ZnNi alaşımlarının galvaniz işlemi sırasında kullanımının temel nedeni olarak farklı miktarda silisyum içeren çeliklerin tek seferde çinko havuzunda kaplanmasının gerçekleşmesi olarak değerlendirmiştir. ZnNi galvaniz kaplama işleminden sonra elde edilen parçanın boya tutma kabiliyetinin ve korozyon direncinin çinko banyosu kullanılarak elde edilen kaplamalı parça ile aynı olduğunu gözlemlenmiştir. Çalışmada ZnNi kaplamalı parçaların parlaklığı, yapışma mukavemeti ve kaplama homojenliği çinko kaplı parçalara göre oldukça yüksek olduğunu belirtmiştir. ZnNi banyolarında verimliliği ve maliyeti etkileyen en temel parametre ise banyodaki nikel miktarı ve havuz sıcaklığı olduğuna yer verilmiştir.

Güven (1999), ele aldığı yüksek lisans tezinde çinko ile kaplamanın endüstriyel açıdan faydalarına değinmiştir. Çelik yapıların daldırma galvanizlenerek çinko ile kaplanmasının korozyondan korunma açısından en sık kullanılan ekonomik yöntem olduğunu belirtmiş ve çinko kaplamanın nasıl yapıldığını anlatmıştır. Mevcut işletme şartlarında sıcak daldırma yöntemiyle galvanizleme aşamalarını; daldırılacak metal yüzeyinin temizlenmesi, oksitlenmeyi engellemek adına flakslama, 430-470

⁰C'de ergimiş çinko havuzuna daldırıp çıkararak soğuk havada kurutmak şeklinde aktarmıştır. Tercih edilmesinin nedenlerinden birinin de çinkonun çelik üzerinde kuvvetli olarak sabitlendiği için sürekli olarak daldırma yöntemiyle seri ve geniş ölçüde imalata izin verdiğinden dolayı maliyetleri de düşürdüğünü gözlemlemiştir. Kaplanan tabaka kalınlığının çinko kalitesine, çeliğin kimyasal analizine, banyo kimyasal bileşimine (özellikle alüminyum miktarı), banyo sıcaklığına, daldırma süresine ve çekme hızına bağlı olduğunu belirtmiştir. Galvanizlenecek yüzeyin temiz ve kaplamaya hazır olması gerektiğini ifade etmiştir. Galvanizleme işlemlerinde kullanılan çinkonun %1 kurşun içermesinin ideal olduğunu %5'den az Pb olursa galvanizleme işleminin zor olacağını saf çinkoda demir oranının %0,05'den fazla demir olmaması gerektiğini ifade etmiştir. İstenen minimum değerleri; kurşun %0,5–1, demir %0,008–%0,05, kadmiyum %0,005–0,50 olarak ifade etmiştir. Demir oranı bu oranlardan daha düşük olursa, çinko banyosu gerekli olan demiri tankı eriterek veya kaplanacak çelik saçtan karşılayacağını ayrıca banyoya ilave kadmiyum da eklenmemesi gerektiğini vurgulamış ve çinko kaplamanın kıvrılabilme özelliğini kaybetmesine sebep olacağını belirtmiştir. Çinko havuzunda en çok tercih edilen alaşım elementleri olarak alüminyum ve kurşun olduğunu ifade etmiştir. Banyoya Al %0,005 oranında ilavesi ile havuzdaki çinko kayıplarını asgari düzeye indirerek banyonun kirlenmesini önlediğini gözlemlemiştir. Çinkonun oksidasyon hızını azaltarak çinko kayıplarını engellediğini ifade etmiştir. Alüminyum intermetalik tabaka kalınlığının kontrolünü sağlarken alüminyum demir ile Fe(Al)₁₅– Fe(Al)₃ arafazları oluşturarak demir kaybını azalttığını belirtmiştir. Kurşun ise malzeme üzerindeki yüzey gerilimini düşürmede ve kaplama yüzeyinde fazla bulunan çinko miktarını ortamdaki uzaklaştırdığını vurgulamıştır. İdeal banyo sıcaklığını da 445 – 465 ⁰C arasında ifade etmiştir.

Havuzda daldırma süresinin artışı ile kaplama ağırlığının artacağını, ideal daldırma süresi 1-5 dakika arasında olacağını, banyoya hızlı olarak daldırılıp, yavaşça çekilmesi gerektiğini ifade etmiştir. İdeal çekme hızını 1,5 m/min olarak belirtmiştir. Çinko havuzuna uzun parçaları daldırırken ilk kısım kalın, son daldırılan kısım ise ince olacağını belirtmiştir. Kaplamada homojen dağılımın olması için parça hızlı ve parçanın geniş olan tarafına doğru daldırılması gerektiğini ifade etmiştir. Alaşım elementlerinin etkisini ve silisyum içeren çeliklerin galvanizlenmesini incelemiştir. Galvaniz tavlı kaplamalarda Fe-Zn intermetalik bileşiklerinin

oluşumunda çelik kimyasının etkisini ele almıştır. Çalışmalarında galvaniz kaplanmış tabakadaki fazları elektron mikroskobu ile incelemiştir. Çinko kaplamada ortaya çıkan gama 1, gama 2, delta, zeta, eta fazlarının ağırlıkça oranlarını belirtmiştir. Çelik yüzeyindeki fosforun ise, yüzey segregasyonu Γ (gama) fazının gelişimini geciktirdiği vurgulanmıştır. Çeliğin kimyasal bileşimindeki silisyum oranının artması ile kaplama görüntüsünün kötüleştiği ve tabakanın kırılğan hale geldiğini ifade etmiştir.

Tuna (2013), yaptığı yüksek lisans tezi çalışmasında çinko ve nikel kaplamalı malzemelerin korozyon davranışlarını incelemiştir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemini kullanmıştır. Korozyonu sayısallaştırıp, deney sonuçlarını objektif şekilde değerlendirerek farklı çalışma ortamlarında ve farklı geometriye sahip parçaların kaplama performansını deneysel olarak test etmiştir. Çalışmalarında 25 cm² boyutlarında DC03 kalite düşük karbonlu çelik plakalar üzerine çeşitli kaplama sürelerinde elektrolitik çinko ve nikel kaplamaları gerçekleştirmiş ve bunların tuzlu su sisi deneyi ile polarizasyon dirençleri arasındaki ilişki incelenmiştir. 1. seri kaplama kalınlıkları fisherscope XDL kalınlık ölçüm cihazını kullanarak tahribatsız ölçüm yapılmıştır. 2. seri kaplamalarda ise mevcut kaplama kalınlıkları, numuneden kesit alınıp optik mikroskopta incelenerek tespit edilmiştir. Tuzlu su sisi deneylerinde ASTM B117 standardına uygun olarak weiss SC450 kabin kullanılmıştır. 1. seri plakalarda yapılan tuzlu su sisi deneylerinde numuneler 30 dakika süre aralığında korozyon açısından kontrol edilmiştir. 2. seri plakalarda korozyonu sayısallaştırmak için şablonlar oluşturulmuştur. Çinko kaplamalı plakalarda beyaz pas görülen kare adedi ile nikel kaplamalarda birim alandaki oyuk miktarı olarak değerlendirmeye alınmıştır. Çinko kaplamalı vidalar için kaplamanın en ince bölgesini incelemek için bakır sülfat deneyi yapılmış ve korozyon dayanımı konusunda tahminlerde bulunulmuştur. Her iki kaplamada banyo çözeltisindeki metal miktarının kaplamanın kalınlığına etkisi ile banyo çözeltisine çinko veya nikel ilavesi yapıldıktan öncesi ve sonrası alınan banyo çözeltileriyle yapılmış olan kaplamalar incelenmiştir. Çinko ve nikel kaplanmış plakaların kaplama kalınlıkları tahribatsız ve tahribatlı olarak ölçülerek değerlendirilmiştir. Tuzlu su sisi deneyi ASTM B117 standardına uygun şekilde çinko ve nikel kaplamalı plakalara uygulanarak, şablonlar oluşturulmuştur. Korozyon değerini sayısallaştırıp, gözlemlemiştir. Çinko kaplamalı vidalar için bakır sülfat deneyi yapılmıştır. Nikel

kaplamalı vidalar için modifiye sıcak su deneyini kullanmış ve kaplama kusurlarını belirlemiştir.

Karahan (2016a), “Galvaniz Prosesinde Görülen Yüzey Hataları ve Çözüm Önerileri-1” adlı makalesinde daldırma işleminde gerçekleşen metalurjik reaksiyonların etkisi ile ergiyik çinko çelik üzerine kaplanması ile galvanizlemenin meydana geldiğini aktarmıştır. Sunulan çalışmada, sektördeki sorunlara çözüm getirmek ve galvanizleme işleminin performansını artırmak için yapıldığını belirtmiştir. Kaplama sonrası metal parçalarda görülen yüzey hatalarının sebep-sonuç araştırmaları yapılmıştır. Üretilen çinkonun %57’sinin harcandığı sektör galvanizle kaplama piyasasına ait olduğunu vurgulamıştır. Kaplamanın yapışma mukavemeti, korozyon koruması bakımından galvanizlemenin en önemli özelliği olduğu belirtilmiştir.

Karahan’a göre, kaplamanın çelik yüzeyine yapışma mukavemeti filmde meydana gelen intermetaliklerin özellikleri ile ilgilidir. Fe-Zn arasındaki tepkime hızının 420-480 °C’de arasında parabol, 480-530 °C arasında doğrusal şekilde gerçekleştiğini belirtmiştir. Genelde galvanizlemede havuz sıcaklığı 450 °C civarında tutulduğunu ifade etmiştir. Çalışmasında galvanizleme işleminde sıklıkla karşılaşılan hatalara değinerek incelemiştir. Pratikte en çok karşılaşılan yüzey hatası olan kaplanmayan bölgeler sorununu havuzdan çıkan çelik sac üzerinde kaplamaya maruz kalmamış alanların olması şeklinde açıklamıştır. Sebebini ise, kaplamadan önceki yüzey temizleme işlemlerinin eksik ve etkili uygulanmadığı, kaynak cürufklarının iyi temizlenmediği, döküm sonrası parçanın içinde kum gömülü olması, havuzdaki alüminyum miktarının fazlalığı, havuza parça indirip kaldırmada kullanılan zincir, çengel vb. askı parçalarının yüzeye değip kaplama almaması şeklinde belirtmiştir. Çözüm olarak da kaplamadan önce metal yüzeyinin dikkatli şekilde tüm yönleriyle temizleme işlemlerinden geçirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bir başka karşılaşılan sorunun ise delik ve vida aralarının tıkalı kalması hatasında çinkonun yeterli miktarda akışkan olmaması ya da yüzey geriliminin yüksek olması sebebiyle oluştuğunu ifade etmiştir. Diğer sebep olarak delik çaplarının 8 mm’den küçük olması halinde sıvı çinkonun yüksek yüzey gerilimi yüzünden deliklerden yeterince süzülmemesi durumunda deliklerin tıkanmasının gerçekleşeceği belirtilmiştir. Çözüm olarak parça tasarlanırken herhangi bir kısıtlama getirilmemiş

ise, delik çaplarının mümkün olduğunca büyütülmesi gerektiğini ifade edilmiştir. Ayrıca problemi gidermek adına çinko havuzuna Pb, Bi, Ni alaşım elementleri ilave edilirse çinkonun yüzey gerilimi azaltılıp, sıvının akışkanlığı artacağından etkili olacağı belirtilmiştir. Kaplanan parça, kazan içerisinden çıkartılırken titreştirilerek çıkarılırsa veya çıkartıldıktan sonra üstüne basınçlı hava üflenmesi de sorunu gidermede yardımcı olacağı ifade edilmiştir. Diğer bir sorun olarak da soyulma ya da sıyrıлма olarak gösterilmiştir. Bu sorunda parça üzerinde pürüzlü bir yüzey oluştuğu vurgulanmıştır. Soruna sebep olarak da büyük galvanizle kaplanan parçaların havada soğuması uzun zaman aldığından galvanizleme işlemi esnasında kaplamada oluşan çinko-demir ve çinko katmanları arasında oluşan boşluklar gösterilmiştir. zm nerisi olarak da galvanizle kaplama sonrasında parçaların hızlı soğutulması ile (suda soğutma vb) sorun en aza indirileceği belirtilmiştir.

Karahan'a göre, bir başka sorun ise pürüzlü yüzey özelliklerinin görülmesi şeklinde belirtilmiştir. Bu sorunun sebebini ise, yüksek silisyum içerikli sıcak haddelenmiş elik olarak ifade edilen sandelin elik olarak göstermiştir. Bu durumu ortadan kaldırmak için ağırlıkça silisyum oranı %0,03'den kk olan çeliklerin seçilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ayrıca, eliğin kimyasal analizine bakılamıyorsa havuza %0,05-0,06 miktarlarında nikel ilave edilmesi ile problemden korunabileceği belirtilmiştir. Son problem olarak da pullanma hatası gösterilmiştir. Galvaniz kaplı tabaka filminin kalınlığının normalden daha kalın olması sebebiyle bu sorunun oluştuğu vurgulanmıştır. Ayrıca, sandelin çeliklerde normalden daha kalın tabaka ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. zm olarak da %0,05-0,06 miktarında nikel ilavesi ve galvaniz havuzunda parçanın bekletme süresini kısaltarak da pullanma sorununun azaltılacağı ifade edilmiştir.

Aydın ve Gülenç (2003), çalışmalarında beyaz eşya üretiminde etkili olarak kullanılan galvanizli sac ve paslanmaz çeliğin nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliği ele alınmıştır. Kaplama kalınlıkları farklı iki galvanizli sac paslanmaz çeliğe kaynaklanmıştır. Kaplama türünün kaynak bölgesine ve kaplama kalınlığının kaynak kabiliyetine etkisi incelenmiştir. Daldırma yöntemi ile kalın kaplama kalınlığındaki galvanizli sac kaynağı için kaplamada katmerleşme daha fazla grlmştir. Mekanik zellik açısından elektro kaplamalı sacda galvanizli saca göre daha düşük değerler elde edilmiştir.

Cocco ve diğ. (2017), yaptıkları çalışmada SDGK'nın, metalik koruma alanında en çok kullanılan teknik olduğunu belirtmişlerdir. Kaplama oluşumu temel olarak demir ve çinko atomları arasındaki reaksiyonlar sonucu katmanlar arası ara fazlardan kaynaklanmaktadır. Son yıllarda, çeşitli elementlerin varlığı ile farklı özelliklere göre optimize edilmiş banyolarda elde edilmesinin sağlandığı belirtilmiştir. Örneğin, banyodaki Sn'nin varlığı banyoyu akışkanlaştırdığı ve geliştirilmiş bir homojenlik ile karakterize edilen kaplamaların oluşumuna izin verdiği ifade edilmiştir. Ti'nin varlığı ise, kaplamalarda Ti'nin farklı oksidasyonu nedeniyle farklı kaplama renklerinin elde edilmesini sağladığı belirtilmiştir.

Bu çalışmada, banyolarda %3 Sn ve %0,5 Ti'nin varlığı ile elde edilen kaplamalar arasında beş farklı daldırma zamanında bir karşılaştırma incelenmiştir. Kaplama oluşum kinetiğini ve intermetalik fazları analiz etmek için bükülmüş numunelerin boyuna kesitleri metalografik olarak hazırlanmış ve optik bir mikroskop (LOM) ile gözlemlenmiştir. Son olarak, tüm kaplamaların mekanik davranışı, numuneler üzerinde yapılan bükme deneyleri kullanılarak incelenmiştir. Çinko bazlı kaplamalar, farklı metalik fazların ve difüzyon olaylarının önemi nedeniyle farklı mikroyapı morfolojilerinin varlığı ile karakterize edilmiştir. Bununla birlikte, çinko kaplama oluşumunda kullanılan ana parametreler daldırma zamanı ve banyonun kimyasal bileşimi olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, bir Zn-Sn ve bir Zn-Ti banyosundan elde edilen kaplamalar arasındaki karşılaştırma hem intermetalik fazlar hem de eğilme davranışı açısından incelenmiştir. İntermetalik fazlarla ilgili olarak %3 Sn banyosu, saf Zn veya Zn-Pb banyoları kullanılarak elde edilebilecek geleneksel intermetalik fazı oluşturduğu vurgulanmıştır. Yüksek Sn değerlerinde araştırılan tüm daldırma süreleri için yarı doğrusal bir kaplama oluşum kinetiği elde edilmiştir. Zn-Ti kaplamaların, Zn-Sn kaplamaların kalınlığından daha büyük olmasına rağmen bükülme deneyinde Zn-Sn kaplamaların, Zn-Ti kaplamalarınkinden daha yüksek bükülme mukavemeti değerleri gösterdiği ifade edilmiştir.

Karahan (2016b), "Galvaniz Prosesinde Görülen Yüzey Hataları ve Çözüm Önerileri-2" adlı makalesinde SDGK işlemi sonrasında kaplanan parçaların yüzeyinde gözlemlenen hatalara ait sebep-sonuç analizleri yapılmıştır. Çalışmanın neticesinde de temel olarak yüzey temizleme işlemlerinin dikkatli yapılmasını ve önemini vurgulamıştır. Ayrıca kaplanacak parçanın geometrik özelliklerine ve

çelikteki silisyum miktarına bağı olarak çinko havuzunun kimyasal bileşimine, parçayı havuza daldırma ve çıkartma hızının da kaplama kalınlığını etkileyebileceği ifade edilmiştir. Sistemdeki mevcut hataları minimize etmiş ve bu sayede parçaların kalitesindeki artış ile işletme maliyetlerini azaltarak müşteri kitlesinin kaplamadaki beklenen talebi karşılayacağı vurgulanmıştır.

Karahan'a göre, sektörde karşımıza çıkan problemlerin ilki, drenaj çıkıntıları olup çalışmada sunulan çözüm önerisi ise; havuza kurşun, bizmut ve nikel gibi alaşım elementlerinin eklenmesi ile çinko havuzunun akışkanlığının ve drenajının artırılması şeklinde ifade edilmiştir. Bir başka sorun, çinko köpüğü kalıntısı problemi olarak belirtilmiştir. Sorunun temel sebebinin ise, parçanın havuzdan çekilmesi esnasında parça yüzeyindeki köpüklerin tam olarak uzaklaştırılmaması neticesinde parça üzerinde kalması olarak gösterilmiştir. Hatanın çözümü olarak da metal parça çinko havuzundan çıkartılmadan önce havuz yüzeyinin temizlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada yer verilen diğer problem ise, nemli ortamlarda depolama yüzünden oluşan lekeler olarak verilmiştir. Bu hataların beyaz, tozumsu şekilde galvaniz kaplı yüzeylerde bulunduğu ifade edilmiştir. Gerçekleşme sebebinin ise, yeni galvaniz kaplı yüzeyin (örneğin yağmur, çiğ gibi) suyla temas etmesi sonucu parça yüzeyinde çinko oksit ya da hidroksit oluşturması şeklinde belirtilmiştir. Ortaya konan çözüm önerisini, galvanizleme işlemi sonrasında parçanın hemen pasive edilmesi şeklinde ifade etmiştir. Bir diğer önlem ise metal parçaların havalandırmanın az olduğu yerlerde istiflenerek depolanmaması şeklinde belirtmiştir.

Akman (2015), korozyona uğrayan çeliğin doğal kaynakların israfına ve ekonomik olarak büyük kayıplara neden olacağını ifade etmiştir. Bundan dolayı çelik yapıların ömrünü ve dayanıklılığını artırmak için korozyondan korumaya önem verilmesi gerektiğini belirtmiştir. Etkili çözüm yöntemi olarak da sıcak daldırma galvanizle kaplamanın gitgide piyasada kullanılmaya başladığını belirterek bu çalışmada sıcak daldırma galvaniz ile kaplama prosesine, avantajlarına değinmiştir. Korunmayan çeliğin ortama ve yapıya verdiği zararı önlemek adına, etrafımızda sıkça karşılaştığımız yapıları tamir etmek için gereken onarımlar ülke ekonomisinde giderek katlanan bir yük oluşturduğunu belirtmiştir. SDGK'nın ne kadar önemli

olduğunu ifade etmiştir. Çalışmasında dünyadaki sıcak daldırma galvanizli yapı örneklerine yer vermiştir.

Tzimas ve Papadimitrou (2001), bu çalışmada 560 °C’de saf bir çinko banyosuna daldırma ile üretilen SDGK’ların çatlama davranışını, üç noktalı bükme deneylerinden sonra incelemişlerdir. Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen SDGK’lardaki çatlama mekanizmalarını araştırmışlardır. Tzimas ve Papadimitrou’na göre, deney sırasında ortaya çıkan gerilme ve artık gerilmelerinin bir sonucu olarak oluşan mikro çatlaklar, bükülme sırasında oluşan çatlaklar için çekirdeklenme alanları olarak işlev görür. Bu çatlaklar, kaplamanın δ_1 ara yüzünde tutulurlar ve kaplamaların bozulmasına neden olan kaplama arayüzüne paralel olarak ilerlemeye devam ederler. İstatistiksel analizin ardından çatlak yığınının (birikiminin) ölçümleri, kaplamada bükülme sırasında oluşan çatlakların yoğunluğunun, kaplama kalınlığından bağımsız olduğunu ve çatlak yoğunluğunun çatlak başlangıcı tarafından değil, çatlak ilerlemesi tarafından kontrol edildiğini, uygulanan zorlamaya bağlı olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, kaplamanın yüzeyine ulaşan çatlak yoğunluğunun, sadece çatlak ilerlemesine engel teşkil eden kaplamanın dış Zn bakımından zengin katmanlarının kalınlığına bağlı olduğu da gösterilmiştir.

Berto ve diğ. (2017), bu teknik çalışmada, yorulma yüklemesi altındaki sıcak daldırma galvanizli çelik cıvatalı bağlantılardan elde edilen veriler gösterilmiştir. Sıcak daldırma galvanizli çelik bağlantıların çevrimsel (döngüsel) yükleme altında mekanik davranışı deney numuneleri hazırlanarak araştırılmıştır. Özellikle, galvaniz kaplamanın S355 yapısal çeliğinin yorulma dayanımı üzerindeki etkisi, kaplanmamış bağlantılara kıyasla yorulma ömründeki azalmanın çok sınırlı olduğunu göstermiş ve sonuçları detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Deneylerde, merkezi bir delik tarafından zayıflatılmış çentikli galvanizli numuneler ve aynı geometri ile edilen muamele edilmemiş numunelerden önceki verilerle karşılaştırılmıştır. Yorulma deneyleri, 250 kN yük kapasitesine sahip servo-hidrolik MTS810 deney sistemi kullanılarak yapılmıştır. Tüm gerilme kontrollü yorulma deneyleri, uygulanan yükün seviyesine bağlı olarak 5 ila 10 Hz. arasında değişen bir frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Tüm deneylerde yük oranının sabit bir değeri $R = 0$ kullanılmıştır. Deneylerden sonra numuneler incelenmiş ve çatlakların başlangıcı ve yayılması hakkında bilgi edinmek için kırılma yüzeyleri analiz edilmiştir. Çatlak,

bağlantının ilk cıvatasına karşılık geldiğinde meydana gelmiştir. Özellikle cıvatalı bağlantının yakınında kırılma yüzeyini göstermiştir. Çalışma sonucunda, yorulma yüklemesi altındaki sıcak daldırma galvanizli çelik cıvatalı bağlantılardaki deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Shibli ve diğ. (2015), çalışmasında sıcak daldırma çinko galvanizle kaplama alanındaki son gelişmeleri, farklı endüstriyel uygulamalar da dikkate alınarak gözden geçirmişler ve gelişmeleri incelemişlerdir. Sektördeki uygulama süreçlerinden dolayı fiziksel, kimyasal bileşimdeki ve yapısal gelişmeler ele alınmıştır. Sıcak daldırma galvanizleme proseslerindeki son gelişmeler öne çıkarılarak alüminyum daldırma konusundaki endüstriyel çalışmalar da ele alınmıştır. Yakın gelecekteki gelişmelerin kapsamı vurgulanmıştır.

Çalışmalarında alüminyum sıcak daldırma avantajlarından bahsetmişlerdir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlı kaplamalar, otomobil ve inşaat endüstrilerinde, çinko kaplamaya alternatif olarak, ağırlığı azaltmak, daha iyi mekanik özellikler sağlamak ve sıcak daldırma çinko kaplamaya kıyasla yüksek sıcaklıkta oksidasyon direnci sağlamak adına tercih edildiği belirtilmiştir. Alüminize çeliğin korozyona dayanıklı karakteristikleri, alüminyum oksidin stabil ince bir filminin oluşumundan kaynaklandığı vurgulanmıştır. Sıcak daldırma alüminize, paslanmaz çelikler ve düşük alaşımlı çeliklerde yüksek sıcaklıkta oksidasyon ve korozyona dayanıklı kaplamalar ortaya koymak için kullanılan bir difüzyon kaplama oluşum prosesidir.

Sıcak daldırma alüminid çelik üzerine kaplama, bir alüminyum üst kaplama ve kalın (10-100 μm) kırılğan Fe – Al intermetalik katmandan oluştuğu belirtilmiştir. Fe – Al intermetalik katmanı bir dış FeAl_3 katmanı (genellikle $\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$ olarak adlandırılır) ve bir iç Fe_2Al_5 katmanı içerir. Sıcak daldırma alüminid hafif çelikler, çelik yüzeyinde iyi oksidasyon direnci olan ince, yoğun Al_2O_3 oluşumu nedeniyle, kazanlarda ve egzoz borularında yüksek sıcaklık ortamlarında yaygın olarak kullanılmıştır. Sıcak daldırma alüminid çeliğinin yüksek sıcaklık koşullarında ömrünü arttırmak için, çelik substrat ile alüminid kaplama arasında bir difüzyon bariyeri oluşturmanın esas olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, alaşım elementlerinin alüminyum intermetalik katman oluşumunda etkisine yer verilmiştir. Alüminid kaplama ve alüminyumun korozyon ve oksidasyona dayanım (direnc) gösterme özellikleri incelenmiştir. Bu tavllanmış kaplamalar, genel olarak, korozyon işlemi

sırasında yerinde oluşan Al-Fe intermetalik kaplamasına göre daha iyi korozyon direnci gösterdiği gözlemlenmiştir. Alüminid kaplamaların bozulmasının ana nedeni, kaplamanın sadece ergimiş karbonat ile temas halinde korozyona uğramasından değil, aynı zamanda alüminyum ve substratın birbirine karışması boyunca alüminyumun tükenmesinden de kaynaklanmıştır. Substrat bileşiminin rolü, banyo ve tavlama koşullarını içeren proses parametreleri, kaplamaların yapısal özelliklerini ve uygulanabilirliğini önemli ölçüde ayarladığı belirtilmiştir.

Sıcak daldırma işlemi bir alaşım reaksiyonu olduğundan, işlem koşulları hedeflenen reaksiyonu önemli ölçüde genişlettiği veya geciktirdiği ifade edilmiştir. Bu nedenle, ön işlem, daldırma ve sertleştirme / tavlama da dâhil olmak üzere tüm işlemlerin işlem parametreleri, havuzun bileşiminin rolünden veya işlemde yer alan diğer çözeltilerden daha büyük bir role sahip olduğu belirtilmiştir. Çelik substratta optimum miktarda silisyum ve fosfor mevcudiyetinin önemi, sıcak daldırma işlemi sırasında çok önemli bulunmuştur. Banyo bileşiminden ayrı olarak, ön işlem ve daldırma koşulları, ortaya çıkan kaplamayı büyük ölçüde değiştirdiği gözlemlenmiştir. İntermetalik ve çok fazlı alaşım elementlerinin ayarlanması, sıcak daldırma kaplamaların hedeflenen özelliklerinin oluşumunu sağladığı ifade edilmiştir.

Bicao ve diğ. (2008), bu makalede SDGK'lar üzerinde çinko banyosu sıcaklığının etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın amacını, çinko banyosu sıcaklığının morfoloji üzerindeki etkisini ve SDGK'nın kalınlığını belirlemek şeklinde ifade etmişlerdir. Sıcak daldırma galvaniz numuneleri, 10 °C'lik adımlarla 450-530 °C aralığındaki sıcaklıklarda ve farklı daldırma sürelerinde hazırlanmıştır. Numuneler taramalı elektron mikroskopu ve enerji dağıtıcı X-ışını analizi kullanılarak tanımlanmıştır. Galvanizleme sıcaklığı 450 ila 470 °C arasındayken, kaplamanın bir δ katmanın üstünde tutarlı ve kompakt bir ζ katmanı vardır. ζ faz, 480 °C civarında bulunur. Kaplama kalınlığının 480 °C'de en yüksek seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık 500 °C'nin üzerinde olduğunda, kaplama öncelikle ilk olarak faz olacak şekilde değişmiştir. Bu çalışmadan şu sonuçları çıkarmışlardır. ζ katmanı sıcaklık artışıyla birlikte önemli ölçüde değişmiştir. Alaşım elementlerinin ζ fazı sınırında ayrılması, tutarlı ve kompakt ζ tabaka oluşumunu önleyen sıvı yollarının oluşumu ile sonuçlanmıştır. Sonuç olarak, sıvı çinko doğrudan δ fazına

temas eder ve δ fazını aşındırmıştır. Hızlı arayüz reaksiyonları, kaplamanın daha hızlı büyümesini sağlayan ζ fazının oluşumunu hızlandırmıştır. Yukarıdaki araştırmadan, aynı daldırma zamanında kaplamanın sıcak daldırma galvanizleme işleminde 480 °C'de en hızlı büyüdüğü sonucuna varılmıştır. Düşük karbonlu çelik çinko banyosunda galvanizlendiğinde, kaplama kalınlığının 530 °C'de maksimuma ulaştığı gözlenmiştir. 480 °C'de oluşan ζ fazı tutarsız ve gevşetilmiş olduğundan, dolayısıyla galvanizleme endüstrisinde çelikler bu sıcaklıkta galvanizlenmemesi gerektiği ifade edilmiştir.

Elkoca ve Küçükkaragöz (2016), çalışmasında mekanik yüzey işlemlerinin silisyum içeren çeliklerde sandelin durumuna etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, geleneksel dekapaj işlemine ek olarak taşlama ve parlatma gibi mekanik yüzey işlemleri uygulanarak, farklı silisyum içerikli çelik numuneler üzerinde deforme bölgesi ve deformasyonsuz çeşitli yüzey topografileri üretilmiştir. Şartlandırılmış yüzeylerde oluşan SDGK'lar, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile kesitler halinde incelenmiştir. 3 x 30 x 70 mm boyutundaki numuneler, normal ve reaktif kaplamaların karşılaşılabildiği sandelin eğrisi ile ilişkili silisyum içerikli sıcak haddelenmiş çelik saclardan kesilmiştir. Galvanizleme deneyleri, çinko banyosunda 450 °C \pm 2 °C'de gerçekleştirilmiştir. Çinko banyosu 450 °C'de demirin doygunluk seviyesi olan %0,03 Fe, akışkanlığı artırmak için %1,0 Pb ve oksidasyon direncini arttırmak için %0,010 Al içerecek şekilde hazırlanmıştır. Numuneler ilk önce 10 dakika boyunca 70 °C'de 100 g/l NaOH ile temizlenmiştir. Daha sonra numune yüzeylerini hacmin %25'i oranında HCl ile temizlenerek, oda sıcaklığında 10 dakika süresince rodine 50 içeren inhibitör verilmiştir.

Daha sonra, belirli bir sertlik ve pürüzsüzlük elde etmek için bir grup numune 60 numaralı zımpara SiC kâğıdı ile zımparalanmıştır. Diğer grup ilk olarak 240 numaralı zımpara (zımpara kalınlık derecesi) SiC kâğıdı ile zımparalanmıştır. Bir dizi zımparalama (taşlama) işleminden sonra ihmal edilebilir deformasyonu olan pürüzsüz cilalı yüzeyler elde etmek için son olarak 1 μ m elmas macunu ile parlatılmıştır (cilalanmıştır). Galvanizlemeden önce yüzeyi asitle temizlenmiş, taşlanmış ve parlatılmış numuneler, 2 dakika boyunca 60 °C'de 300 g/l ZnCl₂.3NH₄Cl çözeltisi içeren flux ile muamele edilerek ardından 125 °C'de sıcak hava akımı altında kurutulmuştur. Galvanizleme için şartlandırılmış numuneler 10

dakika boyunca çinko banyosuna batırılmıştır. Galvanizlemenin ardından, numuneler suda soğutulmuştur. Sonrasında ise galvanizleme işleminde ortaya çıkan Fe-Zn fazları incelenmiştir. Fe-Zn fazlarının kalınlığı, çinko banyosundan cüruf parçacıkları içeren en dıştaki (η) fazın kalınlığı hariç, η - ξ ara yüzünden çelik numuneye bir mesafe olarak ölçülmüştür. 270 μm SiC partiküllerine sahip 60 numaralı zımpara SiC kâğıdı ile taşlanmış numunelerde üretilen kaplamalar, 125-250 μm boyutunda partiküllere sahip olan taşlama ile oluşturulanlara göre tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Çalışmanın sonuçlarında, yüzey topografyasının yani yüzey pürüzlülüğü derecesi ve yüzey şeklinin, SDGK'ların stabilitesini kontrol eden ana faktör olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, galvanizlenecek çelik ürünler için uygun bir yüzey topografyası, galvanizleme işleminden önce güvenilir bir analitik yöntemle üretilmiş ve ölçülmesi gerektiği vurgulanmıştır. Daha önce elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, 100-270 μm aralığında aşındırıcı partiküllerle oluşturulmuş ara pürüzsüzlüğün ve keskin uçlu yüzey topografyasının sandelin aralığında silisyum içeren çelikler üzerinde uygun galvaniz kaplamalar üretebileceğini göstermişlerdir.

Gagne (1999), galvanizlemeden sonra çinko fazla drenajı yerçekimi, sıcaklık, çekme hızı ve iş parçasının yönü ile kontrol edilebildiğini ifade etmiştir. Düşük drenaj ile iş parçasının köşelerinde ve çalışma yüzeyinin açılarında çinkonun biriktiğini ve küçük delikler ile ince kanallar üzerinde köprü oluşturduğunu belirtmiştir. Çinko drenajının aynı zamanda damla oluşumuna katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu sorunların ciddiyetine ve müşterinin gereksinimlerine bağlı olarak, müşteriye gönderilmeden önce iş parçasının ekstra temizlenmesi gerekebileceği belirtilmiştir. Bunun için, imalat sonrası sıcak daldırma galvanizleme için drenajı (havuzdan çıkan iş parçasında aşırı miktardaki çinkonun birikip akması) için çinko-bizmut alaşımları geliştirilmiştir.

Laboratuar ve endüstriyel tesis deneyleri, saf çinkoya bizmut ilavesinin, geleneksel kurşun içeren çinko ile karşılaştırıldığında eşit drenaj sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, saf bizmut ve kurşun ilavelerinin saf çinkoya eklenmesinin drenajda önemli gelişmeler sağladığı gösterilmiştir. Diğer deneyler, bizmutun havuzdaki ısıtıcı duvarına saldırı hızı, kaplamanın mikroyapı gelişimi, kaplamanın şekillendirilebilirliği, yapışma, korozyon direnci, renklenme davranışı, boyanabilirlik ve geleneksel kaplamalara kıyasla beyaz pas oluşumuna karşı direnci üzerinde zararlı

bir etkisi olmadığını laboratuvar deneylerinin bir özeti burada sunulmaktadır. Çinko-bizmut alaşımları, ıslak veya kuru galvanizleme işlemleriyle birlikte kullanılabilir ve alaşımların endüstriyel kullanımı, bunların Technigalva ve Polygalva gibi mevcut galvanizleme teknolojilerine uyumlu olduğunu da göstermiştir. Cüruf oluşumu azalması gibi ek faydalar da bildirilmiştir.

Laboratuvar ve fabrika deneylerinin sonuçları bizmut ilavesinin çinko drenajını galvanizli iş parçasından düzelttiğini göstermiştir. Diğer faydaları arasında cüruf oluşumu ve işin temizlenmesi için gereken işçilikteki azalmanın sayılabileceği gözlenmiştir. Endüstriyel deneylerde yer alan üç tesiste, bizmut başarı ile kullanılmıştır. Çinko-bizmut alaşımları, 'GalvaFlowTM' ticari marka adını taşımıştır. Bi ilavelerinin, galvaniz kaplamanın boyanabilirliğine etkisinin olmadığı bulunmuştur.

Adetunji (2010), laboratuvar çalışmalarında 0,20 mm, 0,60 mm ve 1,0 mm kalınlığında çelik saclar için SDGK işlemlerini gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmalarını yaptığı 1,0 mm kalınlığındaki çelik sacın kimyasal bileşimi; %0,15 karbon, %0,09 silisyum; 0,6 mm kalınlığındaki çelik sacın kimyasal bileşimi; %0,15 karbon, %0,33 silisyum; 0,2 mm kalınlığındaki çelik sacın kimyasal bileşimi; %0,15 karbon, %0,55 silisyum içermekte olduğunu gözlemlemiştir. Galvaniz kaplama işlemleri, az miktarda alüminyum ilavesiyle, %99,8 çinko kullanılarak 450 °C'de, 1 dakika daldırma süresi boyunca 3 m/min, 4 m/min ve 5 m/min çekme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Çelik plakalar, hızla soğutuldukları açık bir alanda temiz bir alana çekilerek üretilen galvaniz kaplamaların kalitesi görünüm, parlaklık ve uniformluk (homojenlik) açısından değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, farklı kalınlıklar için değişen kalite parametreleri göstermiştir. 1,0 mm, 0,6 mm, 0,2 mm kalınlığındaki çelik saclar, 3 m/min, 4 m/min ve 5 m/min geri çekme hızlarında kaplama parlaklığı ve homojenlik açısından en iyi kaliteye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı kalınlıktaki saclarda ısı kapasitelerindeki farklılıklar, elde edilen sonuçları açıklayan soğutma süresinde farklı tepkilere yol açmıştır. Sıcak daldırma galvanizleme ile çeliğin pastan korunması uzun zamandır devam eden bir faaliyet olduğunu belirtmiştir. Çeliği korozyondan korumak için birçok yöntem mümkün olduğunu ifade etmiştir. Bu yöntemleri, boyama, elektro kaplama, alaşım ilavesi (örneğin, nikel veya krom),

katodik koruma (kurban anotlar veya baskı uygulanmış akımlar kullanarak) veya ince bir korozyona dayanıklı metal tabaka ile kaplanması olarak sıralamıştır. Galvanize çelik sac, galvaniz kaplama tabakası içerdiğini vurgulamıştır.

Çalışmanın sonucunda ise, üretilen kaplamaların kalitesi görünüşleri, parlaklıkları ve homojenlikleri ile değerlendirilmiştir. Kaplamaların homojenliği, kaplamanın en kalın kısmı ile aynı taraftaki en ince kısım arasındaki farkın bulunmasıyla belirlenmiştir. Fark 2 µm içerisinde ise, kaplamanın homojenliği çok iyi olarak kabul edilirken, fark 5 µm içerisinde ise iyi olarak adlandırılmıştır. Numunelerin parlaklık derecesi, fiziksel görünümle değerlendirilmiştir. Galvanizli çeliğin karbon ve silisyum içeriği, değerler hafif çelik sınıflandırması içerisinde olduğu için elde edilen sonuçlar üzerinde olumsuz bir etkisi olmamıştır. Düşük ısı kapasitesi sayesinde daha kısa drenaj süresiyle daha yüksek hız gerektirdiğini belirtmiştir. Kaldırma hızı arttıkça kalitenin de arttığını vurgulamıştır. En iyi kalite 0,2 mm kalınlığındaki sac için 5 m/min, 0,6 mm kalınlığındaki sac için 4 m/min ve 0,1 mm kalınlığındaki sac için 3 m/min olarak elde edilmiştir.

Pokorny ve diğ. (2016), bu makalede, geleneksel çelik katışkı elementlerinin içeriğinin çinko tabakasının kalınlığı ve bileşimi üzerindeki etkisini anlatmışlardır. Bu makale, öncelikle düşük sıcaklıkta süreli sıcak daldırma galvanizleme üzerine odaklanmıştır. Ancak sürekli kaplama işleminden de bahsetmişlerdir.

Çalışmada silisyum, fosfor, alüminyum ve kükürdün, kaplamanın mekanik özellikleri ve nihai görünüşü üzerinde bıraktığı etki incelenmiştir. Düşük sıcaklıkta süreli sıcak daldırma galvanizleme (sıcaklığı ~ 450 °C), karbon yapı çeliği için en yaygın ve kesin korozyon koruma yöntemleri arasında olduğu vurgulanmıştır. Elde edilen galvaniz kaplı çeliğin atmosferik korozyona karşı uzun süreli koruma sağladığı belirtilmiştir.

İntermetalik fazların ve saf çinko katmanlarının varlığı ve hatta kalınlığı birçok faktörden etkilendiği ifade edilmiştir. Çinko banyo sıcaklığı, galvanizli çeliğin yüzey dokusu, mekanik veya ısıl işlem tipi ve hatta galvanizli çeliğin kalınlığı, bununla birlikte kaplamanın oluşturulması için, galvanizleme banyosunda (Al, Sn, Ni, Bi) bulunan alaşım elementleri, banyoya daldırma süresi ve galvanizlemeden sonra soğutma yöntemi ve süresinin de önemli olduğu vurgulanmıştır.

Çalışmalarında çinko alaşımlı yapı çeliğindeki yabancı maddelerin, kaplamanın toplam kalınlığı ve bileşimi için hayati öneme sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Pokorny ve diğ.'ne göre, sıcak daldırma galvanizin çalışma parametreleri çinko kaplamanın yapısı ve kalınlığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Çelikteki silisyum, fosfor, alüminyum, manganez ve kükürt içeriği, toplu sıcak daldırma galvanizlemede kaplamanın kalınlığı ve bileşimi üzerinde önemli bir olumsuz etki yaptığını belirtmişlerdir. Çelikteki bu elementlerin uygun olmayan bir miktarı, mekanik özellikler ve nihai görünüm açısından zayıf kaplama riskini arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Sepper ve diğ. (2016), bu çalışmalarında, sıcak daldırma galvanizleme işleminde silisyumun rolüne odaklanmışlardır. Farklı silisyum konsantrasyonlarında (< %0,01, %0,06, %0,11, %0,17 ve %0,30) çelik saclar hazırlamışlardır. Kaplama oluşumunu analiz etmişlerdir. Sıcak daldırma galvanizleme 450 °C'de, endüstriyel galvanizleme tesisi Estonya'da yapılmıştır. Kaplama kalınlığını ölçmüşlerdir. Zn-Fe kaplamanın mikro yapısını incelemişlerdir. Silisyum çeliğe Zn difüzyonunu ve kaplama içinde Fe difüzyonunu etkileyerek sıcak daldırma galvanizleme reaksiyonlarını etkileyici role sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Silisyum çelik yapım işleminde deoksidan olarak kullanıldığı için yapısal çeliklerin az miktarda silisyum içerdiği belirtilmiştir. Silisyum, çelikler için düşük maliyetli ve çok etkili bir güçlendirici alaşım elementi olduğu vurgulanmıştır. Çelikteki silisyum konsantrasyonu, sıcak daldırma galvanizleme işleminde önemli bir rol oynadığı gözlemlenmiştir. Kaplamaların büyümesini ve mikro yapısını etkilediği belirtilmiştir. Silisyumun belirli seviyelerde bulunması, yani %0,03-0,14 (sandelin alanı) ve %0,3'ün üzerinde olması durumunda aşırı kalınlığa, gri görünüme ve zayıf yapılaşmaya sahip bir kaplama meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Nikel ilavesini de olumlu olarak kabul etmişlerdir, çünkü Fe-Zn fazları arasındaki kinetiği, morfolojiyi ve termodinamik dengeyi değiştirdiğini gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, düşük bir konsantrasyonda nikel (%0,06) sandelin etkisini inhibe etmiştir. Dolayısıyla, silisyum deneylerde tek değişken olmadığını ifade etmişlerdir.

Yağ alma, HCl'de dekapaj, durulama ve flux içeren sıcak daldırma galvanizleme işleminin yaygın uygulamasına göre, numuneler ön işleme tabi tutulmuştur. Çinko banyosu %99,3 Zn, %0,055 Ni ve dengede Al, Bi, Fe ve Sn'den oluştuğu belirtilmiştir.

Çalışmada, galvanizlemeden sonra, havada soğutması sırasında daha fazla difüzyon reaksiyonunu önlemek için numuneler su içinde soğutulmuştur. Mikro yapı incelemesi için sıcak daldırma galvanizli numunelerden enine kesit alınmıştır. Numunelerin mikro yapılarını ortaya çıkarmak için nital eter kullanılmıştır. Optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile gözlemler yapılmıştır.

Bu makale, ortak galvanizleme sıcaklığı olan 450 °C'de farklı silisyum konsantrasyonlu saclar ile kaplama oluşumunu açıklamıştır. Çalışmanın amacının, Si'nin kaplama oluşumundaki rolünü tanımlamak olduğu vurgulanmıştır. Silisyum, kaplamada Fe difüzyonunu etkileyerek sıcak daldırma galvanizleme reaksiyonlarını etkilediği ifade edilmiştir. Fe difüzyonu ne kadar yüksek olursa, Zn kaplamasının o kadar kalın olduğu belirtilmiştir.

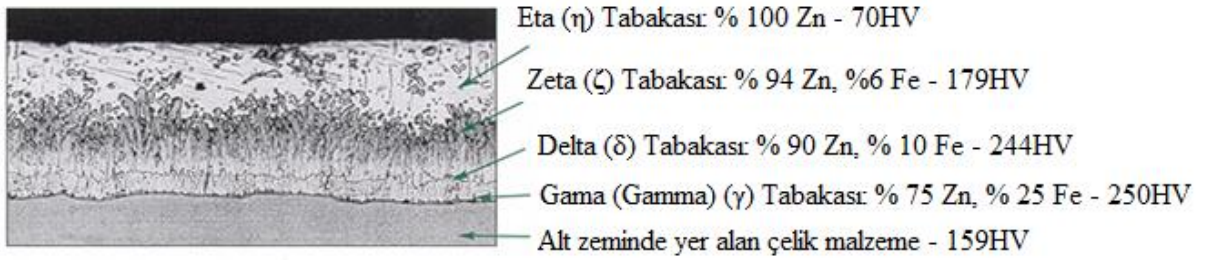
Asgari ve diğ. (2009), bu çalışmalarında SDGK'nın yapı (doku) ve korozyon performansını değiştirmede kaplama kalınlığının etkisini araştırmışlardır. Sıcak daldırma galvanizli çinko kaplama, çeliği korozyona karşı korumak için kaplamalar arasında en sık kullanılan kaplama çeşidi olduğunu vurgulamışlardır. Kaplanmış çelik sacların, aşındırıcı bir ortama maruz kaldığında, aşınma davranışının doku ve mikroyapı değişimlerinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu araştırmanın amacını, çinko banyosunun kaplama kalınlığı ve kimyasal bileşiminden etkilenen sıcak daldırma galvanizli çinko kaplamaların doku ve korozyon direncini incelemek olduğunu ifade etmişlerdir. Kaplamaların dokusu, X-ışını difraksiyonu kullanılarak değerlendirilmişlerdir. Korozyon davranışı Tafel polarizasyon deneyi kullanılarak analiz edilmiştir. Tuz püskürtme deneyinin ana korozyon ürününün Simonkollite olduğu kabul edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, donuk ve açık renklerde SDGK'ların yüzeyinde beş çeşit morfoloji gözlemlenmiştir. Kaplama kalınlığı arttıkça, kaplamanın korozyon direnci azaldığı vurgulanmıştır. Simonkollite, tuz püskürtme deneyi sırasında SDGK'ların yüzeyinde oluşacak başlıca korozyon ürünü olduğu belirtilmiştir. Banyo sıcaklığının (yaklaşık 462 °C) arttırılması Fe₂Al₅ inhibisyon tabakasının oluşumunu engellediği ifade edilmiştir.

Taşkın (2006), ele aldığı çalışmada galvanizlemede kullanılan çeliğin yapısında yer alan Si ve P'nin kaplama kalınlığında ve galvanizlemeden sonra ortaya çıkan yapıyı nasıl etkilediğini araştırmıştır. Gözlemlerinin sonucunda böyle bir yapının kaplama kalınlığını artırdığı ve kaplama sonrası yüzey tabakasının parlak olmadığını belirlemiştir. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için çinko banyosuna nikel eklenmesi gerektiği veya galvanizleme banyosuna katılan çinkonun yapısında nikel içermesi gerektiğine dikkat çekmiştir. Galvanizleme banyosuna Ni miktarı kontrollü olarak eklenirse, çeliğin kimyasal yapısındaki Si ve P'nin negatif etkilerinin ortaya çıkmasını önlediğini gözlemlemiştir. Banyoya nikel ilavesinin özellikle kimyasal analizi bilinmeyen çeliklerin kaplanmasında kullanılmasını belirtmiştir.

2. SICAK DALDIRMA GALVANİZ KAPLAMA

2.1 Genel Bilgiler

Sıcak daldırma galvaniz kaplama, malzemelerin 450-460 °C’de ergimiş halde bulunan çinko havuzuna daldırılarak kaplanması işlemidir. Poag (2009) galvaniz kaplamayı, demir (Fe) ve ergimiş çinko (Zn) arasında oluşan, çeliği korozyona karşı koruyacak bir kaplama oluşmasını sağlayan metalurjik reaksiyon şeklinde tanımlar. Sıcak daldırma galvanizleme, çelik parçaların korozyon direncini arttırmak ve mekanik malzeme özelliklerini iyileştirmek için koruyucu çinko film tabakası ile kaplanarak uygulanan bir yöntemdir.



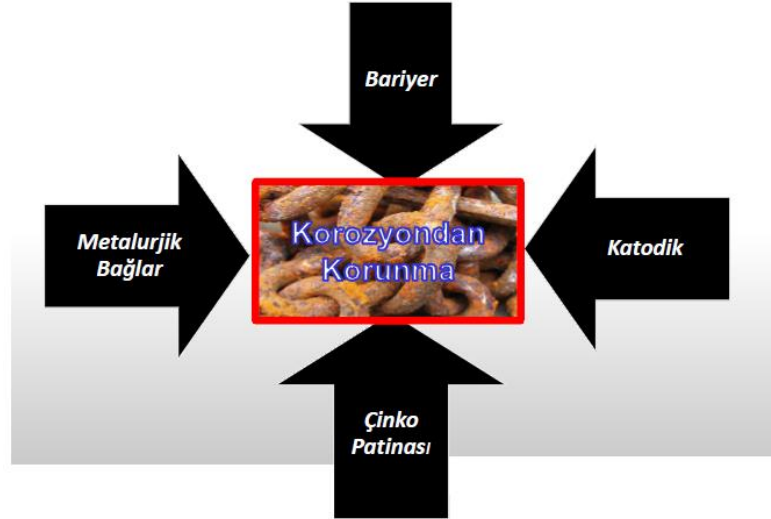
Şekil 2.1: Galvaniz kaplamada oluşan metalurjik bağlar (URL 1)

Çeliğe üst düzey koruma sağlayan çinko ve çinko bileşikleri ile alaşım tabakaları oluşur. Koruyucu kaplama Şekil 2.1’de belirtildiği üzere, genellikle birkaç tabakadan meydana gelir. Zemindeki ana metale yakın olanlar, demir-çinko bileşiklerinden meydana gelmiştir. Üst üste yer alan bu tabakaların en dışında tamamen çinkodan meydana gelen bir tabaka yer alır (URL 1).

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, sıcak daldırma galvaniz yöntemiyle çinko kaplanan malzemelerde Fe-Zn arasında gelişen reaksiyonlar sonucunda kaplama içerisinde Fe-Zn fazları (eta, zeta, delta, gama) oluşmaktadır. Çeliğin tabanından başlayarak, her tabaka dış yüzeye kadar yükselen oranlarda çinko içerir. Bu yüzden ana metal ile kaplama arasında güçlü bir bağ sağlayan Fe-Zn fazlarına doğru kademeli bir geçiş vardır. En üst katman çinko tabakasıdır ve parlaklığı sağlar. Bu tabaka zamanla atmosferik şartlarda kendisini doğaya bırakarak parlaklık kaybolur.

İşte bu aşamadan sonra ikinci katman olan zeta katmanı asıl korumayı sağlar. Bu koruma korozyonu 15 yıldan 80-100 yıla kadar geciktirir (URL 1). Şekil 2.1’de yer alan kaplama sonrası oluşan mikroskobik iç yapı, galvaniz kaplamanın en önemli noktasını oluşturmaktadır. Oluşan tabakalar, kaplamanın adeta damar yapısını meydana getirmektedir. Kaplamanın malzemeye kazandırdığı özellikler ortaya çıkan katmanlarla bağlantılıdır.

Galvaniz kaplamanın özelliklerini Poag (2009), şu şekilde aktarmıştır. Oluşan alaşım tabakaları kırılğan ve serttir. Kaplama performansını arttırmak için alaşım katmanı büyümesini en aza indirmek istenir. Üst yüzeydeki işlenebilir Zn (eta katmanı) parlak görüntü yaratır. Eğer alaşım tabakasının yüzeye kadar büyümesine izin verilirse görüntü mat ve daha az çekici hale gelmektedir.



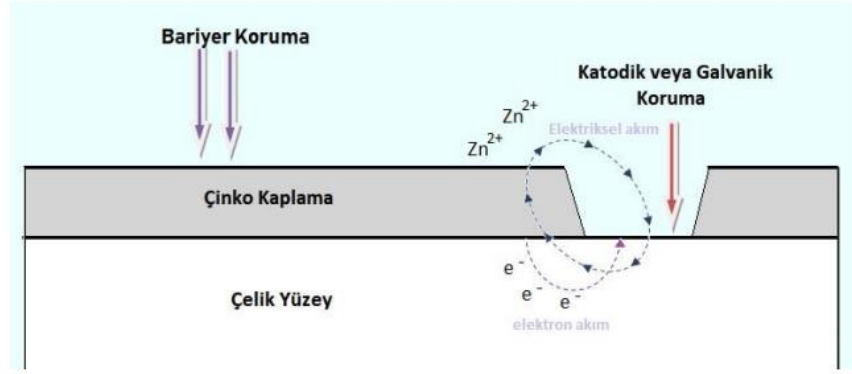
Şekil 2.2: Galvanik Koruma (Dıraz 2017)

Şekil2.2’de galvaniz kaplamanın çeliği nasıl koruduğu Dıraz (2017), tarafından şematize edilerek gösterilmiştir.

SDGK’lar, sanayide kullanım alanı olan diğer kaplamalardan aşağıda anlatılan yönleri ile farklılık göstermektedir. Şekil 2.3’de galvaniz kaplamanın malzemeleri, korozyon ve diğer darbelere karşı sağladığı katodik ve bariyer koruma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.

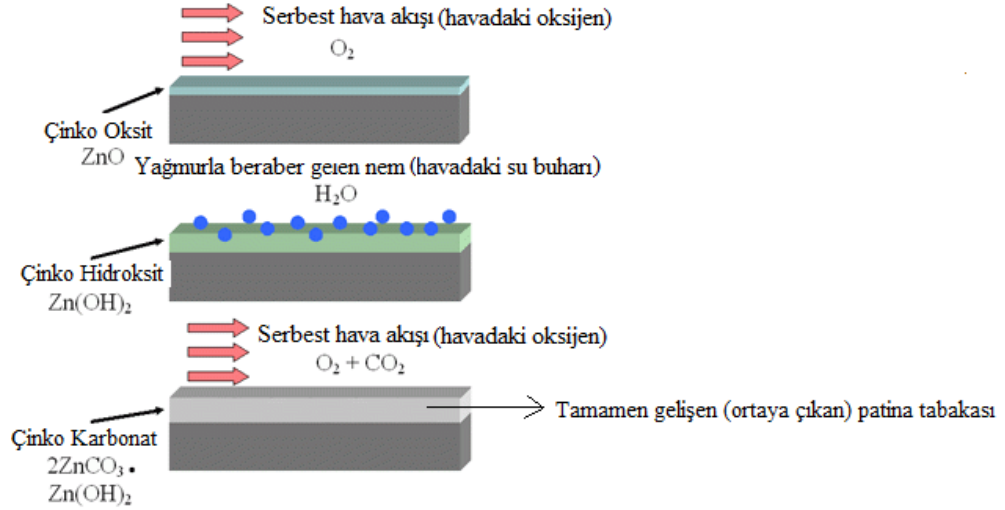
Sıcak daldırma galvanizleme (SDG), diğer boya ve kaplamalarda da olan bariyer koruma mekanizmasına ilave olarak -yapısındaki çinko metali sayesinde-

katodik koruma mekanizmasına da sahiptir. Öyle ki, bildiğiniz diğer tüm boya ve kaplamalar, altlarındaki çelik yüzeyleri fiziksel bir film ile dış etkilere izole ederken (bariyer koruma), tüm bunlara ilave olarak sıcak daldırma galvanizlenmiş (SDG'li) kaplamalar çelik yüzeylerin korozyona uğramaması için yapılarındaki çinkoyu elektrokimyasal olarak feda etmektedirler (katodik koruma). Bu bahsedilen koruma mekanizması literatürde galvanik koruma olarak da isimlendirilmektedir (Şekil 2.3) (Dıraz 2018).



Şekil 2.3: Galvaniz kaplama sonrası ortaya çıkan bariyer ve katodik koruma mekanizmaları (Dıraz 2018)

Katodik koruma mekanizmasına ilave olarak, sıcak daldırma galvanizleme (SDG) korozyona uğrarken yapısındaki çinko, havadaki nem ve oksijen ile tepkimeye girerek, çinko patinası ismi verilen korozyona ve dış etkilere karşı koruyucu bir tabaka geliştirmektedir. Bu bahsettiğimiz tabaka öyle sağlamdır ki; sıcak, soğuk, güneş, yağmur ya da kar gibi dış etkenlerden kolay kolay etkilenmemekte ve bu tabaka uzun süre altında yer alan çinko katmanlarını korumaktadır. Böylelikle, bariyer ve katodik korumaya ilave olarak çinko patinası da sıcak daldırma galvanizlemenin (SDG'nin) ömrünü uzatan bir mekanizma olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna, sıcak daldırma galvanizlemenin (SDG'nin) üçlü koruyucu tabiatı da denilmektedir (bariyer + katodik + çinko patinası) (Şekil 2.4) (Dıraz 2018).



Şekil 2.4: Çinko Patinası Oluşumu (Dıraz 2018)

Şekil 2.5’de gösterilen SDGK’da uygulanan proses adımları aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 2.5: Galvaniz kaplama işlemi uygulama adımları (URL 2)

1. Yağ Alma / Yıkama

Kaplanacak malzemelerde, malzemenin yüzeyinin temiz olması en önemli etkenlerden biridir. İstenmeyen empürüte ve kalıntıların temizlenmesiyle, kaplama yüzeylerinde çok iyi bir uyum ve yapışma meydana gelir. Bu amaçla yüzey temizleme işlemleri yapılır. Asit, malzeme üzerindeki yağ, gres gibi kimyasal

maddeleri temizleyemez. Bu yüzden, kaplamanın bozuk çıkmaması için malzeme üzerindeki yağ, gres gibi maddeler, asit banyosuna girmeden önce yağ alma (alkali) banyosuna girer ve burada temizliği yapılır. Alkali temizleyici solüsyonlar kir tabakasını yerinden söker (URL 2).

2. Asit ile Yüzey Temizleme

Yağlardan arındırılmış malzemeler üzerindeki pasın atılması ve yüzeyin açığa çıkması için malzeme asit havuzuna daldırılır. Çelik üzerindeki pas ve oksit tabakalarının kimyasal yollardan giderilerek alttaki temiz yüzeylerin ortaya çıkmasını sağlar. Bu işlem için SDGK öncesi hidroklorik asit (HCl) solüsyonu kullanılır. Hidroklorik asit havuzlarının konsantrasyonları belirli periyotlarda kontrol edilerek baume ölçümleri yapılır ve analiz sonuçları (°Be) değeri cinsinden kaydedilir (URL 2).

Asitle temizlemenin amacı, malzeme üzerindeki hava ile temastan dolayı oluşan oksitli tabakayı gidermektir. Bu tabakaların varlığı, demirin, çinko banyosu içinde çinko ile reaksiyonunu engelleyecek ve o bölgeler çinko kaplanamayacaktır. Malzemeler asitte kaldığı sürece, demir ile asit reaksiyonu devam eder. Malzemenin oksit tabakası temizlendikten sonra, asit banyosundan zamanında çıkarılmasına dikkat edilir, aksi takdirde malzemede aşınmalar oluşmaktadır. Bu yüzden çok paslı malzeme ile temiz olanlar aynı askıda bulundurulmamaktadır ve malzemeler operatörler tarafından devamlı kontrol edilerek, yüzey temizliği bitmiş malzemeler asit banyosundan çıkartılmaktadır (URL 2).

Asitle yüzey temizlemenin amacı, malzeme yüzeyindeki paslı tabakayı temizlemek olduğundan, asidin demirle etkileşimini önlemek amacıyla, aside inhibitör adı verilen madde eklenir. Bu asidin pas giderme hızını etkilemez ve asidin çelik üzerindeki etkileşimini önler. Asitte, demir ve çinko birikimini azaltmış olur. Yüzey düzgünlüğü sağlar (URL 2).

3. Yıkama

Asitle yüzey temizleme işleminden sonraki bu işlemin amacı, asitten çıkarılan malzemenin üzerinde kalan demir klorürü flux banyosuna taşımamak ve böylece

Çinko banyosunda fazladan dros oluşturmamaktır. Bu yüzden, asitten çıkarılmış malzemeler yıkama banyosuna daldırılır (URL 2).

4. Flux Banyosu

Malzemenin flux ($ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$) banyosuna daldırılmasındaki amaç, daha iyi bir yüzey elde edebilmek için çinko banyosunda demir ile çinko arasındaki reaksiyonu hızlandırmaktır. Saf elik yüzeyinin, galvanizleme öncesi tekrar oksitlenmesini önlemek için flux havuzuna daldırılır. Flux aynı zamanda, asitle yüzey temizleme işleminden arta kalan birtakım kalıntıları da temizler (URL 2).

Malzemeler flux banyosuna daldırıldıktan sonra malzeme üzerine kaplanan tuzlar, çinko banyosuna dalınca yanar ve çinkonun çelikle reaksiyonunu kolaylaştırır. Bir anlamda çinkonun malzeme yüzeyine yapışmasında etkili olduğu söylenebilir (URL 2).

5. Kurutma

Flux banyosundan sonra malzemeye uygulanan kurutma işlemi özellikle iş güvenliği açısından sıçramaları önlemek ve bunun sonucu oluşan çinko kaybını engellemek için yapılır (URL 2).

6. Çinko Kaplama

SDGK hazırlık nitesi tamamlanan, tasarımı ve kimyasal kompozisyonu galvanize uygun olduğu tespit edilmiş elik malzemelerin, 450 C’de ergitilmiş çinko havuzuna daldırılmak suretiyle Fe ve Zn etkileşimi sağlanarak kaplaması yapılır (URL 2).

Demir-inko reaksiyonunun başlaması için, daldırılan malzemenin sıcaklığı, banyo sıcaklığına ulaşana kadar malzeme ergiyik çinko havuzunda bekletilmelidir. Çinko havuzuna daldırılmış malzemeler kaplanırken, çinko havuzu yüzeyinde, yüzey temizleme kimyasalları ve oksitlemeden oluşan ince bir tabaka meydana gelir. Malzemeler inko havuzundan çıkarılmadan önce oluşan bu atıklar havuz yüzeyinden temizlenerek malzemeyle teması engellenir. Böylece kaplama kalitesinin verimi arttırılır (URL 2).

Yüzey hazırlama işlemleri tamamlanan malzemeler çinko kaplama banyosuna alınır. Çinko kaplama banyosuna demir ise, çinko ve demir (metal malzeme) arasındaki reaksiyon sonucu girer ve banyodaki dros oranının yükselmesine neden olur.

Kapalı ocak içerisinde farklı seviyelerde bulunan çinko yüzeyine, kaplanacak malzemenin yaklaştırılıp daldırılması ile çinko yüzeyinde dalgalanmalar oluşabilir. Malzemeler çinko havuzuna daldırılırken mümkün olduğunca çinko havuzu yüzeyinde tabaka birikintisi yapmayacak ve dalga görünümlü hareketlenmeler oluşturmayacak şekilde daldırılır.

7. Soğutma

Sıcak daldırma galvaniz banyosunda kaplanan malzemeler, oda sıcaklığında bekletilerek soğumaları sağlanır.

2.2 Sıcak Daldırma Galvanizle Kaplamanın Kullanım Alanları

SDGK ile ürünlerin korozyona uğrama hızları düşeceği için geniş kullanım alanına sahiptir. Endüstriyel dünyada hemen hemen her yerde çinko kaplanan malzemeler karşımıza çıkmaktadır. Elektrik dağıtım kuleleri, merdivenler, raylar, aydınlatma levhaları, saclar-profiller, çelik konstrüksiyonlar ve kaynaklı imalatlar, kablo kanalları, iskele sistemleri, tel çit sistemleri, güneş enerji sistemleri, makinelerdeki bağlantı elemanları, altyapı sistemleri, telekomünikasyon direkleri, çöp konteynerleri, yer altı atık toplama sistemleri, madencilik sektörü, petrol ve doğalgaz üretim ile nakil hatlarında SDGK'ya başvurulur.

Kullanım yerleri hakkında detaylı örnek uygulamalar aşağıda yer almaktadır.

Tarım ve hayvancılık yapılan ortamlar ile kullanılan ekipmanlar: Kötü hava koşulları, dış ortama açık olduğu için barındırdığı yüksek nem, atmosferik ortamın birebir etkilemesi şeklinde sıralanan nedenlerden dolayı seralar, bağ ve bahçe çitleri ile konstrüksiyonları, hayvan koruma yerleşimleri ile barınaklar ve ahırlar korozyondan çok daha çabuk etkilenirler. Bu etkenlerden korunması için ve

paslanma tehlikesinden dolayı galvaniz kaplama yapılarak verimli alanlar oluşturulur.

Yapılarda ve inşaatlarda: Sıklıkla depremlerin görüldüğü ve deprem kuşağı içinde yer alan ülkemizde yapı çeliği kullanımı gitgide artmaktadır. Sağlık açısından binalarda kullanılan çelik, depremlerin olumsuz etkilerine karşı büyük bir direnç gösterir. Yapılarda çeliğin kullanımı ile olası depremlere karşı koruma sağlanır. Binalarda, fabrikalarda, okullarda, stadyumlarda, gökdelenlerde yapı çelikleri korozyona karşı galvanizlenerek kullanılır.

Otomotiv sektöründe: Tır dorse kapakları, karoserler, otomobillerde motor beşiği şeklinde geçen travers ve burçları ile birçok otomobil yedek parçasında kötü hava koşullarına ve olası darbelere karşı dayanım gösterdiği için çinko kaplama tercih edilmektedir.

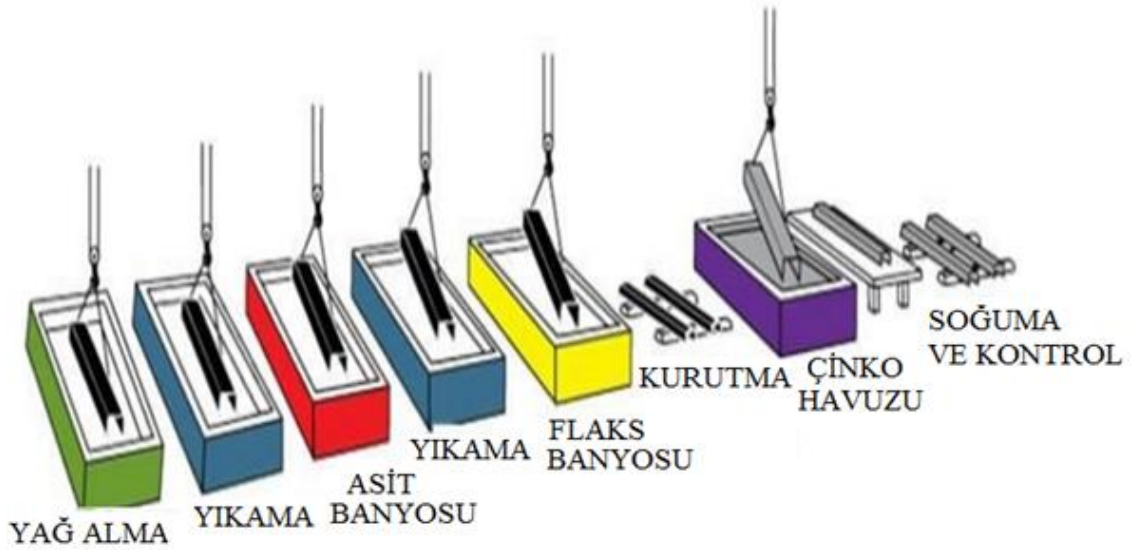
Ulaşım alanında: Deniz, raylı sistemler, hava, karayolu ulaşımında olduğu gibi zorlu ortamlarda atmosfer koşullarından kaynaklanan korozyondan korumak için galvaniz kaplama tercih edilmektedir. Dayanıklı konstrüktif yapılar, aydınlatma direkleri, otoyol bariyerleri, üst-alt geçitler, gibi sık sık yenileme ihtiyacı duyulan veya bakım-onarımın zor olduğu çelik yapıları uzun süreli kullanmak ve darbelere karşı korumak için en akıllıca yöntem sıcak daldırma galvaniz ile kaplamaktır.

Kent mobilyalarının seçiminde: Yollarda, okullarda, çocuk parklarında, sokaklarda, bahçelerde kent yaşamının değişmezleri arasında yerini alan; oyun alanları, bayrak direkleri, çitler, banklar, korkuluklar ile her an karşı karşıyayız. Bu tasarımların hepsinde atmosferin metaller üzerinde oluşturduğu paslanma tehlikesi vardır. Paslanma riskinden korumak, estetiklik kazandırmak ve uzun süreli bakım-onarım yapmadan kullanmak için SDGK yapılır.

Enerjinin dağıtımında: Enerji sektöründe, bakım istemeyen, en kötü atmosfer şartlarında bile paslanmayan, darbelere karşı dayanıklı kaplamalar tercih edilmiştir. Bu bakımdan enerji üretim ve nakil hatları, elektrik direkleri, enerji taşıma elemanları, traversler ve transformatörler galvanizlenerek kullanılması gerekir.

2.3 Sıcak Daldırma Galvanizle Kaplama İşlemine Etki Eden Faktörler

Poag (2009), kaplama kalitesini ifade ederken şu faktörlerden bahsetmiştir. Bunlar; yüzey görünümü, kalınlık, yapışma, korozyon performansı ve boyanabilirlik şeklindedir. Şekil 2.6’da gösterilen sıcak daldırma galvaniz (SDG) kaplama ile elde edilen kaplanmış malzemelerin kalitesi ile mekanik davranışlarını; kullanılan malzeme (çelik) çeşidi, kaplama öncesi yüzey özellikleri ve galvanizleme koşulları gibi pek çok değişken etkiler.



Şekil 2.6: SDGK işleminin uygulandığı bir işletmede kaplama istasyonu (URL 3)

Pektaş (2018), galvaniz kalitesini etkileyen parametreler içerisinde en önemlisi olarak galvanizlenecek malzemenin kompozisyonu gösterir. Çinko banyosunda bulunan elementler ile çelikteki diğer alaşım elementlerinin kaplama kalınlığı üzerine olan etkisine de yer vermektedir.

Galvanizlenecek çelikteki silisyumun varlığı, çeşitli zorluklara neden olmaktadır. Bu tip çeliklerin galvanizlenmesi diğer tüm parametrelerin sabit olduğu durumda normalden daha kalın mat gri renkte yüzey görünümüne sahip katman oluşumuna ve daha zayıf kaplama yapışkanlığına sebep olmaktadır (Pektaş 2018).

SDGK işlemine etkisi olan; çelik kalınlığı, çeliğin kimyasal bileşimi (içeriğindeki Fe ve C haricindeki elementler), çinko kaplama banyosu sıcaklığı,

malzemenin çinko kaplama banyosuna giriş ve banyodan çıkış açıları ile çinko kaplama banyosunda bekletme süresi şeklinde çeşitli faktörler sayılabilir. Tezin ilerleyen bölümlerinde bu kısımlara daha ayrıntılı şekilde yer verilerek, değerlendirme yapılacaktır.

2.4 Sıcak Daldırma Galvanizle Kaplamada Sanayide Karşılaşılan Sorunlar, Kaplama Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar

Mat renkli yüzeylerin oluşumunu Pektaş (2018), şu şekilde açıklamıştır. Çeliğin kompozisyonundaki %Si ve %P miktarları galvanize uygun değilse kaplama kalınlığı birkaç kat artmakta ve kaplama maliyetini artırmaktadır. Silisyum demir ve çinko arasında çok hızlı bir reaksiyona neden olur ve demir-çinko tabakası hızla büyüyerek silisyum içermeyen çelikte oluşan alaşım tabakasına göre daha kalın bir alaşım tabakası meydana getirir. Hatta alaşım tabakası yüzeye ulaşarak alaşım içindeki demir nedeniyle en dışta oluşması beklenen saf çinko tabakasından daha koyu mat bir renge sahip yüzey görünümüne sebep olur.

Pektaş (2018), beyaz pas oluşumunu galvanizli malzemelerin galvanizden sonra kurutulmamasından, nemli ortamda bırakılmasından ve hatalı stoklama şartlarından kaynaklandığını belirtir. Ürünler belirli bir eğimde galvaniz banyosundan çıkarılırken çinko akıntısı soğuma hızına ve çarpma şartlarına bağlı olarak çinko (galvaniz) birikintileri meydana gelebilir. Bu birikintiler daha sonra temizlenerek giderilir. Çinko birikintisinin diğer bir nedeni de iyi kesilmemiş çapaklı yüzeylerden kaynaklanır. Çapaklı bölgeler çinko birikintisi için zemin oluşturur (Pektaş 2018).

Karahan'a göre (2016a), kaplanmayan bölgeler en sık görülen yüzey hatasıdır. Sebeplerini, kaplama öncesi yapılan yüzey hazırlama (temizleme) işlemlerinin verimsiz olması, parça üzerindeki kaynak cürufu varlığı, banyo içerisinde fazla alüminyum bulunması veya zincir, çengel gibi asma aparatlarının çeliğe değmesi sonucu o noktalarda parçanın kaplama almaması şeklinde tanımlar.

Pürüzlü yüzeyin temel sebebi yüksek silisyum içerikli sıcak haddelenmiş çeliktir (sandelin çelik). Bu durumu engellemek için silisyum içeriği ağırlıkça

%0,03'den az olan çelikler alınmalıdır. Eğer çeliğin kalitesi kontrol edilemiyorsa pürüzlü yüzey durumu çinko banyosu içerisinde %0,05-0,06 miktarında Ni'in bulundurulması koşuluyla engellenebilir. Yüzeyi pürüzlü galvanizlenmiş çeliğin korozyon davranışı yüzeyin pürüzlü olmasından etkilenmediği gibi, pürüzlü yüzey durumu çinko filminin yüksek kalınlıkta olması sebebiyle oluştuğundan korozyon performansına pozitif etkisi vardır (Karahana 2016a).

Karahana (2016a), pullanmanın gerçekleşme sebebini, galvaniz filminin kalınlığının normalden daha kalın olması sebebiyle oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca, sandelin çeliklerde normalden daha kalın film elde edilmesine sebep olması, ya da düşük silisyumlu çeliklerde uzun süre galvanizleme işlemine tutulduklarında normalden daha kalın delta alaşım katmanı oluşturması nedeniyle pullanma meydana geldiğini belirtmiştir.

Nemli ortamlarda depolama yüzünden oluşan lekeler; beyaz, tozumsu şekilde galvaniz kaplı yüzeylerde bulunan hatalardır. Yeni galvaniz kaplı yüzeyin suyla temas etmesi (ör: yağmur, çiğ) sonucu parça yüzeyinde çinko oksit ya da hidroksit oluşturması sonucu meydana gelirler (Karahana 2016b).

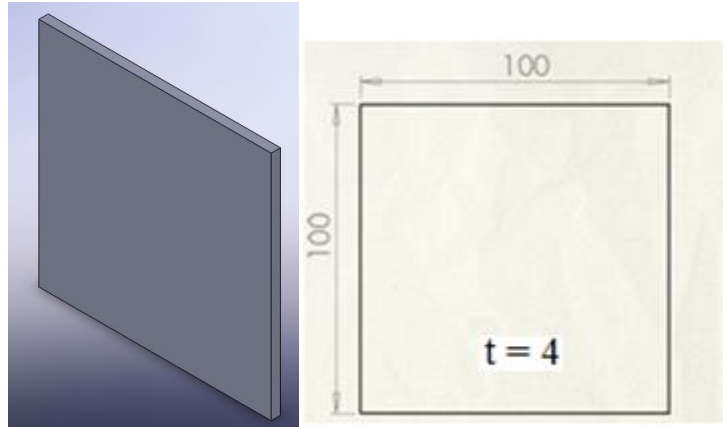
Çinko köpüğü kalıntısı sorunu, temel olarak parçanın havuzdan çekimi sırasında köpüklerin yüzeyden uzaklaştırılamaması sonucu çelik üzerinde kalması sonucu oluşur. Sıvı Zn üzerindeki bu kaymak tabakasının çinko filminde hapsolmesi sonucu meydana gelir. Parçayı havuzdan çıkartmadan önce havuzun yüzeyi temizlenerek sorun giderilir (Karahana 2016b).

Desen oluşumu, kaplama sonrası matlık ve incelenen kaplama parametresine göre kalın/ince kaplamalar ile yeterince kimyasal solventlerle parçaya uygun temizlik yapılmadığında kaplama sonrası üst katmanın dökülmesi yapılan kaplama deneylerinden sonra karşılaşılan problemlerdir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, deney numunesi olarak sacın kalınlığının kaplama kalınlığına etkisinin incelendiği deney haricinde tüm deneylerde sanayide sıkça kullanılan 4 mm kalınlığında soğuk şekillendirmeye uygun, düşük karbonlu, sıcak haddelenmiş yassı çelik ürün malzeme numarası 1.0332 olan DD11-CAT_A EN10111 kullanılmıştır. Kullanılan malzeme türü genel konstrüksiyon levhaları, depolama tankları, konteyner imalatı, teneke kutu, ambalajlama ve konservecilik işlemleri gibi endüstriyel alanda faaliyet gösteren çeşitli yerlerde kullanılmaktadır.

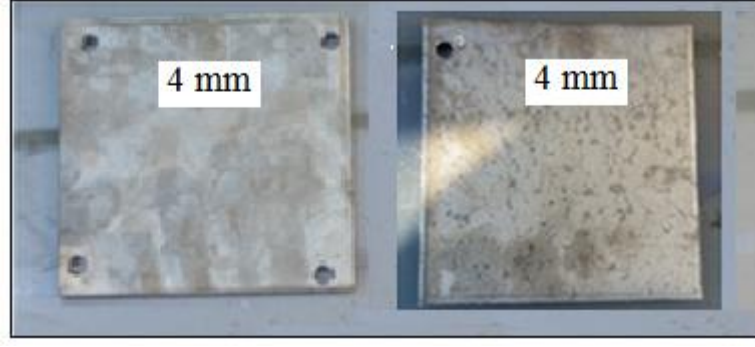
Deney numunelerinde 100 mm x 100 mm boyutlarında sac levha kullanılmıştır (Şekil 3.1). 53 adet 4 mm kalınlığında kullanılan numune sacların kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: 4 mm kalınlığındaki deney numune sac levhannın boyutları ve üç boyutlu hali

Tablo 3.1: Deneysel çalışmalarda kullanılan numune sac levhalarının kimyasal bileşimleri (%)

	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	N
Numune sac kalınlıkları (mm)								
4	0,09	0,30	0,012	0,012	0,014	0,022	-	-

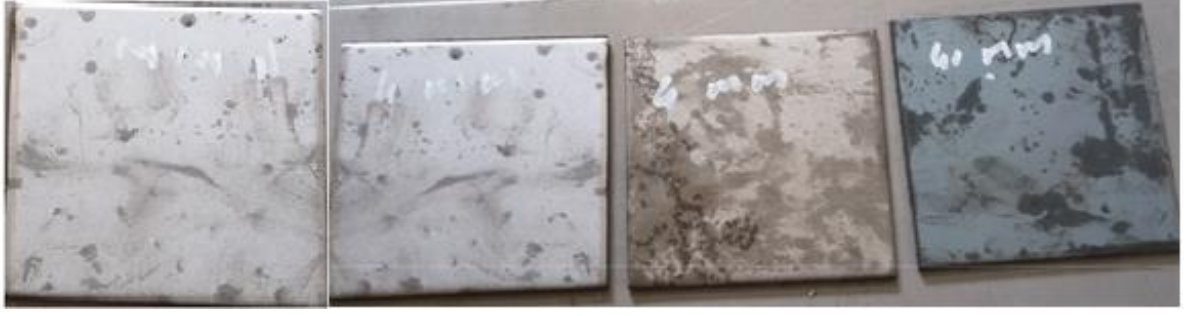


Şekil 3.2: Deneylerde kullanılan numune saclar

3.1 Deney Çalışmalarında Kullanılan Malzemelerin Kaplama İşleminde Önceki Hazırlık Aşamaları

Deneylerde kullanılan numune sacların hazırlanma sürecinde, önce mikrometre ile ölçüm yapılan 4 mm kalınlıktaki sac tabakalarından preste kesim işlemi yapılmış ve sac numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen sac numuneleri sırasıyla asit, su ve flux havuzları ile amonyum klorür tuzu işleminden geçirilmiş ve kaplama banyosuna (galvanizleme ocağına) daldırıp çıkarmak için aparat olarak kullanılan çelik tel çubuklar hazırlanmıştır. Ayrıca hazırlanan tel çubukları numune saclarına takmak için dikey matkap tezgâhı ile 49 adet numune saclar üzerine birer tane, 4 adet numune sac üzerine ise çekme ve daldırma açısının 180° olduğu deneyler için 4 adet 6,5 mm'lik delik açılmıştır. Bu işlemlerden sonra deney numuneleri, sıcak daldırma galvaniz kaplamanın en önemli aşaması olan malzemelerin yüzey temizliği açısından asit banyosuna daldırılmış ve asit havuzunda bekletme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama kalınlığının etkisini değişen işlem parametreleri üzerinde incelenen deney çalışmalarında asit havuzuna daldırılmaması gereken 6 adet numune sac hariç olmak üzere 47 adet deney numune sacları asit havuzuna daldırılmış parça başına yaklaşık 15 dakika bekletilmiştir.

1. grup deneylerden malzemelerin çinko havuzuna 180° açı ile dalış – çıkış durumunda kullanılan numune sacların yüzey hazırlama işlemi aşağıda anlatılmıştır.



(a)



(b)

(c)

Şekil 3.3: 1. grup deneylerden giriş-çıkış açısı 180° iken (a) preste kesilen saclar, (b) dikey matkapta saca delinen askılama delikleri, (c) sacın tel çubuğa asılmış hali

Şekil 3.3a)'da kullanılan 4 adet 4 mm kalınlığındaki saca, Şekil 3.3b)'de gösterildiği gibi 180° açı için hepsine 4 adet delik delinmiştir. Şekil 3.3c)'de asit, su ve flux havuzlarına daldırmadan önce askıya alınmış ve daldırılmaya hazır hale gelmiştir. Daldırma / çekme açısının 180° olduğu deneyler için numune saclar asit havuzunda parça başına 15 dakika bekletilmiştir. Sacın Şekil 3.4'de asit banyosuna, Şekil 3.5'de numune sacın asit banyosundan sonra su ile durulama havuzuna, Şekil 3.6'da numune sacın su banyosunda durulandıktan sonra flux banyosuna

daldırılmasını ve son aşama olan Şekil 3.7’de ise numune sacın flux banyosundan sonra nişadır (tuz) işleminden geçirilmesi görülmektedir. Tek bir sac için gösterilen tüm bu işlemler sırasıyla diğer numune saclara da yapılmıştır.



Şekil 3.4: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180° iken numune sacın asit banyosuna dalışı ve bekletilmesi



Şekil 3.5: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180° olduğunda numune sacın su havuzunda durulanması



Şekil 3.6: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180° iken numune sacın flux banyosuna dalışı



Şekil 3.7: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısı 180° iken numune saca nişadır uygulaması

1. grup deneylerden çinko kaplama banyosuna giriş-çıkış açısı 90° olduğunda kullanılan numune saclar için gerekli ön hazırlık işlemleri aşağıda anlatılmıştır.

Şekil 3.8a)'da kullanılan 3 adet 4 mm kalınlığındaki saca, Şekil 3.8b)'de gösterildiği gibi 90° açı için dikey matkapta sacların hepsine tek adet askılama deliği delinmiştir. Asit banyosuna daldırılmaya hazır hale getirilmiştir. Asit havuzunda parça başına 15 dakika bekletilen saclar su ile durulama havuzuna, flux banyosuna daldırıldıktan ve son olarak nişadır uygulamasından sonra çinko kaplama banyosuna daldırılmıştır.



(a)

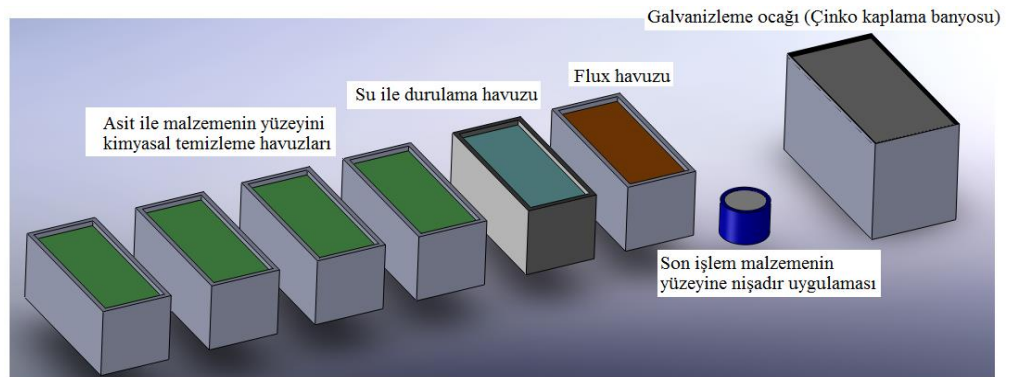


(b)

Şekil 3.8: 1. grup deneylerden daldırma/çekme açısının 90° iken (a) sacların preste kesilmiş hali, (b) saclara askılama deliğinin delinmiş hali

Optimum kaplama kalınlığının araştırıldığı deneysel çalışmalar içerisinde, yüzey pürüzlülüğünün mekaniksel işlemlerle değiştirilmesinin etkisinin incelendiği deneyler esnasında 3 adet 4 mm kalınlığa sahip numune saclar 115 x 22,23 mm karbosan flap disk ile parça başına yaklaşık olarak 5 dakika zımparalanarak asit havuzuna daldırılmış ve sırasıyla kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Galvaniz kaplama için, anlatılan süreçlerde kullanılan banyolar Şekil 3.9’da verilen galvaniz kaplama prosesinin şematik olarak çiziminde de ifade edilmiştir.



Şekil 3.9: SDGK prosesinin şematik çizimi

Şekil 3.10'da deney çalışmalarının gerçekleştirildiği işletmede yer alan SDGK istasyonunda, 4 adet asit havuzu, 1 adet su havuzu, 1 adet flux banyosu, numune sacların yüzeylerine nişadır (tuz) ile serpilmesi ve 1 adet çinko kaplama banyosu (galvanizleme ocağı) gösterilmektedir. Özellikleri ve kimyasal bileşimleri ise aşağıda uygulama sırası ile maddeler halinde anlatılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.10: SDGK istasyonu genel görünümü (a) Asit, su ve flux havuzları, (b) Galvanizleme ocağı

a-) Asit Havuzu

Şekil 3.11'de kullanılan asit banyolarında, kimyasal bileşim olarak %60 HCl, %40 su bulunmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.11: SDGK prosesindeki asit havuzları (a) Asit havuzu, (b) Asit havuzu havalandırma fanı

b-) Su Havuzu

Sıcak daldırma galvanizle kaplama istasyonunda asit banyosundan sonra malzemeleri durulamak için Şekil 3.12’de gösterilen su havuzuna daldırılmıştır.

Deneyleer esnasında her ne kadar hidroklorik asit içeriği ile etkilenmemesi için su havuzu sık aralıklarla değiştirilse de yine de zaman zaman suyun saflık oranı dūşebilmektedir. Havuzda hidroklorik asit içeriğine de bu nedenle rastlanabilir. Yađ alma havuzu mevcut deneyleerin yapıldığı işletme koşullarında yer almamaktadır.



şekil 3.12: SDGK prosesindeki su ile durulama havuzu

c-) Flux Havuzu

şekil 3.13'de gōsterilen havuzda kullanılan flux kimyasal formül olarak $ZnCl_2 \cdot 2NH_4Cl$ (inko amonyum klorür)'dir.



şekil 3.13: SDGK prosesindeki flux havuzu

d-) Nişadır (Tuz)

Şekil 3.14’de gösterildiği gibi kullanılan nişadırın kimyasal formülü %99,5 NH_4Cl (amonyum klorür)’dir.



Şekil 3.14: SDGK prosesindeki nişadır

e-) Çinko Kaplama Banyosu

Şekil 3.15’de gösterildiği üzere kaplama işlemlerinde kullanılan galvanizleme ocağının boyutları; eni 170 cm x boyu 350 cm x derinliği 170 cm olup, derinliği içindeki mevcut çinko ve alaşımların miktarına ve zamanla dalıp çıkmaya göre değişmektedir. Deneylerin yapıldığı işletmede, daldırılan parçanın boyutlarına göre seviye ayarlanarak, genellikle 124 cm veya 110 cm derinliğinde kullanılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.15: SDGK prosesi a) Çinko kaplama banyosu, b) Ortamdan çıkan zehirli gazları tahliye için kullanılan havalandırma fanı

Çinko kaplama banyosunda deney çalışmalarını yaptığımız zamanda kullanılan çinkonun kimyasal içeriği Tablo 3.2’de verilmiştir. Tablo 3.2’den de görüleceği üzere hazır alınan çinko külçeleri saf çinkoya çok yakın olup içeriğinde az miktarda başka alaşım elementlerini de barındırmaktadır.

Tablo 3.2: Galvanizleme ocağında bulunan çinko külçelerinin kimyasal bileşimi (%)

Pb	Cu	Cd	Fe	Al	Sn	Zn
0,0020	0,0008	0,0001	0,0008	0,0011	0,0001	99,996

Tablo 3.2’de deneylerin yapıldığı fabrikada hazır alınan çinko külçelerinin kimyasal analiz sonuçlarında nikel miktarına rastlanılmamıştır. Sebebi ise, kullanılan çinko külçeleri Ni-Zn karışımı olmayıp nikelin ayrıca çinko kaplama banyosuna ilave edilmesidir. Çinko kaplama banyosuna katılan çinko kütlesine göre nikel miktarı %3 oranında, galvanizleme havuzuna kaplama işleminden önce ilave edilerek nikel ihtiyacı karşılanmıştır.

Deneyler sırasında yapılan gözlemler sonucunda, işletme tarafından sıcak daldırma çinko kaplama banyosuna hazır eklenen çinko külçeleri dışında ilave edilen diğer alaşım elementleri ve kaplamada gösterdiği etkisi şu şekildedir:

Nikel (Ni) : %3 oranında kaplama kalınlığını inceltmek için kullanılmaktadır.

Alüminyum (Al): %5 oranında, kaplama banyosuna çubuk şeklinde eritilerek, kaplamanın görünümünü parlatmak ve yine nikelin kullanım amacıyla benzerlik göstererek, sıcak daldırma galvaniz kaplamadaki en önemli amaçlardan birisi olan kaplamayı inceltmek için kullanılmaktadır.

Kurşun (Pb): Kurşun çözeltilere az miktarlarda eklenerek, genelde dibe çökerek drosa karışmaktadır. 64 – 65 tonluk galvanizleme ocağına 3 – 4 tonlarda eklenmektedir. Kurşun kazanın dibine çökmektedir. Dipte en fazla 7 – 8 cm’lik katman oluşturarak bir anlamda kazanı aşırı ısınmaya karşı korumaktadır. Kurşun çinko banyosundan drosun rahat alınmasını sağlamaktadır. Kurşunun kaplama kalınlığını inceltme ve korozyon dayanımı konusunda kaplama havuzundaki karışımda etkisi bulunmamaktadır.

Kalay (Sn): Kalay çok az miktarlarda, %0,01 oranında kullanılmaktadır. Kaplama kalınlığında kayda değer bir etkisi olmayıp, kaplama sonrası yüzey görüntüsünde desen oluşturur. Renkteki kırılmalara karşı renk eşitsizliğini ortadan kaldırarak, kaplanan parçanın görünümündeki renk dağılımını dengelemektedir. Tıpkı alüminyumda olduğu gibi çubuk halinde ocakta eritilerek kullanılmaktadır. Kalay, yüzeyde oluşan kaplama tabakasında kendisine has bir parlaklık kazandırır.

Çinko kaplama banyosunda yer alan diğer alaşım elementlerinin yüzdesi Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3: Galvanizleme ocağında yapılan kimyasal analiz sonuçları

Deneyin Adı	Deneyin Sonucu (%)
Çinko (Zn)	99,1765
Alüminyum (Al)	0,0025
Arsenik (As)	0,0003
Berilyum (Be)	< 0,000003
Bizmut (Bi)	< 0,0003
Kadmiyum (Cd)	0,0026
Krom (Cr)	0,0001
Bakır (Cu)	0,0118
Demir (Fe)	0,0361
Civa (Hg)	< 0,00003
İndiyum (In)	< 0,00002
Magnezyum (Mg)	< 0,0004
Mangan (Mn)	0,0010
Nikel (Ni)	0,0131
Kurşun (Pb)	0,7380
Antimon (Sb)	< 0,0003
Silisyum (Si)	< 0,0003
Kalay (Sn)	0,0166
Titanyum (Ti)	< 0,00004

3.2 Deneylerde Etkisi Araştırılan İşlem Parametreleri

Numune saclar hazırlandıktan sonra, kaplama işlemlerinin elde edilmesi ve optimum kaplama kalınlığının tespiti için deneysel çalışmalarda üzerine çalışılacak işlem parametreleri seçilmiştir. Deney çalışmalarında ele alınan işlem parametreleri Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4’de galvaniz kaplama banyosunun sıcaklık değerlerine bakıldığında, birbirine yakın olan sıcaklıklarda deneylerin yapıldığı gözlenmiştir. Çinko kaplama havuzunun sıcaklığının değiştirilmesi işletme açısından oldukça tehlikeli olabileceğinden ve deneylerin yapıldığı esnada işletmenin normal üretim, kaplama hattının da devam ettiğinden dolayı sıcaklık değerleri değiştirilememiştir. Galvaniz kaplama banyosunun sıcaklık değeri termometre ile sabah, üretilen çöp konteynerlerinin kaplanması ile gün ortasında ve gün sonunda ölçülüp olabildiğince farklı değerler yakalanarak kaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.4: Deneyleerde çalışılan kaplama parametreleri

Kaplamada İncelenen İşlem Parametreleri	Seçilen Parametre Değerleri				
1-) Daldırma- çekme açısı (Sacın konumu)	90 ⁰ – 180 ⁰ (dikey / yatay)				
2-) Daldırma – çıkarma hızları	1,17 m/min – 3,8 m/min				
3-) Sacların yüzey temizliği için kullanılan kimyasal çözeltiler	Asit +	Flux +	Asit -	Flux -	Asit Flux - +
4-) Asit-Flux havuzlarından çıkan sacların kurutulma koşullarına göre	Islak daldırma - Kuru daldırma				
5-) Galvaniz kaplama banyosunda sacları bekletme (daldırma) süresi, min	1–2–2,5–3–3,5–4				
6-) Sac üzerindeki yüzey pürüzlülüğünün mekaniksel işlemlerle değiştirilmesi	Karbosan flap diskle zımparalanmış - zımparalanmamış				
7-) Galvaniz kaplama banyosunun sıcaklığı, °C	460– 465– 470				

Tablo 3.4’de kullanılan simgelerden + deney numunelerinin asit veya flux çözeltilisine daldırıldığını, - deney numunelerinin asit veya flux çözeltilisine daldırılmadığını ifade etmektedir.

53 adet numune sac kullanılarak kaplama parametrelerinin farklı değerlerle eşleştirilip, 23 adet deney yapılarak kaplama kalınlığı karşılaştırmalı sonuçlar üzerinden değerlendirilmiştir. Deneyleerin grup numaraları ve incelenen parametre isimleri Tablo 3.5’de verilmiştir. Deneyleer 7 grup halinde yapılmıştır.

Tablo 3.5: Deneilerin listesi

Deney Grup No	Kaplamadaki Etkisi Araştırılan Değişken Parametre
1	Çekme / daldırma açısı: 180 ⁰ iken kaplamanın yapılması
	Çekme / daldırma açısı: 90 ⁰ iken kaplamanın yapılması
2	Çinko kaplama banyosuna giriş hızı: 1,17 m/min, çıkış hızı: 3,8 m/min
	Çinko kaplama banyosuna giriş hızı: 3,8 m/min, çıkış hızı: 1,17 m/min
	Çinko kaplama banyosuna giriş hızı: 3,8 m/min, çıkış hızı: 3,8 m/min
	Çinko kaplama banyosuna giriş hızı: 1,17 m/min, çıkış hızı: 1,17 m/min
3	Çinko kaplama banyosuna daldırılacak malzemelerin yüzey temizliği yapılırsa, (Asit – flux havuzlarına daldırılırsa)
	Çinko kaplama banyosuna daldırılacak malzemelerin yüzey temizliği yapılmazsa, (Asit – flux havuzlarına daldırılmazsa)
	Çinko kaplama banyosuna daldırılacak malzemelerin yüzey temizliği yeterince yapılmazsa, (Asidin etkisi var, fluxın etkisi yok.)
	Çinko kaplama banyosuna daldırılacak malzemelerin yüzey temizliği yeterince yapılmazsa, (Asidin etkisi yok, fluxın etkisi var.)
4	Asit, su ve flux havuzlarından sonra saclar kurutulmayıp, nemli olarak dalım yapılması
	Asit, su ve flux havuzlarından sonra saclar kurutularak dalım yapılması
5	Sacın kaplama banyosunda 1 dakika kalması
	Sacın kaplama banyosunda 2 dakika kalması
	Sacın kaplama banyosunda 2,5 dakika kalması
	Sacın kaplama banyosunda 3 dakika kalması
	Sacın kaplama banyosunda 3,5 dakika kalması
	Sacın kaplama banyosunda 4 dakika kalması
6	Sac yüzeylerinin karbosan kesici flap disk ile zımparalanarak kaplamanın gerçekleşmesi
	Sac yüzeylerinin karbosan kesici flap disk ile zımparalanmadan kaplamanın gerçekleşmesi
7	Çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 460 °C iken kaplamanın yapılması
	Çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 465 °C iken kaplamanın yapılması
	Çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 470 °C iken kaplamanın yapılması

3.3 Deneylerde Ölçümler İçin Kullanılan Cihazlar

Mikrometre: Şekil 3.16'da gösterilen Mitutoyo markasına ait 0 – 25 mm arasındaki ölçümleri gösteren 0,01 mm hassasiyetindeki mikrometre ile sac kalınlıkları ölçülmüştür.



Şekil 3.16: Ölçümlerde kullanılan mikrometre

Termometre: Şekil 3.17'de gösterilen termometre, galvaniz ocağının (çinko kaplama banyosunun) sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.17: Kaplama banyosunun sıcaklığını ölçmek için kullanılan termometre

Teskon TT-211 Kaplama Kalınlığı Ölçüm Cihazı: Şekil 3.18’de gösterilen cihaz, numune çelik saclar yüzeyindeki çinko kaplamanın kalınlığını ölçmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.18: Çinko kaplama kalınlığını ölçmek için kullanılan Teskon TT-211 cihazı ve ölçüm başlangıcında değeri sıfırlama yüzeyi

Tartım Cihazı: Şekil 3.19’da Excell marka ağırlık ölçmek için kullanılan terazi modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.19: Excell marka terazi

3.4 Standartlarda Belirtilen Kaplama Kalınlığı Değerleri

Galvaniz kaplamada dikkat edilecek faktörler arasında, çeliğin kompozisyonu yani galvaniz kaplamaya uygun çelik seçilmesi, çinko banyosunda bekletme süresi, banyo sıcaklığı, galvaniz ocağı kompozisyonu, daldırma/çekme açısı, vinç hızı, parçaların kimyasal çözeltilerle temizlenmesi (asit-flux havuzlarının içeriklerinin etkili olması ile) sayılabilir.

Sıcak daldırma galvanizle kaplama işleminde her ne kadar kaplama öncesi ve esnasında dikkat edilmesi gerekiyorsa da kaplama sonrası adımlar da büyük önem taşımaktadır. İşletmelerde gerçekleşen kalite kontrol aşaması standartların verdiği bilgiler ışığında yapılmaktadır. Kontrolü yapılacak maddeler arasında kaplama kalınlığı ile parça yüzeyindeki kaplama tabakasının yapışkan olup olmadığı ve çinko tabakasının homojen dağılıp dağılmadığına bakılır. Kaplanan parçalar stoklama yapılırken nemli ortamlarda tutulmamasına da özen gösterilmelidir.

Galvaniz kaplamada optimum kaplama kalınlığını Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de standartlarda verilen bilgiler doğrultusunda kullanılan malzeme cinsi ve kalınlığın belirlediği görülmektedir. Örneğin, Tablo 3.7’de verilen ISO 1461’e göre; 1,5-3 mm kalınlığındaki malzemenin galvaniz kaplanması sonucu ortalama kaplama kalınlığı 55 mikron olmalıdır. Kullanım ve dayanım süresi de belirleyici etkenler arasındadır. Malzemeleri galvanizle kaplama işlemi standartlara uygun olmalıdır. Kaplanan malzeme kalitesi; kaplama sonrası yüzey görüntüsüne ve kaplama kalınlığı kontrolü ile ortaya çıkar.

SDGK ile ilgili uyulması gereken iki önemli standart vardır. TS EN ISO 1461 ile ASTM A 123/A 123M standartlarıdır. Kaplama kriterlerini belirleyen bu standartların yanı sıra, sıcak daldırma galvaniz kaplamada hasarlı ve kaplanmamış alanların onarımı hakkında bilgi veren ASTM A 780 ve yüksek kaliteli çinko kaplama sağlamak için standart uygulama (sıcak daldırma) ASTM A 385 standartlarına da bakılabilir.

Tablo 3.6: ASTM A 123/A 123M_2015'e göre farklı malzemelerin minimum ortalama kaplama kalınlık değerleri (μm)

ASTM A 123	t = Tüm test edilen numuneler için çelik kalınlığı aralığı (ölçülen)					
Malzeme kategorisi	t < 1,6 mm	1,6 ≤ t < 3,2 mm	3,2 ≤ t < 4,8 mm	4,8 ≤ t < 6,4 mm	6,4 ≤ t < 16,0 mm	t ≥ 16,0 mm
Yapı Profilleri	45	65	75	75	100	100
Şerit ve Çubuk	45	65	75	75	75	100
Sac	45	65	75	75	75	100
Boru ve Boru Sistemi	45	45	75	75	75	75
Tel (kablo)	35	50	60	65	80	80
Betonarme (inşaat) çeliği	100	100

TS EN ISO 1461'e göre 4 mm kalınlığındaki malzemenin ortalama kaplama kalınlığı 70 μm ; 1,5, 1,8 ve 3 mm kalınlığındaki malzemelerin ortalama kaplama kalınlıkları ise 55 μm olmalıdır (bkz. Tablo 3.7). ASTM A 123'e göre ise 4 mm kalınlığındaki sac malzemenin ortalama kaplama kalınlığı 75 μm , 1,5 mm kalınlığındaki sac malzemenin ortalama kaplama kalınlığı 45 μm , 1,8 ve 3 mm kalınlığındaki sac malzemelerin ortalama kaplama kalınlığı ise 65 μm olmalıdır (bkz. Tablo 3.6).

Tablo 3.7: TS EN ISO 1461 Aralık 2004'e göre santrifüjlenmemiş numuneler üzerinde minimum kaplama kalınlıkları (μm)

Malzeme ve kalınlığı	Lokal kaplama kalınlığı (en az)	Ortalama kaplama kalınlığı (en az)
Çelik > 6 mm	70	85
Çelik > 3 mm ≤ 6 mm	55	70
Çelik ≥ 1,5 mm ≤ 3 mm	45	55
Çelik < 1,5 mm	35	45
Dökümler ≥ 6 mm	70	80
Dökümler < 6 mm	60	70

TS EN ISO 1461'e göre kabul kriterleri, kaplama kalınlığı Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'den az olmamalıdır. Kaplanan parçaların korozyondan korunma süresi kaplama kalınlığı ile yaklaşık olarak orantılı olur (TS 914 EN ISO 1461, 2001).

Tablo 3.8: TS EN ISO 1461 Aralık 2004'e göre santrifüjlenmiş numuneler üzerinde minimum kaplama kalınlıkları (μm)

Malzeme ve kalınlığı	Lokal kaplama kalınlığı (en az)	Ortalama kaplama kalınlığı (en az)
Dişli malzemeler >6 mm	40	50
≤ 6 mm olan malzeme	20	25
Vidalı malzemeler > 6 mm çap	40	50
≤ 6 mm çap	20	25
Diğer malzemeler (dökümler dâhil) ≥ 3 mm çap	45	55
< 3 mm çap	35	45

Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de bahsedilen santrifüjleme, genellikle elektrikli bir motor yardımı ile merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak farklı hızlarda dairesel dönme hareketiyle farklı yoğunluktaki parçacıkların birbirinden ayrılmasını sağlayan bir cihazdır.

Santrifüj, motor ile dakikada 1000, 1500 devir veya istenilen devirde dönme hareketi ile çalışmaktadır. Galvaniz kaplama da kullanılan santrifüj ile 40 cm boyunda 30 cm genişliğindeki malzemelere kadar santrifüj uygulanabilir. Santrifüj ile yapılan sıcak daldırma galvaniz kaplama yöntemi genellikle küçük parçalara uygulanmaktadır. Cıvata, somun gibi üzerinde dişli olan malzemeleri çinko çapaklarından sıyırılması için santrifüj ile yüksek devirde dönerek temizlenmektedir (URL 4).

Elektro galvaniz kaplamada sulu ıslak malzemeler santrifüj makinesinin içine atılarak suyu derinlemesine atarak malzemeyi kurutmaktadır. Santrifüjleme, galvaniz kaplama yapılmış malzemenin suyunu kurutmanın en hızlı yöntemidir (URL 5).

Cıvata, somun, ankraj demirleri, kablo kanalı ek parçaları vb. küçük metal parçacıkların santrifüj ile kurutma işleminde belirli aralıklarla kontrollerin yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde gerekli düzeneğin eksik kurulması ve düzenli kontrollerin yapılmaması halinde dönen silindirik kap tehlikeli sonuçlara yol açabilir.

Kenarları keskin, sivri malzemelerin santrifüjle kurutulması sırasında parçaların etrafa savrulmasına karşı önlem alınması gerekmektedir. Santrifüjler kurutmada kullanıldığı gibi aynı zamanda malzeme yüzeyini ön temizleme seçeneği olarak da fazla gresi (yağ kalıntılarını) gidermek için genellikle daha küçük iş parçalarına uygulanmaktadır. Yüzey hazırlığında parçadaki çapakları temizlemek ve yağı arındırmak için santrifüj yapılmaktadır.

4. SICAK DALDIRMA GALVANİZLEME DENEYLERİ

Uygun Konteyner işletmesinde yer alan galvaniz kaplama ocağı, asit, su ve flux havuzları, kullanılan numune saclar ve hazırlık aşamaları ile kaplama sonrasında ölçümler için gerekli olan cihazlar kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. 53 adet numune saclar ile birçok deney seti yapılmıştır. Bu bölümde (bkz. Tablo 3.5’de gösterilen) 7 grup olarak yapılan 23 adet deney ile ölçümlerden elde edilen kaplama kalınlığı değerleri yer almaktadır. Deneylerin tümünde Teskon marka TT-211 cihazı kullanılarak, galvaniz kaplanan sacların ön ve arka tarafından lokal olarak toplamda alınan 10 adet ölçümle beraber kaplama kalınlığı ortalama değerleri mikron cinsinden belirtilmiştir.

İlgili standartta verilen bilgiler de dikkate alınıp uygun sayıda numuneler kullanılarak, kaplama kalitesinin katma değerini artırmak ve sonuçların hangi işlem parametrelerinde optimum çıktığına dair deneylerden elde edilen bulgular ile sacların kaplama sonrası görünüşleri aşağıda yer almaktadır.

4.1 Daldırma ve Çekme Açısının Kaplama Kalınlığına Etkisi

Çinko kaplama banyosuna (galvaniz ocağına) daldırılan sacların daldırma ve çekme açısının farklı olması durumu aynı zamanda sacların daldırma ve çekme pozisyonunu da değiştirmiştir. Değiştirilen açı değerleri 180^0 ve 90^0 olarak seçilmiş, kaplamadaki diğer tüm işlem parametreleri sabit kalmıştır. Bu gruptaki deneyler boyunca; numune sac kalınlıkları: 4 mm, çinko kaplama banyosuna daldırma hızı: 3,8 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı: 3,8 m/min, çinko kaplama banyosunda bekletme süresi: 3 dakika, çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 467^0C ’dir.

1. grup deneylerden, daldırma-çekme açısı 180^0 iken (yatay konumda) sacı çinko kaplama banyosuna daldırıp çıkarma durumunda kaplama kalınlığı değişimi gözlenmiştir. Deneyin yapılışı Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Asit, su, flux havuzlarından çıkarılıp üzerine nişadır atılan sacın daldırma açısı 180° olacak şekilde yatay konumda askıya alınması ve sacın aşamalı olarak çinko kaplama banyosuna daldırılması Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.1: (a) Sacın yatay konumda çelik teller ile asılması, (b), (c) 180° daldırma açısında numune sacın kaplama banyosuna daldırılması

Şekil 4.2’de sacın çinko kaplama banyosundan çekme açısı 180° olacak şekilde yatay konumda aşamalı olarak çıkarılması ve galvanizleme ocağında kaplanmış hali gösterilmiştir. Tek bir sac için gösterilen daldırma ve çıkarma işlemi diğer 3 adet numune sac için de yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 4.2: (a) 180° çekme açısında numune sacın kaplama banyosundan çıkarılması, (b) Yatay konumda işlemden geçen sacın kaplanmış hali

Galvaniz kaplanan 4 adet numune sacın ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 104 μm , 97 μm , 101 μm , 97 μm olarak ölçülmüştür. Bu deneyde kullanılan sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri ise 100 μm 'dir.

1. grup deneylerden diğerinde uygulanan yöntem ise, daldırma-çekme açısı 90⁰ (dikey konumda) iken sacı çinko kaplama banyosuna daldırıp çıkarma durumunda kaplama kalınlığı değişiminin gözlenmesidir. Deneyin yapılışı Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3: 90⁰ daldırma açısında numune sacın çinko kaplama banyosu içerisine girmesi

Şekil 4.3'de gösterildiği gibi numune sac daldırma açısı 90⁰ olacak şekilde dikey pozisyonda çinko kaplama banyosuna daldırılmıştır. Şekil 4.4'de ise, sacın çinko kaplama banyosundan çekme açısı 90⁰ olacak şekilde dikey pozisyonda aşamalı olarak çıkarılması gösterilmiştir. Tek bir sac için gösterilen daldırma ve çıkarma işlemi diğer 2 adet numune sac için de gerçekleştirilmiştir.

Galvaniz kaplanan 3 adet numune sacın ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 91 μm , 96 μm ve 94 μm şeklinde ölçülmüştür. Bu deneyde kullanılan sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 94 μm bulunmuştur.



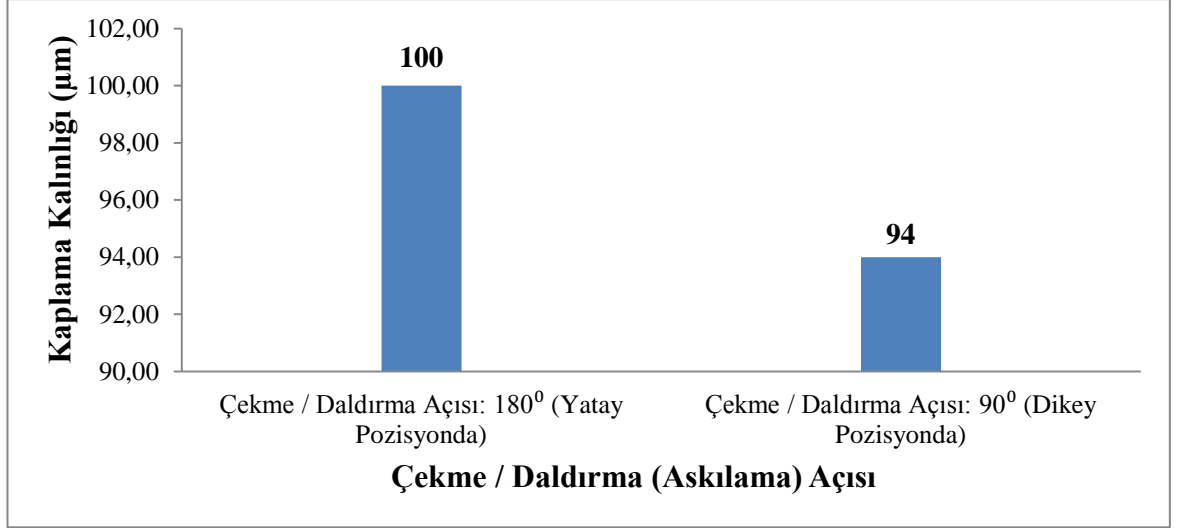
(a)



(b)

Şekil 4.4: (a), (b) 90^0 çekme açısında numune sacın çinko kaplama banyosunun dışına alınması

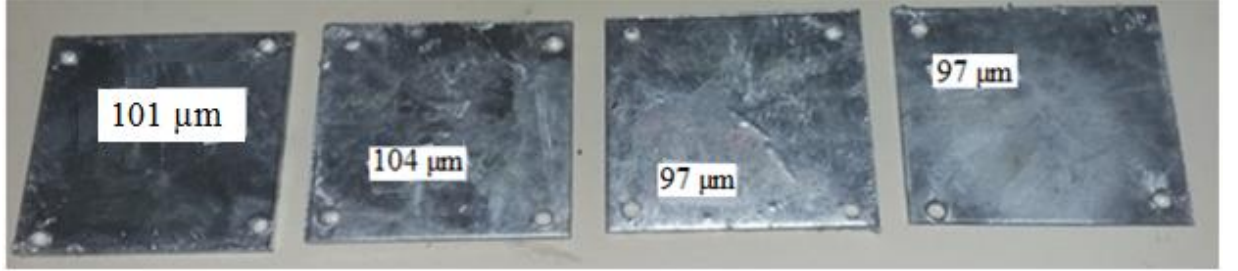
1. grup deneylerde çalışılan parametre, malzemenin daldırma ve çekme açısıdır. Deney sonuçlarının yer aldığı kaplama kalınlığı değerlerinin değişimi Şekil 4.5’de yer alan grafikte gösterilmiştir. Minimum kaplama kalınlığı değeri, daldırma ve çekme açısının 90^0 olduğu dikey konumda yapılan deney sonucunda $94 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonucun standartlardaki değere yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5: Kaplama kalınlığının giriş/çıkış açısı ile değişimi

Yatay daldırmada kaplama kalınlığının fazla çıkmasının sebebi, çinkonun tam olarak sac yüzeyinden akamayıp, akışkanlığını kaybederek sac yüzeyinde çinko kütlesinin dikey konumdan daha fazla birikmesinden dolayı kaynaklanmıştır.

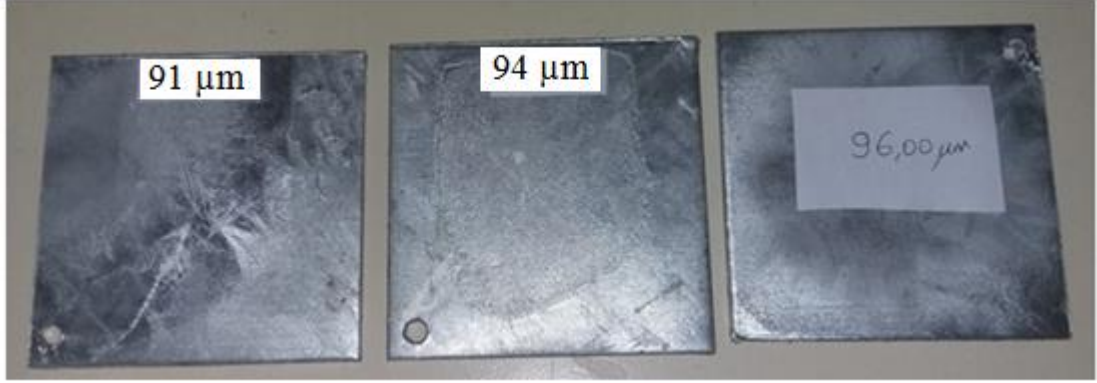
Malzemenin askılama eğiminde, malzeme yüzeye dik asılmışsa çinko yüzeyden hızlı akar, süzülme süresi kısalmır. Bu yüzden kaplanacak parçaya göre daldırma ve çekme açısının seçimi önemlidir.



Şekil 4.6: Çekme/daldırma açısı 180° iken numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünüşleri

Sacların kaplama banyosundan çıkarıldıktan sonraki görüntüsüne bakılarak kaplama kalitesi hakkında, Şekil 4.6'da bazı saclarda çiçeklenme deseni (97 µm kaplama kalınlığındaki saclarda) ve kaplanan sacın kenarlarında çinko yığılması/birikmesi (101 µm, 104 µm kaplama kalınlığındaki saclarda ve 97 µm kaplama kalınlığındaki baştan üçüncü sacda) olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca saclar 180° açıda yatay pozisyonda kaplama banyosuna dalıp çıktığı için parça yüzeyinden çinkonun zayıf akmasından dolayı, kaplanan parçalarda yer yer uç kısımlarında çinko

sarkıtları – kütle birikintileri oluşmuştur. Ayrıca kaplamadan sonra oluşan bu çinko sarkıtlarını temizlemek işletme açısından ek parça temizleme maliyetleri de oluşturmaktadır.



Şekil 4.7: Çekme/daldırma açısı 90° iken numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünüşleri

Şekil 4.7’de ise bazı saclarda ($91 \mu\text{m}$ ve $94 \mu\text{m}$ kaplama kalınlığındaki saclarda görüldüğü gibi) kaplanan sacdaki bölgelerde çinko yığılması / birikmesi olduğu gözlemlenmiştir. Fakat giriş / çıkış açısının 90° olduğu saclarda, 180° olana kıyasla kaplamanın daha homojen olduğu ve kaplamada daha az yüzey hasarı görülmüştür.

4.2 Daldırma ve Çıkarma Hızlarının Kaplama Kalınlığına Etkisi

2. grup deneylerde, numune sacların çinko kaplama banyosuna daldırma ve kaplama banyosundan çekme hızları değişken parametre olarak seçilmiştir. Bu durumun kaplama kalınlığı üzerindeki etkisinin incelendiği deneylerde, kaplamadaki diğer tüm işlem parametreleri sabit kalmıştır. Bu gruptaki deneyler boyunca; numune sac kalınlıkları: 4 mm, çinko kaplama banyosuna daldırma hızı: değişken, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı: değişken, çinko kaplama banyosunda bekleme süresi: 2 dakika, çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 463°C ’dir.

Sacların çinko kaplama banyosuna daldırma hızı 1,17 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı 3,8 m/min yapıldığında kaplama kalınlığının nasıl değiştiği incelenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı

değerleri; 77 µm, 80 µm ve 76 µm olarak ölçülmüştür. Deneyde kullanılan sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 78 µm bulunmuştur.

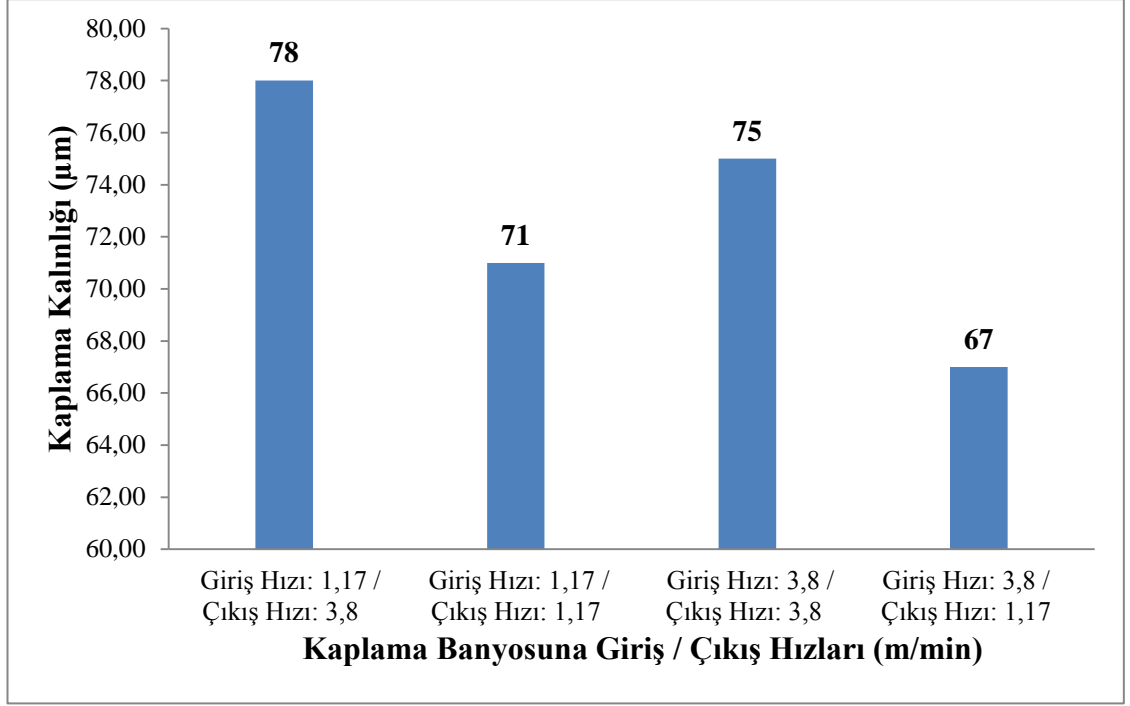
2. grup deneylerden bir diğeri için uygulanan yöntem, sacların çinko kaplama banyosuna daldırma hızı 3,8 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı 1,17 m/min yapıldığında kaplama kalınlığının değişimi incelenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 64 µm, 71 µm ve 66 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 67 µm bulunmuştur.

Sacların çinko kaplama banyosuna daldırma ve çinko kaplama banyosundan çıkarma hızını 3,8 m/min yapıldığında kaplama kalınlığının değişimi incelenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 73 µm, 77 µm ve 76 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 75 µm bulunmuştur.

2. grup deneylerin sonucunda, sacların çinko kaplama banyosuna daldırma ve çinko kaplama banyosundan çıkarma hızları 1,17 m/min yapıldığında kaplama kalınlığının değişimi ele alınmıştır. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 69 µm, 71 µm ve 74 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 71 µm bulunmuştur.

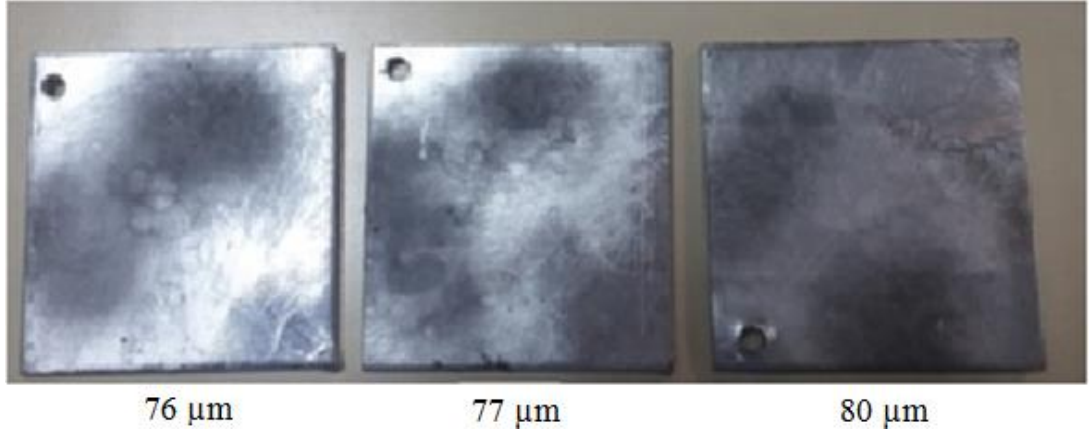
2. grup deney sonuçlarının yer aldığı kaplama kalınlığı değerlerinin değişimi Şekil 4.8'de yer alan grafikte gösterilmiştir. Minimum kaplama kalınlığı değeri galvanizleme ocağına daldırma hızının 3,8 m/min, galvanizleme ocağından çıkarma hızının 1,17 m/min yapıldığı deneyde 67 µm olarak bulunmuştur.

Galvanizleme banyosuna, düşük hızda malzeme daldırıldığında etrafa, galvanizleme ocağı dışarısına alev sıçraması ve küçük çapta patlamalar olmuştur. Hızlı daldırıldığında böyle bir sorun meydana gelmemiştir. Düşük hızda galvanizleme ocağına daldırıldığında, çelik sac ile çinko banyosunun tepkimeye girmesi çinko havuzuna malzemenin değdiği andan itibaren başladığı için patlamalar çelik sacın kaplama havuzunun içerisine tam girmeden başlamıştır.



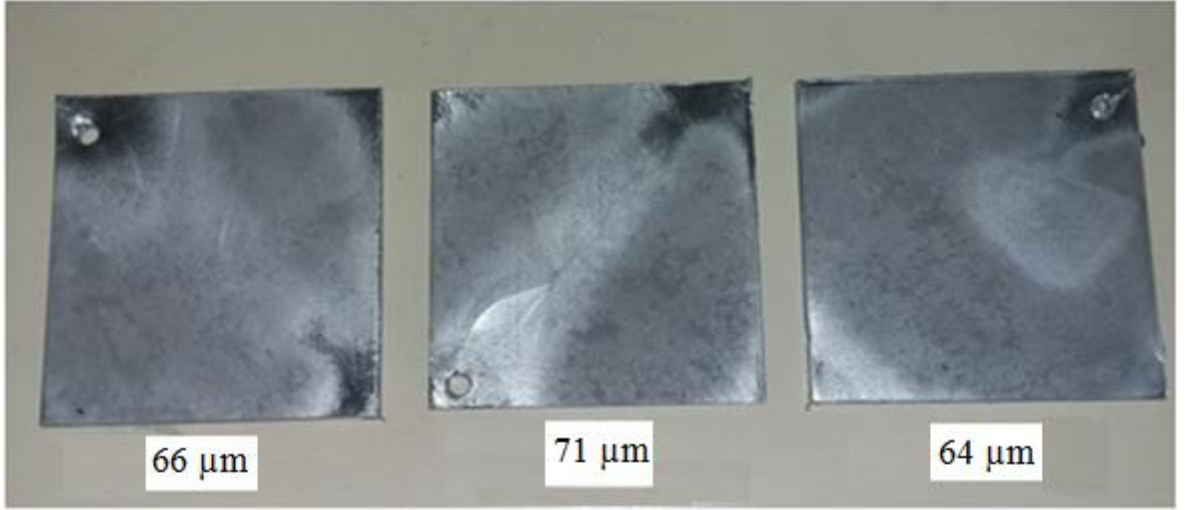
Şekil 4.8: Kaplama kalınlığının giriş/çıkış hızları ile değişimi

Galvaniz kaplama yapıldıktan sonraki sacların görüntüleri kaplama kalınlığı değerleri ile birlikte aşağıda yer almaktadır.



Şekil 4.9: Giriş hızı: 1,17 m/min-çıkış hızı: 3,8 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görüntüleri

Sacların galvaniz kaplama yapıldıktan sonraki görüntülerine bakılarak kaplama kalitesi hakkında Şekil 4.9'da bazı saclarda (76 µm ve 77 µm olan saclarda görüldüğü gibi) çiçeklenme deseni oluştuğu gözlemlenmiştir.



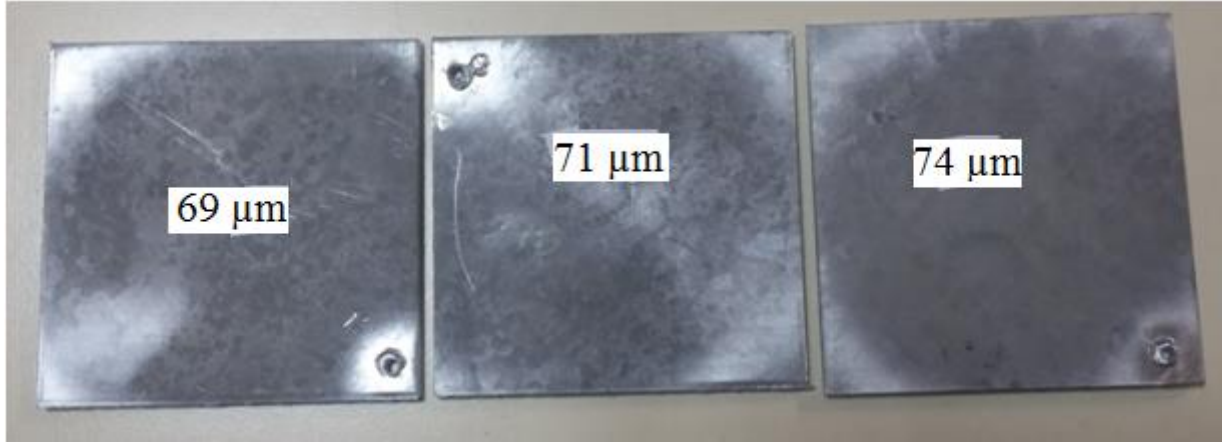
Şekil 4.10: Giriş hızı: 3,8 m/min-çıkış hızı: 1,17 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri

Şekil 4.10'da kaplama daha homojen (üniform) yapıda görülmüştür. İstenilen durum olan bu görüntüden, kaplama banyosuna giriş hızının yüksek, çıkış hızının ise düşük olması sonucu çinko süzülme hızını artırdığı için yüzeyde çinko katmanı donmayıp kütle yığılmasının olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.11: Giriş hızı: 3,8 m/min-çıkış hızı: 3,8 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi kaplanan sacların uç bölgelerine doğru çinko yığılması / birikintisi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12: Giriş hızı:1,17 m/min-çıkış hızı: 1,17 m/min yapıldığında numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünümleri

Şekil 4.12’de 71 µm olan (ortada verilen) sacda görüldüğü gibi çiçeklenme deseni oluştuğu gözlemlenmiştir.

4.3 Yüzey Temizleme Kimyasallarının Kaplama Kalınlığına Etkisi

3. grup deneylerde, sacların yüzeylerinin kimyasal temizliği açısından asit-flux işlemlerinden geçirilip ve geçirilmeden direkt çinko kaplama banyosuna daldırılmasının kaplama sonrası özellikleri araştırılmıştır. Bu durumun kaplama kalınlığı üzerindeki etkisinin incelendiği deneylerde, kaplamadaki diğer tüm işlem parametreleri sabit kalmıştır. Bu gruptaki deneyler boyunca; numune sac kalınlıkları: 4 mm, çinko kaplama banyosuna daldırma hızı: 1,17 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı: 1,17 m/min, çinko kaplama banyosunda bekletme süresi: 2 dakika, çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 463 °C’dir.

Bu grupta öncelikle asit ve flux havuzlarına daldırılarak çinko banyosunda kaplanan sac grupları için kaplama kalınlığının değişimi gözlemlenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 60 µm, 75 µm ve 65 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 67 µm bulunmuştur.

Asit ve flux havuzlarına daldırılmadan çinko banyosunda kaplanan sac grupları için kaplama kalınlığının nasıl değiştiği incelenmiştir. Kaplanan numune

sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 11 µm, 16 µm ve 27 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 18 µm bulunmuştur.

Aslında asit ve flux havuzlarına daldırılmadığı için normal koşullarda gerçekleştirilen kaplama gerçekleşmemiştir. Oluşan bu kaplama kalınlığı ise galvaniz tabakasının değil, oksit tabakasının kalınlığıdır.

3. grup deneylerden bir diğeri için uygulanan yöntemde, asit havuzuna daldırılıp, flux havuzuna daldırılmadan çinko banyosunda kaplanan saclarda kaplama kalınlığının nasıl değiştiiği ve asit çözeltisinin kaplamadaki etkisi incelenmiştir.

Çelik malzemeler yüzeyindeki tufal, pas gibi yabancı maddelerden arındırmak üzere asit havuzundan geçirilmiştir. Asit havuzunda malzemeler, ortam sıcaklığındaki %60 oranındaki HCl çözeltisinde parça başına 15 dakika boyunca bekletilmiştir. Seyreltik hidroklorik asit çözeltisi (HCl), çelik yüzeyinden demir tozlarını ve demir oksiti (pas) kaldırmıştır.

Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 68 µm, 62 µm ve 89 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 73 µm bulunmuştur.

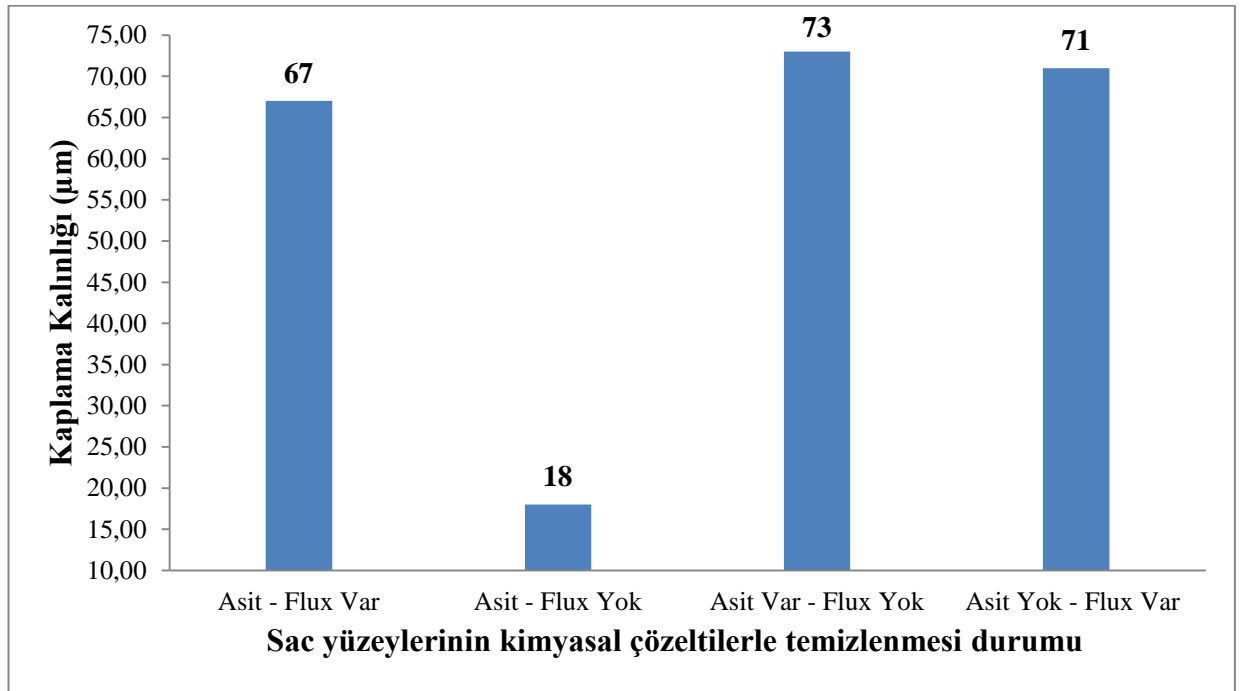
3. grup deneylerin sonucunda ise, asit havuzuna daldırılmadan, flux havuzuna daldırılarak çinko banyosunda kaplanan saclar için kaplama kalınlığının nasıl değiştiiği, flux çözeltisinin kaplamadaki etkisi araştırılmıştır.

Deneylerin yapıldığı flux havuzunda kullanılan, çinko amonyum klorür çözeltisi flux olarak adlandırılır. Kimyasal çözelti, yüzeyi arta kalan kirlerden temizlemiştir. Ayrıca flux çözeltisi, asitten sonra gözenekleri açılan çelik malzeme yüzeyine çinko kaplamanın yapışmasını artırmıştır. Çinko amonyum klorür çözeltisi yüzey üzerinde oluşan oksitleri önlemek ve çinkonun çelikle daha iyi metalurjik bağ kurması için ince bir film tabakası oluşturmada önemli bir aşama olduğu gözlemlenmiştir. Malzemeler ortam sıcaklığındaki flux çözeltisine parça başına 1 dakika daldırılıp çıkarılmıştır.

Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 37 μm , 84 μm ve 91 μm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 71 μm bulunmuştur.

3. grup deneylerden elde edilen verilere göre, kaplama kalınlığı değişimi Şekil 4.13’de çizilen grafikte verilmiştir. Optimum kaplama kalınlığı değeri galvanizleme ocağına daldırma yapılmadan önce asit ve flux havuzlarına daldırmanın yapıldığı deneyde 67 μm olarak ölçülmüştür.

3. grup deneylerin birisinde, asit ve flux havuzlarına daldırılmayınca çinko kaplaması tam anlamıyla gerçekleştirilmemiştir. Kimyasal temizleme işlemi yapılmadan çinko havuzuna parçalar atılmış, çinko malzeme yüzeyine yapışmamış ve dolayısıyla da malzeme üzerinde kaplama tabakası oluşmamıştır. Gerçek kaplama kalınlığı değeri 0 μm ’dir. Kaplama kalınlığı ölçme cihazının ölçtüğü 18 μm değeri ise galvaniz tabakasının değil, sacın üzerinde oluşan oksit tabakasından kaynaklanmıştır. Bu kalınlık değeri, siyah sacdaki oksit tabakasının kalınlık değeridir. Asit ve flux havuzlarına daldırma yapılmayınca çinko sac yüzeyini tutmamıştır.



Şekil 4.13: Kaplama kalınlığının yüzey temizleme kimyasallarının kullanımı ile değişimi

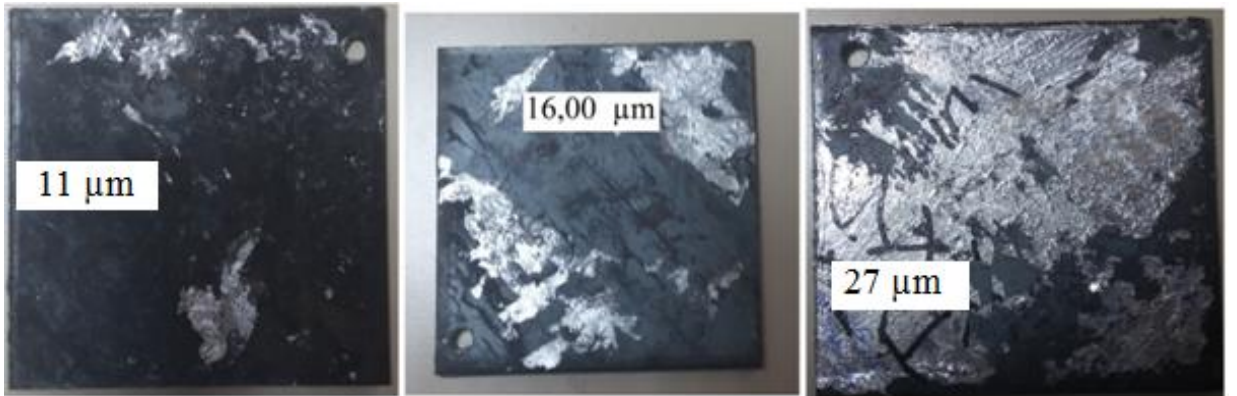
Deneylerin yapıldığı işletmede yağ alma havuzu bulunmayıp, su ile durulama havuzu bulunmaktadır. Asit havuzu, sac yüzeyini temizleyip (derinden temizlik yaparak) sacın gözeneklerinin açılmasını sağlamıştır. Flux havuzu ise, metaldeki temizlenen açılan gözeneklere çinkonun daha iyi nüfuz etmesini, çinkonun yüzeyde kalmasını sağladığı gözlemlenmiştir.

Galvaniz kaplama yapıldıktan sonraki görüntülerine bakılarak kaplama kalitesi hakkında aşağıdaki yorumlar yapılmıştır.



Şekil 4.14: Asit–flux banyolarına daldırılarak galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri

Şekil 4.14’deki kaplamaların daha homojen ve düzgün görünümlü olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.15: Asit–flux banyolarına daldırılmadan galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri

Yüzey temizliği tam yapılmadığından, Şekil 4.15’deki sac görüntülerinden de anlaşılacağı üzere sacın yüzeyi asit havuzuna daldırılmadığı için sacın gözenekleri derinlemesine açılmamış ve flux havuzuna daldırılmadığı için de galvaniz banyosundaki çinko ve diğer alaşım elementleri sac yüzeyine yapışmadığından

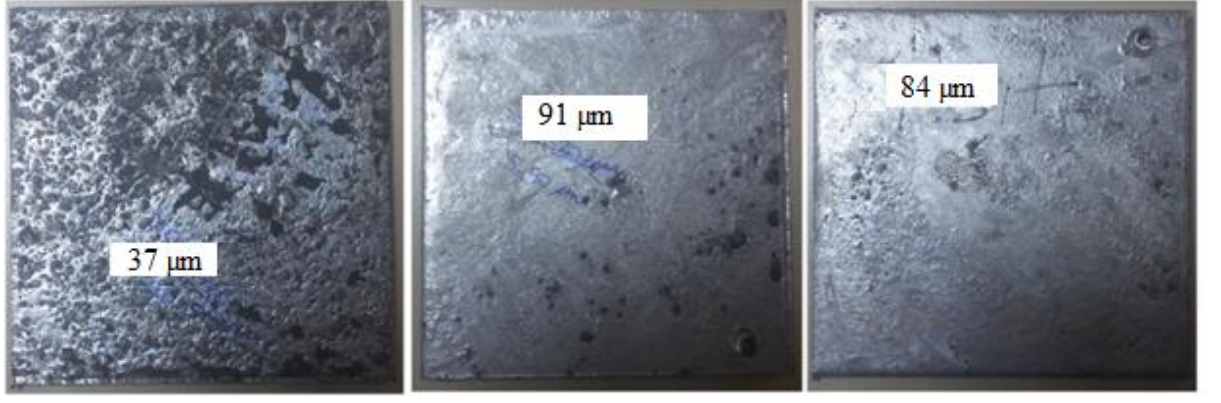
galvaniz kaplama işlemi gerçekleşmemiştir. Teorikte bilinen bu durumun yapılan deney ile uygulamada gerçekleşmeyeceği kanıtlanmıştır. Sac görüntülerinde belli belirsiz çinko tabakaları dökülür vaziyette sac yüzeylerinde yer almaktadır. Ayrıca saclarda çinko kaplamanın tutmadığı gözlemlenmiştir

Sac yüzeylerinin kimyasal temizleme işlemi eksik yapıldığında, sacın bütün yüzeylerinin kaplanmadığı, asgari düzeyde kaplandığı görülmüştür. Daldırılacak parçaların kimyasal içerikli asit – flux çözeltileri ile temizleyerek galvaniz kaplamanın, kaplama kalitesine ciddi oranda etkisinin olduğu bu deney neticesinde elde edilmiştir.



Şekil 4.16: Asit ile temizlenip flux havuzuna daldırılmadan galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri

Şekil 4.16’da kaplama sonrası görünümüleri verilen saclardan özellikle kaplama kalınlığı değeri yükseldikçe kaplama kalınlığı değeri 89 µm olan görünümdeki gibi (ilk verilen sac) flux uygulanmadığından parça yüzeyinde kalan demir iyonlarının çinko banyosuna girmesi sonucu kaplanan sacdaki bölgelerde çinko yığılması / birikmesi olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17: Flux çözeltisi ile temizlenip asit havuzuna daldırılmadan galvaniz kaplanan numune sacların görüntüleri

Şekil 4.17’de, 37 µm olan sacda görüldüğü gibi pullanma şeklinde kaplamada pul pul dökülmenin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yüzey temizleme işlemi eksik yapıldığından dolayı oluşan kaplama tabakasında çinko yüzeye tam olarak yapışmamış ve kaplama yüzeyi tutmamıştır. Sonuç olarak pürüzlü kaplama oluşmuş ve kaplama pul pul dökülüp kalkmıştır.

Aside daldırmayınca yüzeyde Şekil 4.17’deki ilk sacda olduğu gibi kaplanmamış bölgeler oluşmuştur. Yüzeydeki deformasyon hatasından dolayı yüzeyde ölçülen kaplama kalınlığı değerlerinde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Yüzeyde herhangi bir yerde kaplama kalınlığı 15 µm iken diğer bir noktada ise 82 µm’dir.

4.4 Sacların Islak – Kuru Daldırılmasının Kaplama Kalınlığına Etkisi

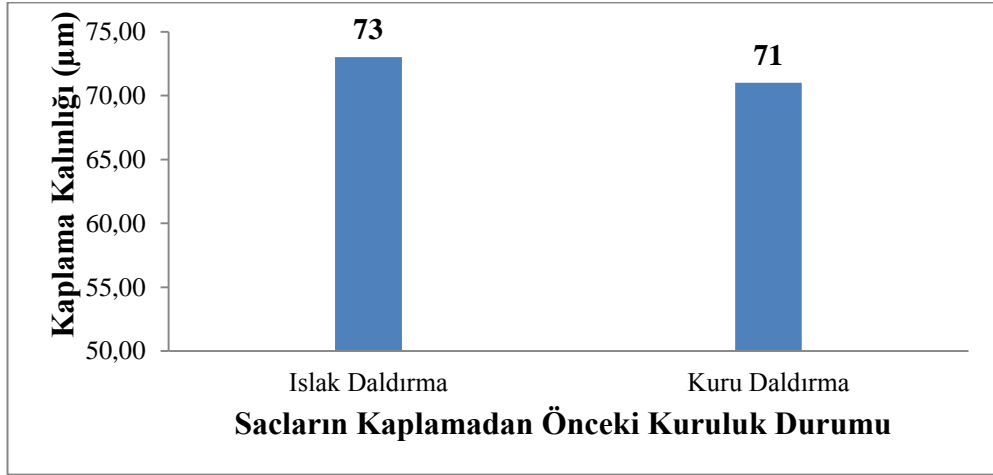
Asit-flux havuzlarından çıkarılan sacların kurutulma koşullarına göre çinko banyosuna daldırılmasının kaplamadaki etkisinin araştırıldığı 4. grup deneylerde, kaplamadaki diğer tüm işlem parametreleri sabit kalmıştır. Bu gruptaki deneyler boyunca; numune sac kalınlıkları: 4 mm, çinko kaplama banyosuna daldırma hızı: 3,8 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı: 1,17 m/min, çinko kaplama banyosunda bekletme süresi: 1,5 dakika, çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 468 °C’dir.

4. grup deneylerin ilkinde, çinko banyosuna ıslak olarak (asit, su ve flux havuzlarından çıkar çıkmaz yani kurutulmadan) daldırılan numune sacların kaplama

kalınlığı değerleri gözlemlenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 77 µm, 71 µm ve 72 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 73 µm bulunmuştur.

4. grup deneylerin sonucunda ise, çinko banyosuna kuru olarak (asit, su ve flux havuzlarından çıkardıktan sonra 15 dakika doğal yollarla hava ile kurutarak) daldırılan numune sacların kaplama kalınlığı değerleri incelenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 75 µm, 70 µm ve 68 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 71 µm bulunmuştur.

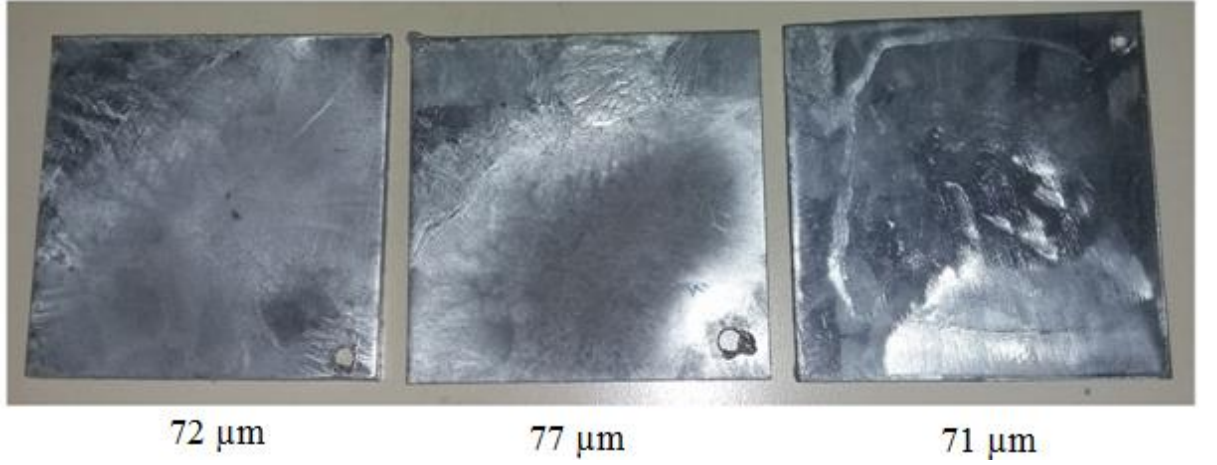
4. grup deneylerden elde edilen verilere göre, kaplama kalınlığının değişimi Şekil 4.18’de yer alan grafikte gösterilmiştir. 71 µm olarak ölçülen minimum kaplama kalınlığı değerinin, galvanizleme ocağına daldırılan sacların doğal koşullarda asit, su ve flux havuzlarından çıktıktan sonra kurutulduğu deneyde yapıldığı sonucuna varılmıştır. Standartta istenilen değere, deney sonucunda ulaşılmıştır.



Şekil 4.18: Kaplama kalınlığının sacların daldırılmadan önce kurutulma koşullarına göre değişimi

Islak galvaniz daldırmada; asit, su ve flux havuzları ile nişadırdan sonra hiç zaman kaybetmeden çinko kaplama banyosuna daldırma yapılırken, kuru galvaniz daldırmada ise asit, su ve flux havuzları ile nişadırdan sonra sac numunelerini 15 dakika kuruttuktan sonra çinko kaplama banyosuna daldırma yapılmıştır. Islak galvaniz daldırmada, numune saclar nemli olduğundan çinko banyosuna daldırılması sırasında banyo etrafına çinko sıçramaları olduğu gözlenmiştir. Sacların galvaniz

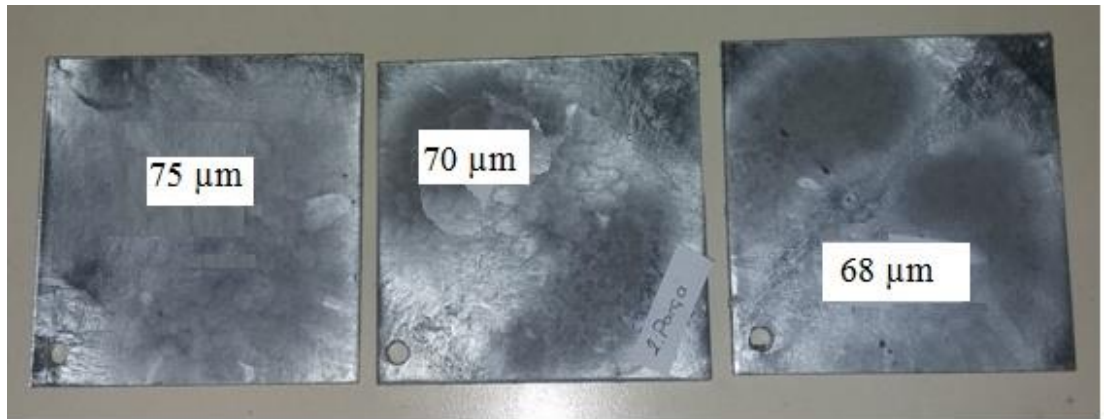
kaplama yapıldıktan sonraki görüntülerine bakılarak kaplama kalitesi hakkında yorumlar yapılmıştır.



Şekil 4.19: Islak halde daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görüntüleri

Şekil 4.19’da kaplama kalınlığı 71 µm olan sacda özellikle orta bölgelerde çinko kalıntıları, kabartılar halinde gözlemlenmiştir.

Saclar asit, su ve flux havuzlarından çıkarıldıktan sonra yeterince kurutulmadığı için, flux havuzunda demir iyonları sayısı arttığından dolayı, Şekil 4.19’da görüldüğü gibi yüzeyde çeşitli lekelenmeler (flux lekeleri) oluşmuştur.



Şekil 4.20: Kurutularak daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görüntüleri

Şekil 4.20’de kaplama kalınlığı 70 µm olan sacın orta kısmında çiçeklenme deseni çok az görünse de Şekil 4.19’da yer alan ıslak daldırmaya kıyasla çinko birikintilerinin olmadığı, homojen dağıldığı kaplamalar ortaya çıkmıştır.

4.5 Çinko Kaplama Banyosunda Bekletme Süresinin Kaplama Kalınlığına Etkisi

5. grup deneylerde, çinko banyosuna daldırılarak galvaniz kaplama ocağında 1, 2, 2,5, 3, 3,5, 4 dakika bekletilen numune sacların daldırma süresi ile kaplama kalınlığı ilişkisi gözlemlenmiştir.

Kaplama banyosunda bekletme süresi arttıkça kaplama kalınlığının değişiminin incelendiği bu gruptaki deneylerde, kaplamadaki diğer tüm işlem parametreleri sabit kalmıştır. Deneyler süresince; numune sac kalınlıkları: 4 mm, çinko kaplama banyosuna daldırma hızı: 1,17 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı: 1,17 m/min, çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 461 °C, çinko kaplama banyosunda bekletme süresi ise değişkendir.

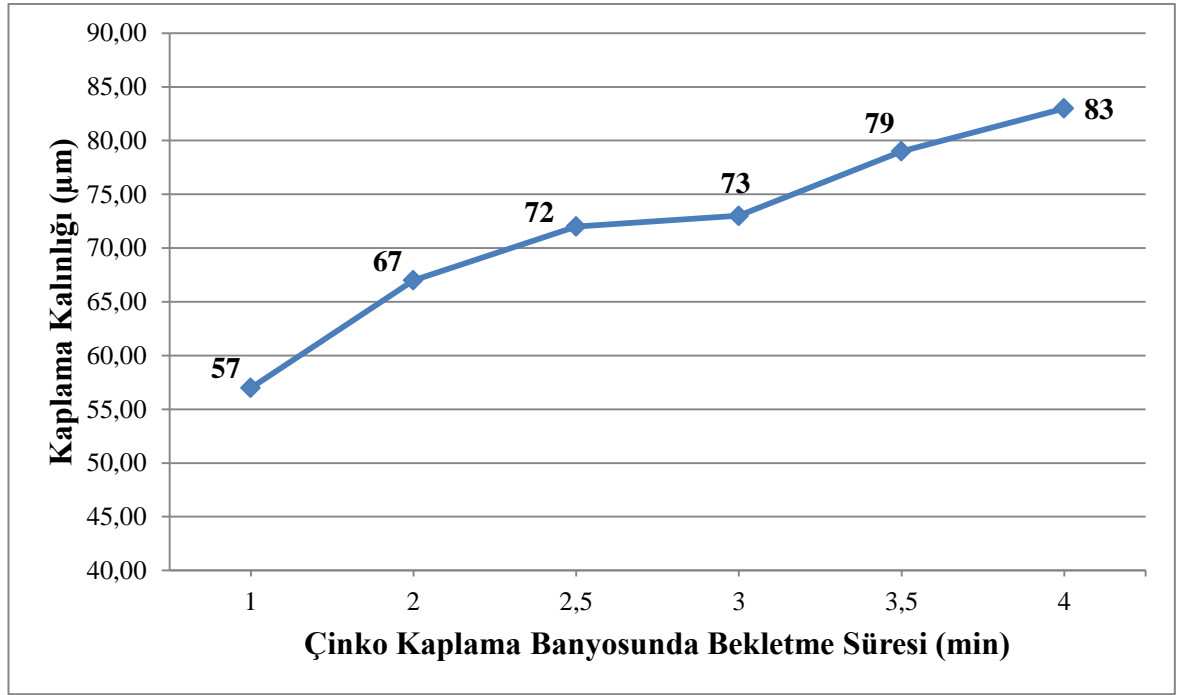
Tablo 4.1’de deneylerden elde edilen ortalama kaplama kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 4.1: Çinko kaplama kalınlığının bekletme süresi ile değişimi

Çinko Kaplama Banyosunda Bekletilme Süresi (min)	Çinko Kaplama Kalınlığı (µm)
1	57
2	67
2,5	72
3	73
3,5	79
4	83

5. grup deneylerden elde edilen verilere göre, kaplama kalınlığı değişimi Şekil 4.21’de çizilen grafikte gösterilmiştir. 57 µm olarak ölçülen minimum kaplama kalınlığı değerinin, çinko kaplama banyosunda sacın 1 dakika bekletildiği deneyde yapıldığı sonucuna varılmıştır. Daldırılan sacların galvanizleme ocağında bekletilme (daldırılma) süresi kısaldıkça kaplama kalınlığı değerinin de azaldığı

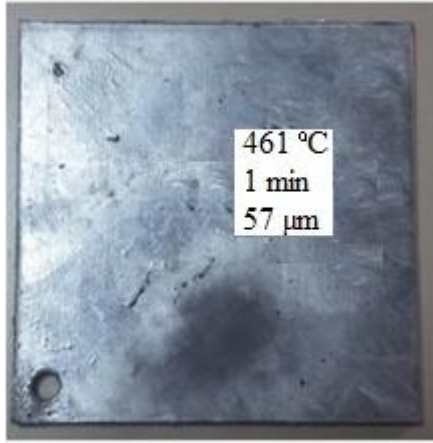
gözlemlenmiştir. O halde, galvanizleme ocağında bekletme -daldırma- süresi ile kaplama kalınlığı doğru orantılıdır.



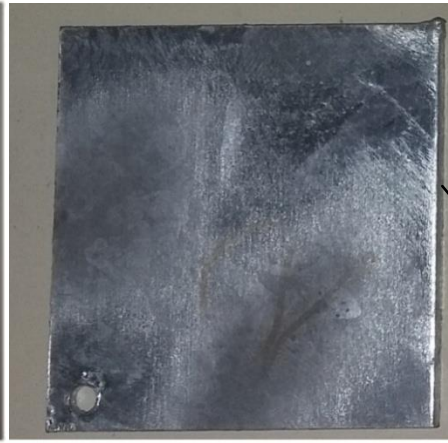
Şekil 4.21: Kaplama kalınlığının süre ile değişimi

Deneysel çalışmalarda, asit, su ve flux havuzlarından sonra havuzlardaki kimyasal maddelerin saflık oranlarına, temizlenme sıklıklarına göre bazı saclarda siyah lekelenmeler görülmüştür. Çinko havuzunda kaplama sonrası sac görünümlerinde yer yer çiçek desenleri olduğu görülürken, dalım yaptıkça ara ara havuz yüzeyi cüruf artıklarından temizlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Aksi takdirde daldırma esnasında sac yüzeylerinde galvaniz tabakası ile beraber cüruf kalıntıları karışarak kaplama kalitesini düşürme etkisi yaptığı gözlemlenmiştir.

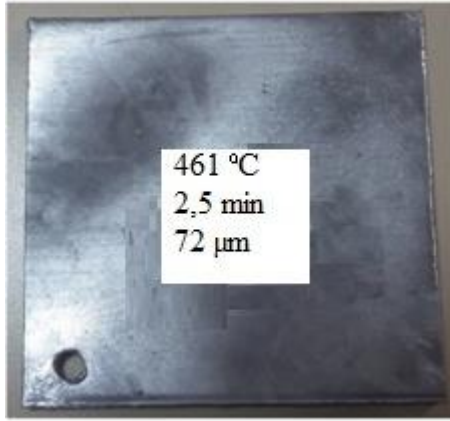
Şekil 4.22’de sacların galvaniz kaplama yapıldıktan sonraki görüntülerine bakılarak, kaplama kalitesi hakkında özellikle süre arttıkça kaplanan sac yüzeylerinde sorunlara rastlandığı sonucu çıkarılmıştır. Havuzda 3,5 dakika bekletilen sacın ortasında çinko yığılması/birikmesi ile çiçeklenme deseni ve 4 dakika bekletilen sacın kenarlarında çinko yığılması/birikmesi olduğu gözlemlenmiştir.



(a)



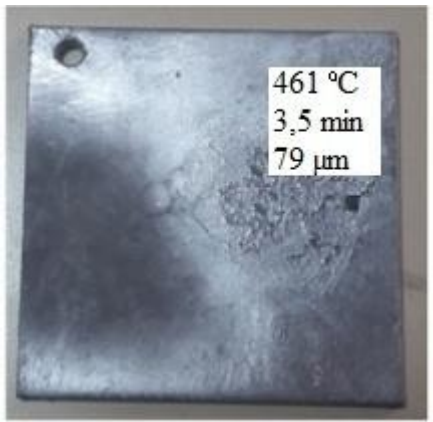
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.22: Çinko kaplama banyosunda farklı sürelerde bekletilen numune saclarının galvaniz kaplama sonrası görünümleri

4.6 Çelik Sac Numunelerinin Üzerindeki Yüzey Pürüzlülüğünün Mekaniksel İşlemlerle Değiştirilmesinin Kaplama Kalınlığına Etkisi

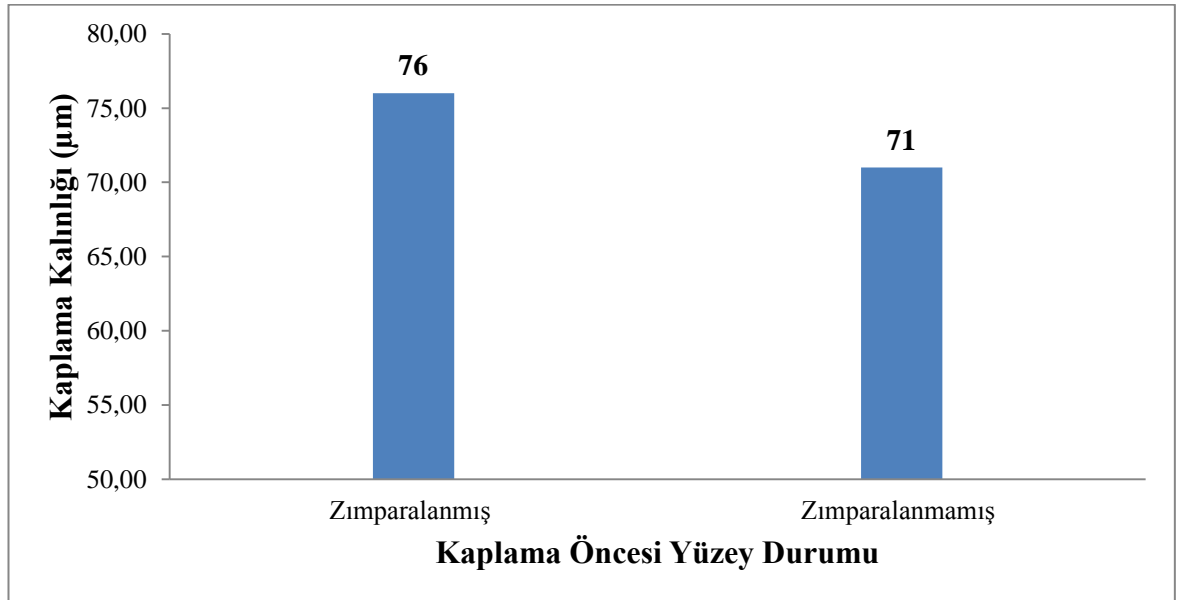
Kaplama banyosuna daldırılan parçalarda yüzey pürüzlülüğünün değişiminin incelendiği 6. grup deneylerde, kaplamadaki diğer tüm işlem parametreleri sabit kalmıştır. Bu gruptaki deneyler boyunca; numune sac kalınlıkları: 4 mm, çinko kaplama banyosuna daldırma hızı: 3,8 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı: 1,17 m/min, çinko kaplama banyosunda bekletme süresi: 2 dakika, çinko kaplama banyosu sıcaklığı: 468 °C'dir.

6. grup deneylerin ilkinde, 4 mm kalınlığındaki çelik numune saclar, 115 x 22,23 mm karbosan flap disk ile parça başına yaklaşık olarak 5 dakika zımparalanarak asit havuzuna daldırılmış ve sırasıyla diğer işlemlerden sonra galvanizleme ocağına daldırıldığında kaplama kalınlığı değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 83 µm, 72 µm ve 72 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 76 µm bulunmuştur.

6. grup deneylerin sonuncusunda, 4 mm kalınlığındaki çelik numune saclar karbosan flap disk ile zımparalanmadan asit havuzuna daldırılmış ve sırasıyla diğer işlemlerden geçirildikten sonra galvanizleme ocağına daldırıldığında oluşan kaplamada, kaplama kalınlığı değerleri ve görünümleri incelenmiştir. Kaplanan numune sacların ortalama kaplama kalınlığı değerleri; 61 µm, 88 µm, 67 µm ve 69 µm olarak ölçülmüştür. Sac grubunun ortalama kaplama kalınlığı değeri 71 µm bulunmuştur.

6. grup deneylerden elde edilen verilere göre, kaplama kalınlığı değişimi Şekil 4.23'de yer alan grafikte gösterilmiştir. 71 µm olarak ölçülen minimum kaplama kalınlığı değeri, sac yüzeylerinin zımparalanmadığı deneyden elde edildiği sonucuna varılmıştır. Standartta verilen değer elde edilmiştir. Çelik sac yüzeyindeki pürüzlülüğü karbosan kesici flap disk ile gidermenin, kaplama kalınlığını düşürmek yerine daha da artırdığı üzerindeki sacı çizme etkisi oluşturup sacın arasında kalan gözeneklere çinko banyosuna dalımı esnasında daha çok çinko birikintisi kaldığı bunun da galvaniz kaplama kalınlığını artırdığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak; sac yüzeyi flap disk ile zımparalanınca, sac yüzeyi daha çok çizilmiş, bozulmuş ve yüzey pürüzlülüğü artırılmıştır. Yüzey bozulduğunda yüzeydeki bozulmuş alanlara kaplama esnasında çinko biraz daha fazla dolup biriktiği için, sac yüzeyinin galvaniz kaplama banyosundan çinkoyu biraz daha fazla çektiği gözlemlenmiştir. Zımpara işleminden geçirilen saclarda, galvanizleme ocağından alınan çinko miktarı fazla olduğundan dolayı zımparalanmayan saclara göre çinko kaplama kalınlığı daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak, karbosan flap disk ile kaynaklı parçalarda; asit, su ve flux havuzlarından ve çinko banyosuna daldırmadan önce kaynak cürufplarının temizlenmesi gerektiği deneylerin yapıldığı işletmede gözlemlenmiştir.



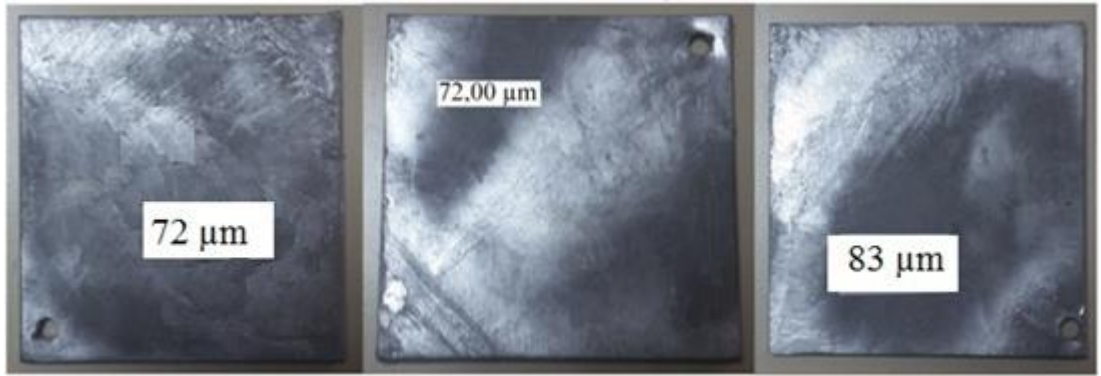
Şekil 4.23: Kaplama kalınlığının yüzey pürüzlülüğü ile değişimi

TS 914 EN ISO 1461 / Kasım 2001 Demir ve Çelikten Yapılmış Malzemeler Üzerine Sıcak Daldırmalı Galvaniz Kaplamalar – Özellikler ve Deney Metotları’nda “Kaplanacak malzemelerin sıcak daldırmalı galvanizleme sonuçlarının etkileyen özellikleri” EK C (Bilgi için) bölümünde Madde C.1.2’de Yüzey durumu ve Madde C.1.3’de Çelik yüzeyi üzerindeki pürüzlülüğünün kaplama kalınlığı üzerindeki etkisi kısımlarında aşağıda yer aldığı şekilde deneyden sonra varılan sonucu desteklemiştir.

Madde C.1.2’de Yüzey durumu: Asitle temizleme ile yok edilemeyen yüzey kirleri örneğin karbon filmleri (hadde yağı artıkları gibi), yağ, gres, boya, kaynak cürufu ve benzeri safsızlıklar asitle temizleme öncesi ortadan kaldırılmalıdır.

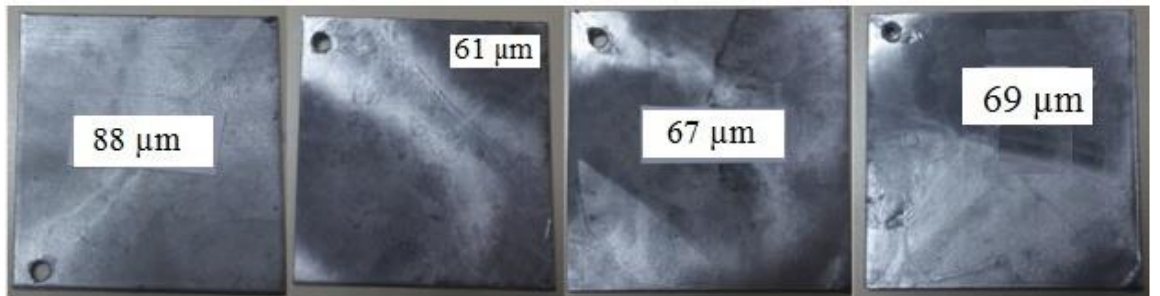
Dökümler mümkün olduğunca yüzey gözeneklerinden ve çekme oyuklarından arındırılmalı ve parçacık püskürtme elektrolitik asit temizleme veya dökümler için uygun başka yöntemlerle temizlenmelidir (TS 914 EN ISO 1461 / Kasım 2001).

Madde C.1.3'de Çelik yüzeyi üzerindeki pürüzlülüğünün kaplama kalınlığı üzerindeki etkisi: Parçacık püskürtme, kalın taşlama gibi kimyasal temizleme öncesi yapılan işlemlerle elde edilen bir pürüzlü çelik yüzey sadece asitle temizleme ile elde edilen bir yüzeyden daha kalın bir kaplama sağlar (TS 914 EN ISO 1461 / Kasım 2001).



Şekil 4.24: Yüzeyi zımparalanarak daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görüntüleri

Şekil 4.24'de sacların galvaniz kaplama yapıldıktan sonraki görüntülerine bakılarak sacların uç kısımlarında dalgalanmalar ve lekelenmeler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.25: Yüzeyi zımparalanmadan daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görüntüleri

Şekil 4.25'de sacların galvaniz kaplama yapıldıktan sonraki görüntülerine bakılarak kaplamada çinkonun homojen dağıldığı görülmüştür.

4.7 Çinko Kaplama Banyosu Sıcaklığının Kaplama Kalınlığına Etkisi

7. grup deneylerde, çinko banyosuna daldırılarak galvaniz kaplama ocağında farklı sıcaklıklarda bekletilen numune sacların kaplama kalınlığı değişimleri incelenmiştir. Kaplama banyosunun sıcaklık değerleri; 460 °C, 465 °C ve 470 °C olarak belirlenerek kaplamadaki diğer tüm parametreler sabit kalmıştır. Ayrıca deneyler boyunca; numune sac kalınlıkları: 4 mm, çinko kaplama banyosuna daldırma hızı: 3,8 m/min, çinko kaplama banyosundan çıkarma hızı: 3,8 m/min, çinko kaplama banyosunda bekletme süresi: 1,5 dakika, çinko kaplama banyosu sıcaklığı ise değişkendir.

Deneylerin yapıldığı işletmede; galvaniz ocağındaki ısı rezistansları değiştirilemediğinden, üretilen yüzeyleri soğuk olan çöp konteynerleri çinko banyosuna daldırılıp – çıkartıldıkça sıcak olan banyoda ısı alışverişinden dolayı sıcaklığı düşürdüğü için termometre ile çinko banyosunun sıcaklığı ölçülüp kontrol edilerek gün içerisinde periyodik tekrarlar şeklinde numune saclar, farklı kaplama banyosu sıcaklık değerlerini yakalayıp daldırılmıştır.

Deneylerden ölçülen ortalama kaplama kalınlığı değerleri Tablo 4.2’de yer almaktadır.

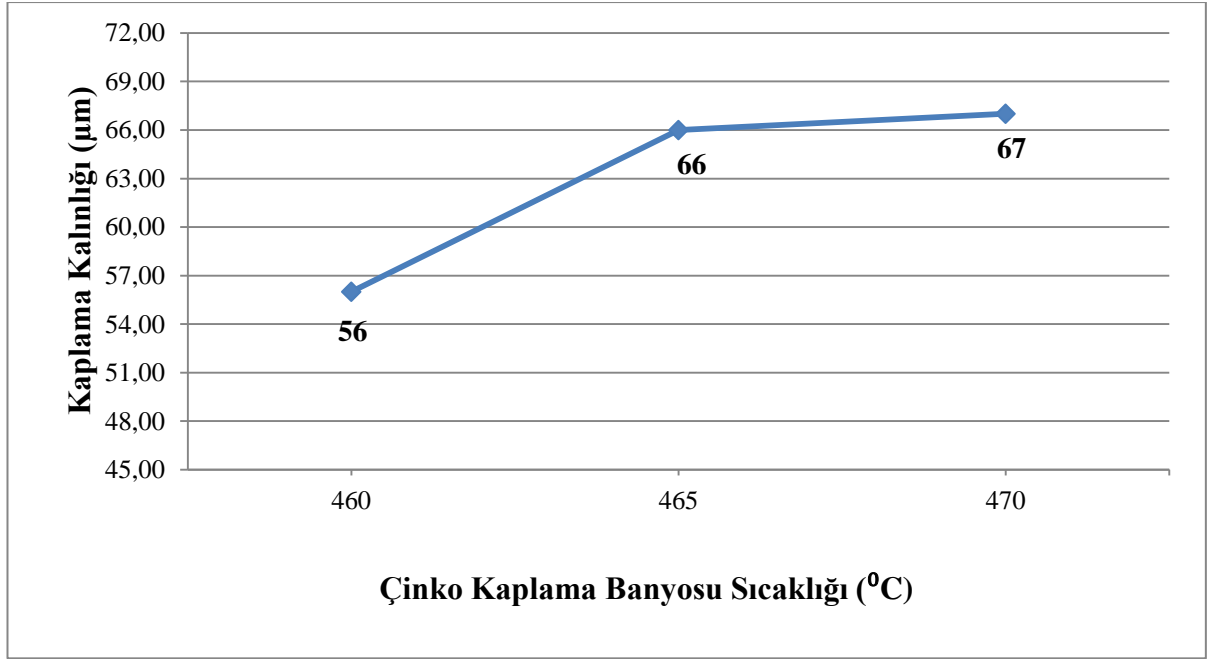
Tablo 4.2: Çinko kaplama kalınlığının kaplama banyosu sıcaklığı ile değişimi

Çinko Kaplama Banyosu Sıcaklığı (°C)	Çinko Kaplama Kalınlığı (µm)
460	56
465	66
470	67

7. grup deneylerden elde edilen verilere göre, kaplama kalınlığı değişimi Şekil 4.26’da çizilen grafikte gösterilmiştir. Minimum kaplama kalınlığı değeri 56 µm olarak, çinko kaplama banyosunun sıcaklığının 460 °C olduğu deneyde elde edilmiştir.

Yapılan deney sonuçlarına dayanarak 490 °C’ye kadar sıcaklık ile kaplama kalınlığı ilişkisini; sıcaklık arttıkça, reaksiyon (tepkime) hızı artar, demir kaybı artar,

Çinko kaplaması ve dolayısıyla da kaplama kalınlığı artar şeklinde değerlendirilmiştir. Dr. İlhami Pektaş, kaleme aldığı ‘‘Galvaniz Hataları ve özüm Önerileri’’ adlı kitabında sıcaklığı şu şekilde ifade etmiştir: ‘‘Kaplama kalınlığı sıcaklıkla birlikte (490 °C’ye kadar) artar, bu noktadan sonra  fazının yokluğuna bağlı olarak azalır. Bununla birlikte reaksiyon hızının sıcaklıkla arttığının bir göstergesi olarak demir kaybı artmaya devam eder’’ (Pektaş 2018). Bu tespit deney sonucunu desteklemiştir.



şekil 4.26: Kaplama kalınlığının sıcaklık ile değişimi

Kaplamanın elik yüzeyine yapışma mukavemeti filmde oluşan intermetaliklerin özelliklerine bağlıdır. Fe-Zn arasında gerçekleşen reaksiyon kinetiği 420-480 °C’de aralığında parabolik, 480-530 °C aralığında lineer olarak ilerler. Temel olarak galvanizleme işleminde banyo sıcaklığı 450 °C civarında tutulur. Bu sıcaklıklarda intermetalik katmanın büyüme hızına bağlı olarak film kalınlığının parabolik büyüdüğü kabul edilir (Karahana 2016a).

şekil 4.27’de sacların galvaniz kaplama yapıldıktan sonraki görüntülerine bakılarak kaplamada 460 °C’de kaplama görüntüsünün diğerlerine kıyasla daha düzenli yapıda olduğu görülmüştür. Diğer sıcaklıklarda ise sacların uç kısımlarında yer yer çinko kabartısı şeklinde birikintiler ve lekelenmeler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.27: Farklı galvanizleme ocağı sıcaklıklarında daldırılan numune sacların galvaniz kaplama sonrası görünüşleri

Deneyler sırasında kaplama öncesi ve sonrası sac görünüşlerinden yola çıkarak 470 °C'nin altında gerçekleştirilen kaplamalardaki sac üzerindeki siyahlanmanın sacın kimyasal bileşimindeki silisyum oranına (silisli sac) bağlı olduğu, 470 °C'nin üzerinde gerçekleştirilen kaplamalarda ise sacın ocak içerisinde yanmasına bağlı olarak sac üzerinde siyahlanma görülebileceği sonucuna varılmıştır.

Galvanizlemede kaplama kalınlığının düşük çıkması için parçadan aşırı çinko akması gerektiği ve parça yüzeyinden çinko akması ise deneylerde incelediğimiz parametreler gibi kaplama banyosu sıcaklığını belirleme, çekme hızını ayarlama, dikey konumda 90° çekme açısı (askılama açısının parçaya uygun şekilde değiştirilmesi) ile kaplama banyosuna daldırma şeklinde gerçekleştirildiği deneylerin sonucunda elde edilmiştir. Bu işlem parametrelerinin içinde galvanizcinin değiştirebildiği yani kontrolünü sağladığı parametreler gibi değiştiremediği parametrelerin de olduğu görülmüştür.

Değişken kaplama parametrelerine göre, karşılaştırmalı deney sonuçları Tablo 4.3'de yer almaktadır. Tablo 4.3'de deneyler boyunca değişen işlem parametre değerleri kalın olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.3: Deney numaraları ve deneylerde incelenen işlem parametreleri ile kaplama kalınlıkları

Deney Grup No	Numune Sac Kalınlıkları (mm)	Çekme / Daldırma Açısı (°)	Sacların Yüzey Temizliği	Asit-Flux Havuzlarından Çıkan Sacların Kurutulma Koşullarına Göre Çinko Banyosuna Daldırma	Çelik Sac Üzerindeki Yüzey Pürüzlülüğünün Mekaniksel İşlemlerle Değiştirilmesi	Çinko Banyosu Sıcaklığı (°C)	Banyoda Bekletme Süresi (min)	Kaplama Öncesi Ağırlık (g)	Kaplama Sonrası Ağırlık (g)	Fark (g)	Artış (%)	Kaplama Banyosuna Daldırma Hızı (m/min)	Kaplama Banyosundan Çıkarma Hızı (m/min)	Ortalama Kaplama Kalınlığı (µm)
1	4	180	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	467	3	310	320	10	3,23	3,8	3,8	100
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	467	3	314	323,3	9,3	2,96	3,8	3,8	94
2	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	316,6	325,55	8,95	2,82	1,17	3,8	78
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	313,3	317,97	4,67	1,5	3,8	1,17	67
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	316,6	323,15	6,55	2,07	3,8	3,8	75
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	315	320,42	5,42	1,73	1,17	1,17	71
3	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	311	316	5	1,6	1,17	1,17	67
	4	90	Asit X Flux X	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	310	310	0	0	1,17	1,17	18
	4	90	Asit ✓ Flux X	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	312,5	319,45	6,95	2,2	1,17	1,17	73
	4	90	Asit X Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	463	2	311	323	12	3,85	1,17	1,17	71

Tablo 4.3 (devamı): Deney numaraları ve deneylerde incelenen işlem parametreleri ile kaplama kalınlıkları

Deney Grup No	Numune Sac Kalınlıkları (mm)	Çekme / Daldırma Açısı (°)	Sacların Yüzey Temizliği	Asit-Flux Havuzlarından Çıkan Sacların Kurutulma Koşullarına Göre Çinko Banyosuna Daldırma	Çelik Sac Üzerindeki Yüzey Pürüzlülüğünün Mekaniksel İşlemlerle Değiştirilmesi	Çinko Banyosu Sıcaklığı (°C)	Banyoda Bekletme Süresi (min)	Kaplama Öncesi Ağırlık (g)	Kaplama Sonrası Ağırlık (g)	Fark (g)	Artış (%)	Kaplama Banyosuna Daldırma Hızı (m/min)	Kaplama Banyosundan Çıkarma Hızı (m/min)	Ortalama Kaplama Kalınlığı (µm)
4	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Islak	Flap Disk ile Zımparalanmamış	468	1,5	310,26	320,56	10,3	3,32	3,8	1,17	73
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	468	1,5	310,5	317	6,5	2,09	3,8	1,17	71
5	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	461	1	300,2	315	14,8	4,93	1,17	1,17	57
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	461	2	300,5	317	16,5	5,491	1,17	1,17	67
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	461	2,5	310,5	328	17,5	5,636	1,17	1,17	72
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	461	3	310,7	329	18,3	5,89	1,17	1,17	73
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	461	3,5	310,9	331	20,1	6,465	1,17	1,17	79
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	461	4	320	342	22	6,875	1,17	1,17	83

Tablo 4.3 (devamı): Deney numaraları ve deneylerde incelenen işlem parametreleri ile kaplama kalınlıkları

Deney Grup No	Numune Sac Kalınlıkları (mm)	Çekme / Daldırma Açısı (°)	Sacların YüzeY Temizliği	Asit-Flux Havuzlarından Çıkan Sacların Kurutulma Koşullarına Göre Çinko Banyosuna Daldırma	Çelik Sac Üzerindeki YüzeY Pürüzlülüğünün Mekaniksel İşlemlerle Değiştirilmesi	Çinko Banyosu Sıcaklığı (°C)	Banyoda Bekletme Süresi (min)	Kaplama Öncesi AĞırlık (g)	Kaplama Sonrası AĞırlık (g)	Fark (g)	Artış (%)	Kaplama Banyosuna Daldırma Hızı (m/min)	Kaplama Banyosundan Çıkarma Hızı (m/min)	Ortalama Kaplama Kalınlığı (µm)
6	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmış	468	2	310,53	323,33	12,8	4,12	3,8	1,17	75
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	468	2	307,55	317,85	10,3	3,35	3,8	1,17	71
7	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	460	1,5	310	322	12	3,871	3,8	3,8	56
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	465	1,5	310,7	330	19,3	6,212	3,8	3,8	66
	4	90	Asit ✓ Flux ✓	Kuru	Flap Disk ile Zımparalanmamış	470	1,5	310,9	334	23,1	7,43	3,8	3,8	67

SDGK, büyük partiler halinde birçok parçanın kısa zamanda daha az iş gücü ve düşük maliyetle kaplanabileceği bir prosestir. Sıcak daldırma yöntemi ile galvanizleme, malzemenin bulunacağı ortam koşullarına bağlı olarak uzun süre bakım-onarım gerektirmediğinden kullanım süresince bakım maliyetlerini ortadan kaldırmaktadır. Aynı zamanda, ulaşılması zor birbiri ile iç içe geçmiş yapılarda ve elektrik direkleri gibi tehlikeli yapılarda, üretimin durdurulması mümkün olmayan tesislerde onarım yapma problemini ortadan kaldırmaktadır. SDGK katodik ve bariyer koruma, kaplama ile malzeme içyapısında oluşan metalurjik bağlar ve çinko patinası ile malzemeyi uzun süre korozyona karşı korumaktadır. Bu özellikleri ile SDGK uygulamasının maliyet açısından kazanç sağladığı görülmektedir. SDGK boyama işlemi gibi alternatif kaplama yöntemleri ile maliyet bakımından, işlem süresi ve malzemeyi kullanma ömrünü uzatması açısından karşılaştırıldığında SDGK'nın boyamaya göre daha az maliyetli olduğu görülmektedir. SDGK ile korozyona karşı yüksek dirence sahip metaller elde edilmekte ve parçaların kullanım ömrü uzamaktadır. Sonuçta işletmeler de sık sık parça değişimlerinden kaynaklanan ek masrafları ödememektedir.

Kaplama kalınlığı, kaplama özelliklerini ve görünümü etkilediği gibi çinko tüketim miktarını ve işletme maliyetlerini de etkilemektedir. Çinko fiyatının 2386 \$/ton gibi yüksek rakamlarda olması, çinko tüketiminin işletmedeki üretim maliyetlerinde rolünün yüksek olduğunu göstermektedir.

SDGK fayda/maliyet açısından değerlendirildiğinde, Tablo 4.5'de gösterildiği gibi kaplama kalınlığını inceltmesinin, kaplamada kullanılan hammadde (galvaniz kaplama banyosundan malzeme üzerine kaplanan çinko ve kaplama banyosuna ilave edilen nikel, alüminyum ve kurşun karışımı miktarı) maliyeti bakımından avantaj sağladığı görülmektedir. Tablo 4.5'de deney gruplarına göre adlandırmada kaplama malzemesi maliyeti olarak simgelenen $KMM_{i,j}$ 'de i deney grup numarasını, j ise deney sıra numarasını göstermektedir. Örneğin, $KMM_{1,1}$ 1. grup deneylerden yapılan 1. deneyin (çekme/daldırma açısının 180^0 olduğu deneyin) kaplama malzemesi maliyetini ifade etmektedir. Deneysel çalışmaların yapıldığı galvaniz kaplama banyosunun boyutları; eni 170 cm x boyu 350 cm x derinliği 170 cm olan kaplanan malzemeye göre banyo seviyesinin ayarlandığı $10 m^3$ 'lük kaplama havuzuna ilave edilen 85 ton çinko külçesi ile %3 oranında 2550 kg Ni, %5 oranında 4250 kg Al ve

4000 kg Pb eklenmesi ile oluşturulan çözelti Tablo 4.4’de verilen birim alış fiyatları ile birlikte hesaplanmış ve Tablo 4.5’de verilen galvaniz kaplama banyosundaki karışımın alış fiyatı ortalama olarak yaklaşık 30 TL/kg bulunmuştur.

Tablo 4.4: SDGK istasyonunda kullanılan malzemelerin birim alış fiyatları (TL/kg, TL/l)

Malzemeler	Malzemelerin Birim Fiyatları
Çinko	14,95
Kurşun	13
Flux (toz halinde)	10
Nikel	280
Alüminyum	15
Asit (çözelti halinde)	0,90

Tablo 4.5: SDGK’da kaplanan film tabakasının maliyeti

Kaplama Malzemesi Maliyet No (KMM _{i,j})	Ortalama Kaplama Kalınlığı (µm)	Malzemede Kaplama Sonrası Ağırlık Farkı (g)	Galvaniz Kaplama Banyosundaki Karışımın Alış Fiyatı (TL/g)	Kaplama Malzemesi Maliyeti (TL)
KMM _{1,1}	100	10	0,03	0,30
KMM _{1,2}	94	9,3	0,03	0,28
KMM _{2,1}	78	8,95	0,03	0,27
KMM _{2,2}	67	4,67	0,03	0,14
KMM _{2,3}	75	6,55	0,03	0,20
KMM _{2,4}	71	5,42	0,03	0,17
KMM _{3,1}	67	5	0,03	0,15
KMM _{3,2}	18	0	0,03	0
KMM _{3,3}	73	6,95	0,03	0,21
KMM _{3,4}	71	12	0,03	0,36
KMM _{4,1}	73	10,3	0,03	0,30
KMM _{4,2}	71	6,5	0,03	0,19
KMM _{5,1}	57	14,8	0,03	0,44
KMM _{5,2}	67	16,5	0,03	0,49
KMM _{5,3}	72	17,5	0,03	0,53
KMM _{5,4}	73	18,3	0,03	0,55
KMM _{5,5}	79	20,1	0,03	0,60
KMM _{5,6}	83	22	0,03	0,66
KMM _{6,1}	75	12,8	0,03	0,38
KMM _{6,2}	71	10,3	0,03	0,31
KMM _{7,1}	56	12	0,03	0,36
KMM _{7,2}	66	19,3	0,03	0,58
KMM _{7,3}	67	23,1	0,03	0,70

Enerji (elektrik) maliyeti: İşletmede ortalama aylık toplam elektrik maliyeti olarak 40.000 TL'nin 30.000 TL'si galvaniz ocağına aittir. (İşletmede çalışan kaynak makineleri, kaynak robotları, vinçler, havalandırma fanları ve diğer makinelerin elektrik gideri çıkarılmıştır.) Ortalama günlük toplam elektrik maliyeti = $30.000 / 30 = 1000$ TL olarak hesaplanmaktadır. Deneylein yapıldığı işletmede asit ve flux havuzları için herhangi bir elektrik tüketimi yapılmamaktadır. Fakat havuzlar ısıtıldığı takdirde (ortalama 26 °C) havuzlardan daha çok verim alınacağı gözlemlenmiştir.

İşçilik maliyeti: SDGK istasyonunda 3 işçi çalışmaktadır. Çalışanların ortalama aylık maliyeti her biri için 4.000 TL'den günlük işçi maliyeti 133,33 TL'dir.

Yüzey temizleme maliyeti: İşletmede, 1 adet asit havuzu için kullanılan asit çözültisi miktar olarak 4000 litre hidroklorik aside 2000 litre su katılmaktadır. Buna göre bir adet asit havuzu için kullanılan asit maliyeti 3600 TL'dir. Kullanılan suyun maliyeti ise 10,80 TL'dir. Toplamda bir adet asit havuzunun maliyeti 3611 TL'dir.

İşletmede 1 adet flux tankı, 120 adet 25 kg'lık torbalar ile toplam 3 ton toz halinde çinko amonyum klorür tuzu ve 4000 litre suyun eklenmesi ile hazırlanmaktadır. 3000 kg flux eklenmesi halinde flux maliyeti 30.000 TL'dir. Kullanılan suyun maliyeti ise 21,60 TL'dir. Toplam olarak bir adet flux havuzu maliyeti 30.022 TL'dir.

Sac fiyatı: Deneysel çalışmalarda kullanılan 4 mm kalınlığındaki numune sacların birim fiyatı: 3,25 kg/TL'dir. Tablo 4.3'de verilen malzemenin kaplama öncesi ağırlıkları kullanılarak yapılan hesaplamada malzemelerin sac fiyatları hepsinde yaklaşık 1 TL olarak bulunmuştur.

Galvaniz Kaplama Maliyeti: Sac fiyatı + İşçilik maliyeti + Enerji (elektrik) maliyeti + Yüzey temizleme maliyeti + Kaplama malzemesi maliyeti

Kaplama maliyetinde yukarıda belirtilen maliyetlerden tek değişken kaplama malzemesi maliyetidir. Kaplama esnasında çinko havuzundan parça yüzeyine geçerek film tabakasını oluşturan kaplama malzemesi maliyeti, SDGK'nın fayda/maliyet sonucunu belirlemektedir. Kaplamada parça yüzeyinde ne kadar ince

kaplama tabakası oluşursa galvaniz kaplama maliyetinde o kadar fazla kazanç elde edilmektedir.

Deneyleerde galvaniz kaplama kalınlığını dūşüren parametrelerin aynı zamanda kaplama maliyetini dūşürmede de etkili olduğu Tablo 4.5'den anlaşılmaktadır. Malzemelerin çinko kaplama banyosunda uygun askılama açısı (deneyde 90⁰), giriş/çıkış hızı (kaplama banyosuna hızlı daldırıp yavaş yavaş çıkarma), kaplama banyosunda bekletme süresi, (deneyde minimum bekletme süresi 1 dakika) banyo sıcaklığı (deneyde optimum kaplama kalınlığı 460 ⁰C'de elde edilmişti) ve incelenen diğer işlem parametrelerinin kaplama kalınlığını etkilediği gibi kaplama malzemesi maliyetini de etkilediği gözlemlenmiştir.

Deneyleerin yapıldığı işletmede galvaniz kaplama banyosunda kaplanan çöp konteynerlerin kaplama banyosu içerisinde bekleme süresinin kısalmasıyla kaplama banyosuna daha fazla malzemenin dalımı gerçekleştirilmiştir. Kaplama banyosunda dalım sayısının artmasıyla seri kaplamalar sırasında gitgide banyo sıcaklığında dūşme meydana gelmektedir. Kaplama banyosunu ısıtmak için ilave enerji harcanarak elektrik giderini artırmaktadır. Ancak; malzemeler kaplama banyosunda daha az bekletildiği için bu durum hem kaplama malzemesi hem de işçilik maliyetini dūşürmektedir. Gün sonunda ise galvaniz kaplanan malzeme miktarı fazla olduğu için elde edilen kazanç, harcanan ek elektrik maliyetini tolere etmektedir. Aynı durumun malzemelerin kaplama banyosuna hızlı girip, yavaş yavaş çıktığında da olduğu gözlemlenmiştir. İlave vinç elektrik giderleri olsa da hem kaplama kalınlığı inceltilmesinden kaynaklanan düşük hammadde giderleri hem de daha fazla sayıda malzeme kaplanması ile maliyette avantaj elde edilmektedir.

SDGK diđer yüzey kaplama işlemlerine göre malzemenin yaşam döngüsü maliyetini dūşürmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, SDGK'da kaplama kalitesini belirleyen ve galvaniz kaplama tabakasının ince ve kalın olmasını etkileyen faktörler incelenmiştir. Deneysel çalışmalar boyunca elde edilen optimum kaplama kalınlığı değerleri aşağıda belirtilmiştir.

Malzemenin çinko banyosuna giriş ve çıkış açısının kaplama kalınlığına etkisinin incelendiği deneyde kullanılan kare şeklindeki numune saca göre uygun askılama açısının 90^0 olduğu belirlenmiştir. Bu gruptaki deneylerde galvanizleme ocağına giriş/çıkış açısının, parçanın yüzeyindeki çinkonun süzülmesini, akmasını belirleyen önemli bir parametre olduğu anlaşılmıştır. 90^0 olan dikey konumda daldırıp, çıkarma esnasında parça üzerinde biriken çinko katmanı kolay süzölmüş, 180^0 açıda yatay konumda daldırıp çıkarma sırasında ise çinko katmanı tam süzölemeyip yüzeyde çinko yığılması topaklanma şeklinde birikmiş ve kaplama sonrası görünümü ve kalınlığını olumsuz etkilemiştir.

Malzemenin çinko banyosunda bekletilme süresinin kaplama kalınlığına etkisinin incelendiği deneyde optimum kaplama kalınlığı numune sacların kaplama havuzunda 1 dakika bekletildiği deneyde elde edilmiştir. Böylece bu gruptaki deneylerde ideal daldırma süresi de 1 dakikadır. Deneylerde çinko banyosuna daldırılan malzemeler buldukları ortam sıcaklığından banyo sıcaklığına ulaşana kadar galvanizleme banyosunda kalmış, banyo içerisinde fazla bekletilmemiştir. Galvanizleme ocağında bekletme (dalış) süresi arttığında, kaplama kalınlığının da arttığı sonucuna varılmıştır.

Deneylerde malzemenin çinko kaplama havuzuna daldırma ve çekme hızının etkisi de incelenmiştir. Optimum kaplama kalınlığı malzemelerin kaplama banyosuna hızlı (deneyde ideal olan 3,8 m/min daldırma hızında) daldırılıp, kaplama banyosundan yavaş yavaş (deneyde ideal olan 1,17 m/min çıkarma hızında) çıkarıldığı deneyde elde edilmiştir. Parça yüzeyinden süzölen çinkonun akıntı hızı azaldığında çinko kalıntıları kaplama sonrası parça yüzeyinde damlacıklar halinde kalmış ve homojen kaplama gerçekleşmemiştir. Çinkonun parça yüzeyinden banyo

içerisine süzülme süresi ne kadar hızlı olursa, o kadar fazla çinkonun yüzeyden uzaklaştığı gözlemlenmiştir.

Sacların yüzeyi asit ve flux ile temizlenmiş ve temizlenmemiş hali tezde incelenmiştir. Deneylerde kaplama işleminden önce yapılan yüzey temizleme işlemlerinin, kaplama kalitesindeki rolünün önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Flux parçada kaplanmayan bölgelerde oksitlenmeyi önlemiş ve ocaktaki kül/dros oluşumunu da azaltmıştır. Asitten sonra parça yüzeyinde son kalan atıkları temizleyerek kaplamanın homojenliğini sağlamıştır.

Malzemelerin banyoya ıslak - kuru daldırılması deneyinde malzemelerin flux banyosundan çıkarıldıktan sonra fırınlarda, suda veya havada kurutulmasının gerekliliği anlaşılmıştır. Eğer demir iyonları, flux havuzundan sonra parçalar kurutulmayıp çinko kaplama banyosuna da geçerse ergimiş çinko yüzeyinden ayrılacak zamanı olmayıp (tepkime anlık olarak hızlı gerçekleşip) malzeme yüzeyinde kalarak, kaplama kalınlığını artırdığı bu durumun da işletmede çinko kullanım maliyetini yükselttiği görülmüştür. Bu tür kaplamalarda renk değişimlerine ve koyulaşmaya da rastlanılmıştır. Kaplanacak parçada nemli bölgeler ve ıslaklık kaldığında, açığa çıkan hidrojen gazı ile çok sıcak olan banyoya malzemeler daldırıldığında küçük çapta patlamalar meydana geldiği görülmüştür.

Banyo sıcaklığının kaplama kalınlığına etkisinin incelendiği deneyler boyunca galvanizleme ocağı sıcaklık değerlerini değiştirmek işletme açısından tehlikeli olduğu için değiştirilememiş ancak yüzeyleri soğuk olan konteynerlerin kaplama banyosuna girip-çıkması ile olabildiğince farklı sıcaklık değerleri elde edilmiş ve deneyler yapılmıştır. Optimum kaplama kalınlığı 460 °C'de elde edilmiştir.

Kare numune sac yüzeylerinin karbosan kesici flap disk ile zımparalanıp yüzey pürüzlülük değerlerinin değiştirilmesinin kaplama kalınlığına etkisinin incelendiği deneyde ise, zımparalamanın kaplama kalınlığını daha fazla artırdığı ve optimum kaplama kalınlığının zımparalanmamış numune saclarda elde edildiği sonucuna varılmıştır. Ancak kaynaklı şekilde imal edilen parçalarda ise kaynak cürufları temizlendikten sonra kaplama işlemine geçilmesi gerekmektedir.

SDGK'da iyi bir kaplama kalitesi elde etmek için özellikle kaplama havuzunda bekletme süresine, malzemelerin banyoya giriş/çıkış hızına, banyonun kimyasal bileşimine ve banyo sıcaklığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Deneyler neticesinde yukarıda öne sürülen maddelerin kaplama kalınlığı ve verimliliği değiştirdiği gözlenmiştir.

Deneyler esnasında asit yenilendikçe, su durulama banyosu da yenilenmiş, flux havuzunda seviye düştükçe toz flux ilave edilerek seviye korunmuş ve çinko banyosu üzerinde yüzen dros partiküllerinin temizliğine de dikkat edilmiştir. Aksi takdirde parçanın banyodan çıkarılması esnasında yüzeye yapıştığı gözlemlenmiştir. Parçayı galvanizleme ocağına daldırmadan önce matkapla delinen delikler ile hem askılama hem de çinko ocağına daldırıldığında ortaya çıkan gazın (çinko oksit dumanı) atılması için gerekli olduğu gözlemlenmiştir. İşletmede galvaniz kaplama işlemleri yapılırken güvenlik kurallarına uyulmuştur. Deneyler boyunca gerekli kişisel koruyucu ekipmanlar (koruyucu maskeler, yanmaz kot eldivenler, dizlikler vb.) kullanılmıştır.

Nikel konusunda, nikel oranının daha doğru olarak ayarlandığı Zn – Ni kombinasyonlarının kaplama banyosuna ilave edilmesi öneri olarak sunulabilir. Galvanizleme ocağına eklenen nikel tozlarının partikülleri ergimeye müsait olup olmadığı banyo içerisine eklenirken kontrol edilmelidir. Yoksa çözünemeyip dros tabakasına da karışabilir. Bunun içi piyasadaki nikel alaşımlı çinko külçe tabletler seçilmelidir. Ayrıca nikel tozları galvanizleme ocağının içerisine enjekte edildiğinde azot gazına (amonyak buharına) da neden olur. Hazır alınan nikel tozlarının rengi eğer siyah veya siyaha yakınsa oksitlenmiş olduğu için kaplama banyosunda ergimez. Nikel tozlarının oksitlenmediği renginin açık gri olduğunda anlaşılır.

İleride bu konu üzerine yoğunlaşacak kişiler, farklı yüzey alanlarında örneğin çubuk, daire vb. farklı geometrik şekillerde malzemeler kullanılarak yüzey alanlarının değiştirilmesinin kaplamaya etkisi konusunda veya küçük numune çinko kaplama havuzları oluşturularak farklı alaşım elementlerinin (Al, Ni, Bi, Pb, Sn vb.) kaplamaya etkisini çalışabilirler. Akademik çalışmalarda, kimyasal kompozisyonu farklı olan çeliklerin (sandalin etkisini de incelemek üzere özellikle çeliğin kimyasal bileşimindeki %Si ve %P oranları değiştirilerek) galvaniz kaplanmasının kaplama kalınlığına etkisinin araştırılması öneri niteliğindedir.

6. KAYNAKLAR

Adetunji, O., R., “Optimizing Hot Dip Galvanizing Operations Of Steel Sheets For Better Quality”, *Journal of Natural Sciences Engineering and Technology*, 9, 2, 99-105, Ocak, (2010).

Akgün, Ş., Ö., “Çelik Kimyasal Kompozisyonunun Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama Kalınlığına Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-122, Sakarya, Eylül, (2010).

Akman, A., S., B., “Sıcak Daldırma Galvanizle Sürdürülebilir Korozyon Koruması”, 6. *Çelik Yapılar Sempozyumu*, Eskişehir, Aralık, (2015).

ASTM A 123/A 123M, “Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products”, (2015).

Asgari, H., Toroghinejad, M., R., Golozar, M., A., “Effect of coating thickness on modifying the texture and corrosion performance of hot-dip galvanized coatings”, *Current Applied Physics*, 9, 1, 59–66, January, (2009).

Aydın, M., Gülenç, B., “Elektro Ve Sıcak Daldırma Metotlarıyla Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Paslanmaz Çeliğe Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliği”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16, 1, 179-187, Ankara, (2003).

Berto, F., Razavi, S., M., J., Ayatollahi, M., R., Mutignani, F., “Mechanical behaviour of hot dip galvanized steel connection under cyclic loading”, *Procedia Structural Integrity*, 3, 77-84, 1-3 March 2017, XXIV Italian Group of Fracture Conference, İtalya, (2017).

Bicao, P., Jianhua, W., Xuping, S., Zhi, L., Fucheng, Y., “Effects of zinc bath temperature on the coatings of hot-dip galvanizing”, *Surface & Coatings Technology*, 202, 1785–1788 (2008).

Christoph, P., Siegfried, R., “The Distribution of the Elements Fe, Zn and Al in the Zinc Coatings on Hot-galvanised Sheet”, *Praktische Metallographie*, 13, 63-71, (1976).

Chen, Z., W., Kennon, N., F., See, J., B., Barter, M., A., “Technigalva and Other Developments in Batch Hot- Dip Galvanizing”, *JOM*, 44, 1, 22-26, January, (1992).

Cocco, V., D., Iacoviello, F., D'Agostino, L., Natali, S., "Sn and Ti influence on damage of bent hot-dip galvanizing phases", *Procedia Structural Integrity*, 1-3 March 2017, XXIV Italian Group of Fracture Conference, İtalya, vol. 3, 224-230, (2017).

Dıraz, T., "Duplex Sistemler & Sıcak Daldırma Galvaniz (HDG) Sinerjik İşbirliği", *3. Uluslararası Yüzey İşlem Galvaniz Kimyasalları ve Teknolojileri Fuarı*, İstanbul Expo Center, 1-53, 12-14 Ekim, (2017).

Dıraz, T., "Sıcak daldırma galvaniz (SDG) tamiri nasıl yapılmalıdır, bilinmesi gereken püf noktaları nelerdir?", *Galder Dergisi*, sayı no. 27, 26-30, (2018).

Elkoca, O., "Tavlı Çinko Kaplamalarda Fe-Zn fazlarının Gelişimi ve Bunların Kaplama Özelliklerine Etkisi", *I. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu Ve Sergisi Bildirileri*, T.M.M.O.B. Mak. Müh.Odası yayını, E/2001/274-1, KDZ. Ereğli-Zonguldak, 3-5 Ekim, 403-411, (2001).

Elkoca, O., "Silisyum İçerikli Çeliklerde Mekanik Yüzey İşlemlerinin Sıcak Daldırma Kaplama Davranışına Etkisi", *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 1996/2 ayrı baskı, (1996).

Elkoca, O., Küçükkaragöz, C., S., "Influence of Mechanical Surface Treatments on Sandelin Phenomenon in Silicon Containing Steels", *Hittite Journal of Science and Engineering*, 3, 2, 81-85, (2016).

Fratesi, R., Ruffini, N., Malavolta, M., Bellezze, T., Mohrenschildt, A., "Zn-Ni-Bi Alloy As alternative to the traditional Bath in Hot Dip Galvanizing", *The Bulletin of The Bismuth Institute*, 77, 1-4, (2001).

Frazier, S., K., "Progress, Problems and Potential in Hot Dip Galvanizing", *7th International Galvanizing Conference*, 437-444, (1964).

Foet, J., Perrot, P., Reumont, G., "Interpretation of The role of Silicon on the Galvanizing Reaction Based on Kinetics, Morphology and Thermodynamics", *Scripta Metallurgica et Materialia*, 28, 10, 1195-1200, 15 May, (1993).

GalvInfoNote 2.4, "The Role of Aluminum in Continuous Hot-Dip Galvanizing", *Coating Processes and Surface Treatments*, rev 1.3, 1-5, GalvInfo Library, GalvInfo Center, Jan., (2019).

Gagne, M., "After-Fabrication Hot-Dip Galvanizing with Zinc-Bismuth Alloys", *Metall*, 53, 5, 269-271, May, (1999).

Gambrell, W., J., “Hot Dip Galvanized Coatings”, *Asm Handbook Corrosion*, Ohio: ASM International, Metals Park, 13, 436-445, (1987).

Güven, V., “Sıcak Daldırma Yöntemi ile Sürekli Çinko Kaplama”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-76, İstanbul, Şubat, (1999).

Habraken, L., “Contribution To A Scientific Explanation Of The Metallurgical Phenomena Occuring In The Iron-Zinc Reaction”, *12th Int. Galv. Conf.*, 121-129, (1979).

Karahan, P., B., D., “Sıcak Daldırma Galvaniz Prosesinde ZnNiAlaşımalarının Kullanımı”, *Galder Dergisi*, sayı no. 17, 14-18, (2015).

Karahan, P., B., D., “Galvaniz Prosesinde Görülen Yüzey Hataları ve Çözüm Önerileri-1”, *Galder Dergisi*, sayı no.19, 28-30, (2016a).

Karahan, P., B., D., “Galvaniz Prosesinde Görülen Yüzey Hataları ve Çözüm Önerileri-2”, *Galder Dergisi*, sayı no. 20, 24-28, (2016b).

Kozdras, M., S., Niessen, P., “Silicon-induced Destabilization of Galvanized Coatings in the Sandelin Peak Region”, *Metallography*, 22, 3, 253-267, May, (1989).

Marder, A., R., “The metallurgy of zinc-coated steel”, *Progress in Material Science*, 45, 3, 191-271, June, (2000).

Nasr, J., B., Snoussi, A., Bradai, C., Halouani, F., “Effect of the withdrawal speed on the thickness of the zinc layer in hot dip pure zinc coatings”, *Materials Letters*, 62, 14, 2150–2152, 15 May, (2008).

Pektaş, İ., “*Galvaniz Hataları Ve Çözüm Önerileri*”, Ankara, 1-62, (2018).

Pokorny, P., Kolisko, J., Balık, L., Novak, P., “Effect Of Chemical Composition Of Steel On The Structure Of Hot – Dip Galvanized Coating”, *Metalurgija*, 55, 1, 115-118, (2016).

Poag, G., “Çinko Banyosu Yönetimi Temelleri Ve Zn-Ni Prosesine Ekonomik Bir Bakış”, 1-56, January, (2009).

Saday, F., Dağlılar, S., “Düşük Si içerikli (< %0,03) çeliklerde Ni, Bi, Pb elementlerinin kaplama kalınlığı değişimi üzerine çoklu regresyon analizi ile irdelenmesi”, *Galder Dergisi*, sayı no. 27, 32-38, (2018).

Sepper, S., Peetsalu, P., Saarna, M., “Methods for Evaluating the Appearance of Hot Dip Galvanized Coatings”, *Agronomy Research*, volume no 9, Biosystem Engineering Special Issue 1, 229-236, January, (2011).

Sepper, S., Peetsalu, P., Kulu, P., Saarna, M., Mikli, V., “The role of silicon in the hot dip galvanizing process”, *Materials Engineering*, 65, 2, 159-165, Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, (2016).

Shibli, S., M., A., Meena, B., N., Remya, R., “A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process”, *Surface & Coatings Technology*, 262, 210–215, (2015).

Syahbuddin, Munroe, P., R., Gleeson, B., “The Development of Fe-Zn Intermetallic compounds in Solid Fe/Zn and Fe/Zn-Al Diffusion Couples During Short-term Annealing at 400 °C”, *Materials Science and Engineering: A*, 264, N1-2, 201-209, (1999).

Taşkın, A., “Sıcak Daldırma Yöntemiyle Çeliklerin Galvaniz Kaplanması Kontrolü Kaplama Kalınlığı Elde Edilerek Maliyetin Düşürülmesi”, Çepaş Genel Koordinatörü, Ankara, (2006).

TS EN ISO 1461, “Demir ve Çelikten İmal Edilmiş Malzemeler Üzerine Sıcak Daldırma ile Yapılan Galvaniz Kaplamalar – Özellikler ve Deney Metotları (ISO 1461:2009)”, Aralık, (2004).

Tuna, N., “Çinko Ve Nikel Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Plaka Ve Vidaların Korozyon Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-135, İstanbul, Ocak, (2013).

Tzimas, E., Papadimitrou, G., “Cracking mechanisms in high temperature hot-dip galvanised coatings”, *Surface and Coatings Technology*, 145, 1-3, 176-185, 1 August, (2001).

TS 914 EN ISO 1461, “Demir ve Çelikten Yapılmış Malzemeler Üzerine Sıcak Daldırma ile Galvaniz Kaplamalar – Özellikler ve Deney Metotları”, Kasım, (2001).

URL 1, Galmetsan Galv. Metaller Çelik Konst., “Sıcak Daldırma Galvaniz (SDG) Nedir? [online]”, (17 July 2018), <https://galmetsan.com.tr/sicak-daldirma-galvaniz-nedir/>, (2017).

URL 2, Galmetsan Galv. Metaller Çelik Konst., “Sıcak Daldırma Galvanizleme İşlemleri (Prosesler) [online]”, (17 July 2018), <https://galmetsan.com.tr/sicak-daldirma-galvanizleme-islemleri/>, (2017).

URL 3, Karma Metal, “Sıcak Daldırma Ve Elektro Galvaniz Çinko Kaplama [online]”, (15 October 2019), <https://www.slideshare.net/ilannn/sicakdaldirmagalvanizkaplamamakalekarmametal>.

URL 4, Ostim Zinc Galvaniz, “Santrifuj Galvaniz Kaplama Nedir? [online]”, (20 November 2019), http://www.ostimzinc.com/santrifuj-galvaniz-kaplama-nedir-_1-2012.

URL 5, Stm Coatech Kalite Denetim Belgelendirme, “Galvaniz Nasıl Yapılır? [online]”, (25 November 2019), <https://www.stmcoatech.com/galvaniz-nasil-yapilir?>

Vaamonde, A., J., V., Gonzalez, J., J., D., D., “The Sandelin Effect and Continuously Cast Steels”, *International. Journal of Materials and Product Technology*, 6(3), 175-216, November (1991).

Vourlias, G., Pistofidis, N., Stergioudis, G., Tsipas, D., “The Effect of Alloying Elements on The Crystallization Behaviour and on The Properties of Galvanized Coatings”, *Crystal Research Technology*, 39, 1, 23-29, (2004).

Yaluk, D., “Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-169, Adana, (2009).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Feride Buket KARDEŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA – 28.02.1991

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : fkardes09@posta.pau.edu.tr,
fbuket_kardes91@hotmail.com

İletişim Adresi : Saltak Cad., Sırapapılar Mah., No:84/A
Merkezefendi/DENİZLİ

Yayın Listesi :

Meran, C., Kardeş, F., B., “Endüstri 4.0 Ve Bakım İlişkisi”, *8. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 97-105, Pamukkale Üniversitesi Kongre ve Kültür Merkezi, Denizli, 28-29-30 Eylül, (2017).