T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK DALDIRMA GALVANİZLEMEDE KULLANILAN NİKEL ALAŞIMLARININ KALİTE VE MALİYETE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

FERHAT SADAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. SİBEL DAĞLILAR

İSTANBUL, 2018

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK DALDIRMA GALVANİZLEMEDE KULLANILAN NiKEL ALAŞIMLARININ KALİTE VE MALİYETE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ferhat SADAY tarafından hazırlanan tez çalışması XX.XX.XXXX tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Prof Dr. Sibel DAĞLILAR

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Oğuzhan GÜNDÜZ

Marmara Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Tez çalışmam esnasında yönlendirici katkılarından ve emeklerinden, gösterdiği sabır ve hoşgörüden dolayı tez danışmanım, sayın hocam, Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında yaptıkları büyük katkılardan dolayı Lindsay Sulama ve Altyapı San. A.Ş. Genel Müdürümüz Mustafa Selim Göker başta olmak üzere, galvaniz tesis sorumlusu Ayhan Yavuz, verilerin toplanmasında yardımcı olan Lindsay Kalite ekibinden Semih Sağlam, Ahmet Aydoğan, Erdem Zengin, Çağrı Öçal, Gökhan Malkoçoğlu ve galvaniz süpervizörü İsmail Karabina, engin bilgileri ile yol gösteren Tosçelik Profil ve Sac End. A.Ş. Galvaniz ve kaplama şefleri arkadaşlarım Erkan Tırpan ve Fatih Şahin, XRF testleri için yardımlarını esirgemeyen Repamet LTD. Genel müdürü Mehmet Aktürk ve ismini sayamadığım tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca kendilerinin zamanını alarak yaptığım bu çalışmada beni yanlız bırakmayan eşim Derya Saday'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Mayıs, 2018

Ferhat SADAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ x

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 3
1.2 Tezin Amacı 4
1.3 Hipotez 5

BÖLÜM 2

GALVANİZ KAPLAMA 6

2.1 Galvaniz Kaplama Yöntemleri 9
2.2 Sıcak Daldırma Galvaniz Yöntemi 10
2.2.1 Yağ Alma İşlemi 12
2.2.2 Asitleme İşlemi 14
2.2.3 Durulama İşlemi 17
2.2.4 Flakslama İşlemi 17
2.2.5 Kurutma 19
2.2.6 Çinko Havuzu (Galvanizleme) 20
2.3 Sıcak Daldırma Galvanize Etki Eden Faktörler 20
2.3.1 Çinko Kaplamanın Yapısı 20
2.3.2 Çeliğe Katılan Alaşım Elementlerinin Galvaniz Kaplama Kalınlığına Etkileri 21
2.3.3 Çinko Havuzuna Katılan Elementlerin Etkisi 24
2.3.3.1 Ni Elementinin Etkisi 24

2.3.3.2 Teknigalva Yöntemi ile Ni Element Etkisi 27
2.3.3.3 Çinko Havuzu İçindeki Diğer Alaşım Elementlerinin Kaplama Kalınlıklarına Etkisi 28
2.3.4 Kaplama Kalınlığına Etki Eden Diğer Parametreler 28
2.3.5 Ni Kayıpları- Dross Oluşumu 29
2.3.6 Çinko Havuzuna Katılan Zn, Ni ve Diğer Alaşım Elementlerinin Yıllar İçinde Dağılımı 30

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR 33

3.1 Deneyde Kullanılan Numuneler 34
3.2 Deneyde Kullanılan Cihazlar ve Deneyin Yapılışı 40
3.3 Deney Numunelerinin Alınması ve Hazırlanması 45

BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME 49

4.1 Galvaniz Ocağı Analizleri 49
4.2 Farklı %Si Oranlarında Gerçekleştirilen Çalışmalar 50
4.2.1 <% 0,03 Si İçeren Çelik Borularda Yapılan Çoklu Regresyon Analizleri 50
4.2.2 %0,14-0,25 Si İçeren Çelik Köşebentlerde Yapılan Çoklu Regresyon Analizleri 56
4.3 Dip Dross ve Yüzey Külünde Yapılan Analizler 60
4.4 Tüketilen Çinko Miktarı ve Maliyete Etkisi 62

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER 64

KAYNAKLAR 67

ÖZGEÇMİŞ 71

SİMGE LİSTESİ

η	Eta Katmanı, Galvaniz kaplamadaki en üst katman
ζ	Zeta Katmanı, En üstten bir alttaki ikinci katman
δ	Delta 3. katmanı
Γ	Gama 4. Katman
µm	Mikron

KISALTMA LİSTESİ

ACN	Ammonium Chloride number
GZU	Toplam Çinko Kullanım Oranı
LME	London Metal Exchange
USGS	U.S. Geological Survey

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Korozyon nedeni ile oluşan ek maliyetlerin sektörel Dağılımı 7
Şekil 2.2 Korozyon miktarının çinko kaplama kalınlığı ve bölgeye göre değişimi 9
Şekil 2.3 Sıcak daldırma galvaniz Aşamaları 11
Şekil 2.4 Yağlı çelik Malzemesi 12
Şekil 2.5 Asitleme yöntemi ile tufal kaldırma prensibi 15
Şekil 2.6 Tufal tabakalarının çözülebilirlikleri 15
Şekil 2.7 Banyo sıcaklığı ve % HCl konsantrasyonu ilişkisi 16
Şekil 2.8 Galvaniz ana fazları 20
Şekil 2.9 Zn-Fe Diyagramı- Çinko Zengin Kısmı 21
Şekil 2.10 Si oranına bağlı olarak oluşan bölgeler ve kalınlıkları 22
Şekil 2.11 Farklı Si % oranlarının çinko kaplamadaki mikro yapıya etkisi 23
Şekil 2.12 Farklı Si kompozisyonlarında Ni eklenmiş ve eklenmemiş Kaplamaların mikro görüntüsü 25
Şekil 2.13 450^{o}C'de farklı %Ni konsantrasyonlarında Sandelin etkisinin bastırılması 26
Şekil 2.14 Sıcak daldırma süresi ve kaplama kalınlığı arasındaki ilişki 29
Şekil 2.15 Amerika Jeoloji Anketine göre resmi Çinko rezerv miktarları 30
Şekil 2.16 LME yıllara göre çinko Fiyatları 31
Şekil 2.17 LME yıllara göre nikel Fiyatları 31
Şekil 2.18 LME yıllara göre aluminyum Fiyatları 32
Şekil 2.19 LME yıllara göre kurşun fiyatları 32
Şekil 3.1 Numune olarak kullanılan 168,3 mm çaplı borunun teknik resmi 34
Şekil 3.2 Numune olarak kullanılan 168,3 mm çaplı borunun resmi 34
Şekil 3.3 Numune olarak kullanılan köşebent teknik resmi 35
Şekil 3.4 Numune olarak kullanılan köşebent resmi 36
Şekil 3.5 Çelik köşebentlerin askılanma işlemi 41
Şekil 3.6 Çelik boruların askılanma işlemi 41
Şekil 3.7 Ön işlem havuzları (Yağ alma-Asitleme-Durulama) 42
Şekil 3.8 Ön işlem havuzları (Flaks Havuzu) 42
Şekil 3.9 Kurutma fırını 43
Şekil 3.10 Çelik ürünlerin galvaniz ocağına daldırılması 43
Şekil 3.11 Çelik boru ürünlerin galvaniz ocağından çıkarılması 44
Şekil 3.12 Çelik köşebentlerin galvaniz ocağından çıkarılması 44
Şekil 3.13 ATM marka kesme, zımparalama ve parlatma cihazı 45
Şekil 3.14 Oxford XLine optik emisyon cihazı 45
Şekil 3.15 Optik emisyon cihazında analiz öncesi ve sonrasında çinko numune 46
Şekil 3.16 Positector 6000T Elektromanyetik kalınlık ölçme Cihazı 46

Şekil 3.17 NITON XL3t 950 XRF cihazı 47
Şekil 3.18 Dip dross numuneleri 47
Şekil 3.19 Yüzey kül numuneleri 47
Şekil 4.1 <% 0,03 Si içeren çelik borular için yapılan veri uygunluk analizi 52
Şekil 4.2 < %0,03 Si içeren çelik borular için yapılan çoklu regresyon analizi 52
Şekil 4.3 <% 0,03 Si içeren çelik borular için yapılan çoklu regresyon Formülü 53
Şekil 4.4 Alaşım elemenetlerinin kaplama kalınlığına olan tek tek ve birlikte ..... etkileri 54
Şekil 4.5 Minimum kaplama kalınlığı hedefine ulaşmak için %Ni, %Pb, %Bi ..... element bileşenlerine göre oluşturulan optimum değerler 55
Şekil 4.6 %0,14-0,25 Si içeren çelik köşebentler için yapılan veri uygunluk analizi . 58
Şekil 4.7 %0,14-0,25 Si içeren çelik köşebentler için yapılan çoklu regresyon analizi 58
Şekil 4.8 %0,14-0,25 Si içeren çelik köşebentler için yapılan çoklu regresyon formülü 59
Şekil 4.9 Minimum kaplama kalınlığı hedefine ulaşmak için %Ni ve %Pb element bileşenlerine göre oluşturulan optimum değerler 60

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Korozyon oluşum şartları ve ISO 9223 standardına göre kaplanmış ve kaplanmamış üründeki çelik kayıpları 8
Çizelge 2.2 Farklı galvaniz kaplama yöntemlerine ait standartları ve kullanım alanları 10
Çizelge 2.3 Alkali ve asidik yağ almanın özellikleri 13
Çizelge 2.4 Asitleme işleminde kullanılan asitlerin özellikleri 14
Çizelge 2.5 Flaks çeşitleri ve kullanım alanları 17
Çizelge 2.6 Si oranına bağlı olarak oluşabilecek bölgelerin özellikleri 22
Çizelge 2.7 Çelik içindeki elementlerin galvanizlemeye etkisi 24
Çizelge 3.1 P235TR1 boru numune standart kimyasal özellikleri 35
Çizelge 3.2 P235TR1 boru numune standart mekanik özellikleri 35
Çizelge 3.3 S275JR köşebent numune standart kimyasal özellikleri 36
Çizelge 3.4 S275JR köşebent numune standart mekanik özellikleri 37
Çizelge 3.5 Çinko kaplamada kullanılan düşük Si içerikli çelik boruların kimyasal bileşimleri 38
Çizelge 3.6 Çinko kaplamada kullanılan yüksek Si içerikli çelik köşebentlerin kimyasal bileşimleri 39
Çizelge 3.7 Ölçülen ortalama galvaniz ocağı analizleri 40
Çizelge 4.1 Veri analizinde kullanılan ortalama galvaniz ocağı analizleri 49
Çizelge 4.2 Çinko kaplamada kullanılan düşük Si içerikli çelik boruların kimyasal bileşimleri 50
Çizelge 4.3 Kullanılan borulara ait ortalama çelik bileşimi 51
Çizelge 4.4 % 0,01-0,03 Ni içeren banyodan alınan kaplanmış çelik boruların kaplama kalınlığı istatistik değerleri 51
Çizelge 4.5 % 0,03-0,08 Ni içeren banyodan alınan kaplanmış çelik boruların kaplama kalınlığı istatistik değerleri 51
Çizelge 4.6 Çinko kaplamada kullanılan yüksek Si içerikli çelik köşebentlerin kimyasal bileşimleri 56
Çizelge 4.7 Kullanılan ortalama çelik bileşen % ağırlıkları 57
Çizelge 4.8 % 0,01-0,03 Ni oranında banyoya daldırılan numunelerde ulaşılan kaplama kalınlığı istatistik değerler 57
Çizelge 4.9 % 0,03-0,08 Ni içeren banyodan alınan numunelerin kaplama kalınlığı istatistiki değerleri 57
Çizelge 4.10 Ni'in toz halinde uygulanması durumunda dip drosstan alınan numune bileşenleri 60
Çizelge 4.11 Ni'in toz halinde uygulanması durumunda yüzey külünden alınan numune bileşenleri 61

Çizelge 4.12 Ni'in tablet halinde uygulanması durumunda dip drosstan alınan numune bileşenleri 61
Çizelge 4.13 Ni'in tablet halinde uygulanması durumunda yüzey külünden alınan numune bileşenleri 61
Çizelge 4.14 Et kalınlığına göre çinko % oranları fire dahil Brüt ve Tl/Ton Çinko maliyeti..... ...62

ÖZET

SICAK DALDIRMA GALVANİZLEMEDE KULLANILAN NiKEL ALAŞIMLARININ KALİTE VE MALİYETE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ferhat SADAY

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR

Atmosferik korozyona maruz kalan dış cephe uygulamalarında kaplanmamış malzemelerin korozyon sonucu ortaya çıkan hasar maliyetleri, metallerin kaplanmasını veya korozyondan korunmasını zorunlu kılmaktadır. Korozyondan korunmak için farklı kaplama sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler içinde, sıcak daldırma galvaniz yöntemi kullanılan yaygın yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde çelik malzemeler ön işlem basamaklardan geçmek sureti ile 450 ^{o}C de eriyik halde bulunan çinko kazanına daldırılarak kaplama işlemi gerçekleştirilir ve genellikle > 55 μm kaplama kalınlıklarında galvaniz kaplanmış malzemeler elde edilir. Çinko'nun ton fiyatının 3.000$ üzerinde olması tüm galvaniz yapan işletmelerin ana amacını çinko sarfiyatını azaltmak üzerine toplamıştır.

Bu çalışmada, <%0,03 ve %0,14-0,25 Si içeriğine sahip olan farklı bileşimli düşük karbonlu çelikler, farklı Ni içeriğine sahip banyolarda sıcak daldırma galvaniz yöntemi ile çinko kaplanmışlardır. Kaplama işleminin yapıldığı çinko eriyik havuzu, %Ni oranı <%0,03 ve >%0,03 olmak üzere ikiye ayrılmış ve numunelerin kaplama kalınlıkları belirlenmiştir. Bu işlemler esnasında toplanan veriler, çoklu regresyon analizi ve diğer istatistiki yöntemler ile irdelenmiştir. Ni öncelikle olmak üzere Ni, Pb, Bi elementlerinin birlikte kaplama kalınlığı üzerine etkileri araştırılmış ve yine optimizasyon analizi ile kaplama kalınlığını düşürmek için optimum değerler belirlenmiştir.

Kullanılan toz nikel ile tablet nikelin karşılaştırılması için, çinko daldırma sırasında oluşan dip dros ve yüzey külünden alınan numunelerin kimyasal bileşimini belirlemek için XRF testi kullanılmış ve fazla Ni' in dros ile kaybolan miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.

Elde edilen analiz değerlerine göre, Ni kullanımı ile sıcak daldırma galvaniz tesisinde elde edilebilecek potansiyel kazanç miktarı 27,85$/ton olarak hesaplanmıştır. Buna göre ülkemizde sıcak daldırma ile üretim yapan bir tesiste aylık ortalama 50.000-60.000 $/ay değerinde bir çinko tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sıcak daldırma galvaniz, Nikel, maliyet, kalite

ABSTRACT

THE EFFECT OF NICKEL ON COST AND QUALITY IN HOT DIP GALVANIZING

Ferhat SADAY

Department of Metallurgical and Materials Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Sibel DAĞLILAR

The corrosion costs of uncoated materials necessitate coating of metals or protection from corrosion in exterior applications exposed to atmospheric corrosion. Different coating systems have been developed to protect against corrosion. Among these systems, hot dip galvanizing is one of the common methods used. In this method, the steel material passes through the pre-treatment steps and is coated by immersing it in the zinc bath which is melted at 450 ^{o}C and generally galvanized materials are obtained at coating thicknesses of > 55 μm. The main goal of all galvanizing businesses is to reduce zinc consumption, as the tonnage of zinc cost is over $ 3,000.

In this study, The low alloy carbon steel materials having the <%0,03 wt. low silicon content and %0,14-0,25 high silicon content were coated in melted zinc with different Ni concentrations. Samples were examined with <%,0,03 and >0,03 Ni concentrations and the coating thicknesses of the samples were determined. Data gathered during these processes were analyzed by multiple regression analysis and other statistical methods. Not only primarily the effects of Ni analyzed, but also Ni, Pb and Bi correlations on zinc coating thickness investigated. Optimum values were determined by optimization analysis to decrease coating thickness.

To be able to compare between the Ni tablet and powder application, XRF tests were carried out to determine the chemical composition of the samples taken from the bottom dross and surface ash formed during zinc immersion and the amount of Ni lost by dross was tried to be determined.

According to the analysis, it has been determined that 27,85$/ ton potantial cost saving was calculated when Ni element was used. It has been calculated that a saving from zinc around 50.000-60.000 $ per month can be obtained.

Anahtar Kelimeler: Hot dip galvanizing, Nickel, cost-saving, quality

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Pivot sulama sistemleri açık alanlarda kurulmakta ve kullanılan çelik malzemeler sürekli olarak atmosferik korozyona maruz kalmaktadır. Bu sebeple bu sistemlerde kullanılan metallerin kaplanması veya korozyondan korunması çok önemlidir. Korozyondan korunmak için farklı kaplama sistemleri geliştirilmiştir. Sıcak daldırma galvaniz yöntemi kullanılan yaygın yöntemlerden bir tanesidir. Bu yöntemde çelik malzemeler ön işlem basamaklardan geçmek sureti ile 450 ^{o}C de eriyik halde bulunan çinko kazanına daldırılarak kaplama işlemi gerçekleştirilir ve > 50 μm kaplama kalınlıklarında galvaniz kaplanmış malzemeler elde edilir. 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 alaşımların (Al, Pb, Bi, Ni, Sn gibi) bileşenlerinin kontrol edilmesi hayati önem arz etmektedir.

Revie ve Uhlig [1], Avustralya, Japonya ve İngiltere de yapılan korozyon çalışmalarında, korozyonun yıllık maliyetinin gayri safi milli hasıla değerinin %3-4'üne eşit olduğunun hesaplandığını belirlemişlerdir.

Roberge [2], yaptığı çalışmada korozyon nedeniyle 2001 yılında sadece Amerika Birleşik Devletlerinde ortalama 137,9 milyar dolar ek maliyet oluştuğunu belirtmiştir.

Amerika galvaniz birliği AGA [3], kullanılan ürüne ve ortam şartlarına göre uygulanabilecek 7 farklı galvanizleme yöntemi olduğunu açıklamıştır. Bu yöntemler sıcak daldırma galvanizleme, sürekli sac galvanizleme, çinko boyama, çinko sprey-metalik uygulama, mekanik kaplama, elektro galvanizleme ve çinko kaplamadır.

Foct vd. [4], yaptıkları çalışmada kaplama kalınlığını etkileyen başlıca etkenin kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle Si değerinin %0,03-% 0,12 aralığında olması, Si elementinin çinko elementine olan ilgisi sebebiyle, >200 μm kalınlığındaki kaplamaların oluşmasına neden olmaktadır. Bu etki sandelin etkisi olarak adlandırılmaktadır. Kaplama kalınlığının yüksek olması hem kaplamanın çelik yüzeyine yetersiz yapışmasına, hem de görüntü olarak damarlı bir görüntünün oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca çinko kaplamanın sürtünme vb. gibi mekanik etkilere karşı dayanıksız ve kırılgan bir kaplama haline dönüştüğünü gözlemlemişlerdir.

Pokorny vd. [5], yaptığı çalışmada çelik bileşimindeki Si değerinin <0,03% olduğu çeliklerin düşük kaplama kalınlıklarına sahip olduğunu ve 0,15<%Si<0,25 aralığında yine kalın kaplama elde edildiğini gözlemlemiştir.

Sepper vd. [6], ise çelik bileşenleri içinde bulunan Si elementinin sandelin etkisini oluşturduğunu belirtmiştir. Çelik malzemesinin, çinko havuzu içine daldırma süresi < 25 sn olduğunda Si elementinin sandelin etkisini göstermediğini, daldırma süresi >25 sn de ise bu etkinin ortaya çıkarak yüksek kaplama kalınlıkları elde edildiğini göstermiştir.

Bondareva ve Melnikov [7], Si miktarı %0,10 olan çeliklerle yaptıkları çalışmada, zeta fazının değişimi ile kalın kaplamalar elde edildiğini göstermişlerdir. Ayrıca çelik bileşenlerinin sıcak daldırma galvaniz kaplama kalınlıkları üzerine yaptıkları diğer bir çalışma da, P, C, S elementlerinin belli oranlarda kırılgan zeta fazı oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. Al ve Mn elementlerinin ise pozitif etkili olarak sıkı bir faz oluşturduğunu gözlemlemişlerdir.

Marder [8], 450 ºC' de saf çinko ile dolu havuza daldırılan çelik ürünlerinin mikro yapısını incelemiş ve tipik olarak çelik malzemenin hemen üzerinde Γ (gama), bu fazın üstünde δ (delta), ζ (zeta) ve en üst katmanda η (eta) saf çinko katmanının oluştuğunu gözlemlemiştir.

Vourlias vd. [9], çinko havuzu içindeki elementlerin etkisi üzerine çalışmışlardır. Buna göre Ni elementinin zeta ve eta fazları arasında ince ve pürüzsüz bir yapı oluşturduğunu

gözlemlemiştir. Ayrıca Pb elementinin eta fazındaki kristallografik yönlenmeyi değiştirerek ince kaplama oluşturduğunu gözlemlemiştir.

Kania ve Liberski [10], çinko havuzuna eklenen Al, Ni, Bi ve Sn elementlerinin etkilerini ve bu elementler beraber eklendiğinde ince kaplama elde edildiğini belirtmişlerdir.

Katiforis ve Papadimitriou [11], Cu, Cd, Sn elementlerinin çinko havuzuna eklendiğinde kaplama kalınlığına ve kırılma mekanizmasına olan etkisini araştırmışlar ve çinko havuzu içinde %1,6 seviyesinde bakır elementinin δ (delta) fazını arttırdığını ve ζ (zeta) fazını bastırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca > %1 Cd seviyelerinde Γ (gama) fazını arttırarak, δ ve ζ fazlarının iç içe girdiğini ve Sn elementinin %3' e kadar herhangi bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Nasr vd. [12], kaplama kalınlığını etkileyen faktörler arasında galvaniz ocağına daldırılan numunelerin çekme hızı üzerinde durmuşlar ve optimum çekme hızını belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmada numuneler çinko havuzuna daldırıldıktan sonra 1,5- 6 m/dk arasında çekme hızları ile çekilmiştir. Numunelerde farklı sürelere göre Γ (gama) ve δ (delta) kaplama kalınlıklarının aynı olduğu ancak ζ (zeta) ve η (eta) fazlarının 4 m/dk değerinde minimum kalınlıkta olduğunu tespit etmiştir.

Bicao vd. [13], farklı sıcaklıklarda mikro yapı oluşumları üzerine çalışmışlar ve endüstriyel olarak çinko havuzunun sıcaklığının 480 ^{o}C ye çıkarıldığında, kaplama kalınlığının hızlı bir şekilde arttığını belirtmişlerdir.

Vala [14], çinko havuzu içinde kullanılacak optimum Pb içeriğinin %1- %1,5 olduğunu belirtmiştir. Bu düzeylerdeki kurşun elementinin galvanizli malzemeler üzerinde görülen süngerimsi bir şeklin oluşmasına sebep olduğunu, çinko eriyiği'nin akıcılığını arttırdığını ve çinko yüzey gerilimini azalttığını belirtmiştir.

Pistofidis vd. [15], %1 Ni ve %1 Bi içeren çinko havuzundaki mikro yapıları incelemiş ve Bi elementinin yüzey gerilimini azalttığını ve böylelikle kaplama kalınlığını azalttığını gözlemlemişlerdir. Ni elementinin kaplama kalınlığını düşürme açısından Bi ye göre daha etkili olduğu ve korozyon yönünden pozitif etkiye sahip olduğu göstermişlerdir.

Lewis ve Pedersen [16], Çinko havuzu içinde eriyik çinko bileşiminde bulunan 0,05%-0,14% Ni bileşiminin, kaplama kalınlığını düşürmede etkin olduğunu belirtmişlerdir.

Artan Ni bileşiminde çinko havuzu dibinde oluşan dros miktarında Ni kaybı ve kaplanmış yüzeylerin düzgün olmadığını saptamışlardır.

Notowidjojo [17], Ni'in özellikle Sandelin bölgesinde etkileşime geçerek mikro yapının daha sıkı olmasını sağladığını belirtmiştir. %0,08-0,17 arasında eklenen Ni'in, zeta fazın büyümesini bastırdığı ve görünüşü iyileştirdiği görülmüştür.

1.2 Tezin Amacı

Pivot sulama sistemlerinin üretiminde kullanılan düşük karbonlu, farklı Si içeriklerine sahip çelik boru ve köşebentler sıcak daldırma prosesi ile galvaniz kaplanarak sistemlerin uzun süre korozyona uğramadan kullanılması sağlanır.

Galvaniz kaplama kalınlıkları yüksek olduğunda (> 100-200 mikron), kaplanan ürünün kullanıldığı alana göre, karşılaşılan iki olumsuz durum;

- Kaplamanın kalın olması sebebi ile mat veya damarlı görüntü
- Kaplamanın kalın olması sebebi ile mekanik dış etkenlere karşı dayanımının azalması

şeklinde açıklanabilir.

Bu tez çalışmasının amacı, çelik numuneler üzerindeki çinko kaplama kalınlığını düşürmek için istatistiki bir çalışma ile farklı Ni içeriklerine sahip çinko eriyik havuzlarında kaplama işlemi yapılarak galvaniz ocağı içinde gerekli olan nikel oranlarının belirlenmesi ve Ni, Pb, Bi elementleri arasındaki ilişkilerin araştırılmasıdır.

Kaplama kalınlığını düşürmek için kullanılması gereken %Ni, %Pb, %Bi bileşimleri ve bu değerler ile çalışıldığında elde edilecek kaplama kalınlıkları tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Yapılan çalışma ile kaplama kalınlığının azaltılarak, kullanılan çinko miktarının azaltılması, dolayısı ile birim maliyetin düşürülmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Sıcak daldırma galvanizlemede kullanılan çinko'nun birim maliyetteki etkisini düşürmek için en uygun işlem öncelikle tüm ön işlem ve galvaniz ocağı kimyasallarının özelliklerini iyi bilmek ve maksimum verim almaktır. Ancak bu şekilde uygun bir maliyet düşürme ve kalite sağlanabilir. Yapılan bu istatistiki çalışma ile çinko kaplanan

çelik malzemelerin çinko kaplama kalınlığı azaltılarak birim maliyetin önemli oranda azaltılması amaçlanmıştır.

Farklı Si içeriklerine sahip çelik ürünler farklı Ni içeriklerine sahip havuzlarda galvanizleme işlemine tabi tutulduğunda, hem kaplama kalınlığının azalacağı hem de yüzey kalitesinin artacağı öngörülmektedir.

Çoklu regresyon analizi ile çinko eriyik içinde kullanılan elementler arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmaya çalışılacaktır.

BÖLÜM 2

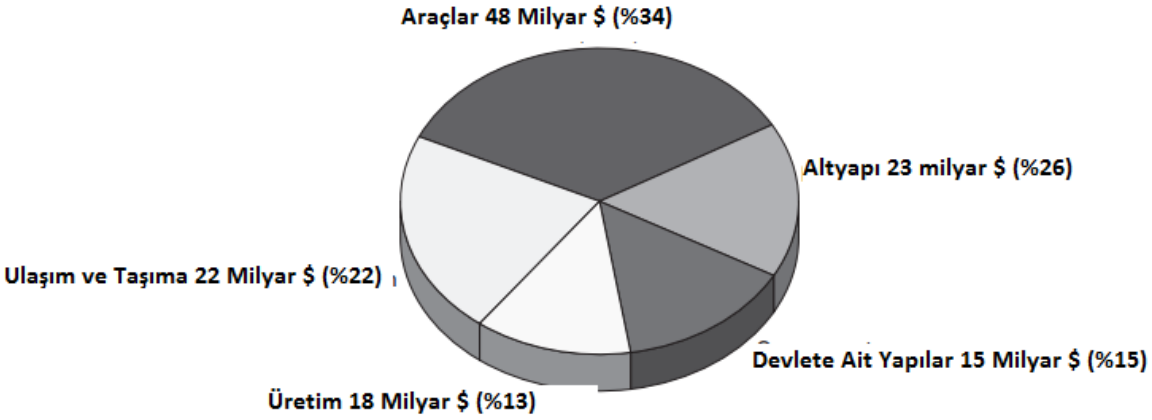
GALVANİZ KAPLAMA

Günümüzde dünya da her yıl ortalama 1.5 milyar ton'dan fazla çelik üretilmektedir. Ancak çelik, hava, su, toprak gibi ortamlarda oksijenin etkisi ile çabuk bozunmakta ve metal yüzeyinde bozunma ürünü renkli pas oluşmaktadır. Korozyonun ilerlemesi çeliği kullanılmaz hale getirip uzun vadede hurda olmasına sebep olmaktadır [18].

Korozyon, metal ile ortam arasında fiziksel etkileşime neden olarak, metalin özelliklerinde ve metalde önemli fonksiyonel kayıplara yol açabilen, malzemenin içinde çalıştığı ortam veya ortam parçası olduğu sistemdir [19].

Korozyonun ülke ekonomilerine maliyetleri gayri milli hasılalarının %3-4 'üne karşılık gelmektedir. Korozyonun etkisini azaltabilmek için sürekli kaplama sistemleri üzerinde çalışılmaktadır. Korozyon sebebi ile dolaylı ve dolaysız maliyetler ortaya çıkmaktadır. Dolaysız maliyetler köprü, makine ekipman, hat boruları, alt yapı sistemlerini, metal ürünleri vb. korozyona uğrayan yapıların değiştirilmesini, bu yapıların tekrar kaplanmasını veya bakımlarının yapılmasını içermektedir. Bu işlemler sırasında kullanılan işçilikte dolaysız maliyetlere eklenebilir. Dolaylı maliyetlere, bir fabrikanın veya sistemin bakım için kapatılması veya belli bir süre hizmet verememesinden kaynaklanan kayıp, verimliliğin azalması dolaylı maliyetler olarak belirtilebilir [1].

Korozyon nedeni ile Amerika Birleşik Devletlerinde oluşan ek maliyetlerin sektörlere göre dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Korozyon nedeni ile oluşan ek maliyetlerin sektörel dağılımı [2]

Şekil 2.1 de verilen,

Altyapı sistemleri; köprüler, gaz ve sıvı taşıma sistemleri, su yolları, iskeleleler, tehlikeli madde depolama alanları, havayolları, demiryolları vb. sistemleri,

Araçlar ; gaz dağıtım sistemleri, elektrik, telekomunikasyon sistemleri vb. sistemleri,

Ulaşım ve taşıma; motorlu araçlar, gemiler, uçaklar, demiryolu araçları, tehlikeli madde taşıma araçları vb. sistemleri,

Üretim ve imalat; gaz ve petrol arama sistemleri, petrol rafinasyon, madencilik, kimyasal, petrokimyasal, kağıt ve tarım sektörü, elektronik ve ev aletleri vb. sistemleri

Devlete ait yapılar; savunma sanayi, nükleer yapılar vb. sistemleri kapsamaktadır.

Çelik malzemelerde, çeşitli kaplama yöntemleri kullanılarak korozyon etkilerinin minimuma indirilmesi amaçlanır. Bu amaçla galvanizleme yöntemi son 150 yıl da yaygın bir şekilde yaşamın her alanında kullanılmaktadır. Köprü yapıları, estetik mimari yapılar, bariyer sistemleri, sulama sistemleri, çelik yapıları, elektrik ekipmanları, tarım makineleri, enerji nakil hatları, elektrik direkleri, bağlantı elemanları, dupleks sistemler, deniz ekipmanları vb. gibi bir çok kullanım örneği verilebilir.

Çelik ürünlerin çinko galvaniz ile kaplanması çelikte oluşabilecek hasarların engellenmesini veya oluşumunun geciktirilmesini sağlayacaktır.

Korozyon oluşum şartları ve ISO 9223 standardına göre kaplanmış üründeki çinko kayıpları ve kaplanmamış üründeki çelik kayıpları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Korozyon oluşum şartları ve ISO 9223 standardına göre kaplanmış ve kaplanmamış üründeki çelik kayıpları [20]

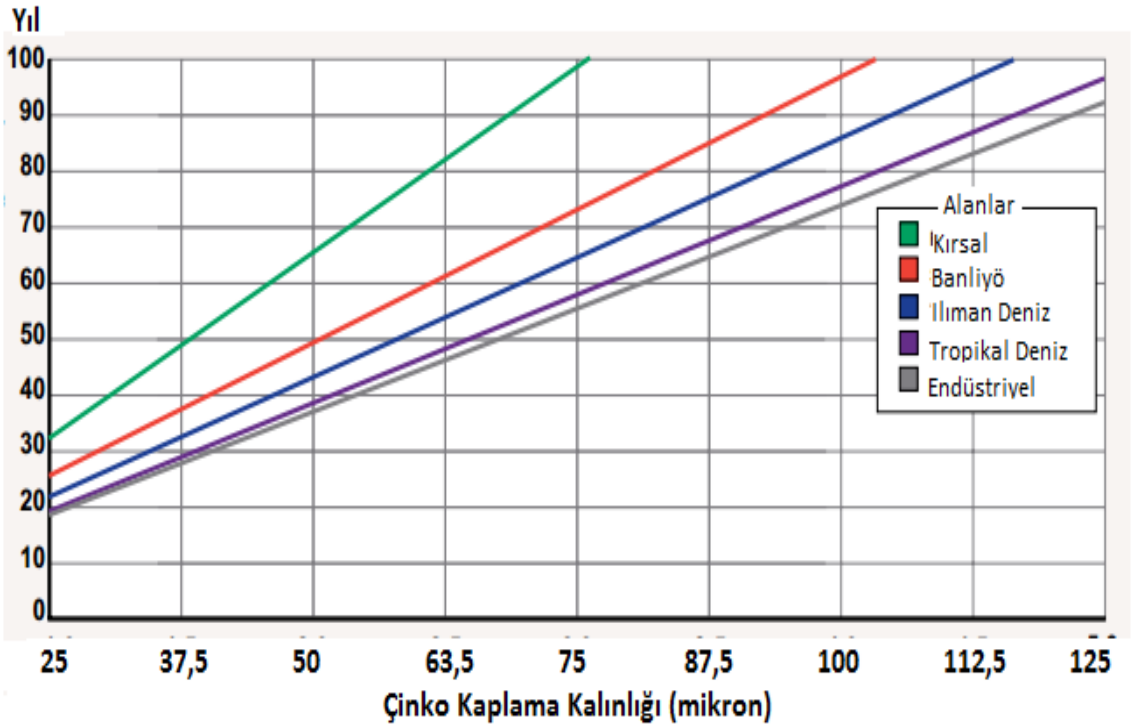
Sınıflandırma	**Tanım**	**Çelik Korozyon Oranı (µm/ yıl)**	**Çinko Korozyon Oranı(µm/ yıl)**
C1	İç: Kuru Ortam	≤ 1,3	≤ 0,1
C2	İç: Ortalama yoğuşma Dış: Kent içinde ve ılıman bölgeler	>1,3 - 25 arası	0,1-0,5 arası
C3	İç: Yüksek Nem, Biraz hava kirliliği Dış: Kent içinde ve ılıman sahil bölgeler	> 25-50 arası	0,5-2 arası
C4	İç: Yüzme Havuzları, Kimyasal fabrikalar Dış: Endüstriyel kentler ve kent sahil bölgeleri	>50-80 arası	2-4 arası
C5	Dış: Endüstriyel Yüksek nemli bölgeler veya Yüksek tuzluluk oranlı kıyılar	> 80-200 arası	4-8 arası

Çelik üzerinde korozyondan kaynaklanan malzeme azalması çinkoya göre 15-50 kat arasında artmaktadır. Bu durumda çeliği korozyona karşı korumak önemli bir maliyet düşürücü işlemdir ve bu kapsamda çinko kaplamalar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çinko kaplama ile çeliğin korunması iki yöntemle gerçekleştirilir. İlk yöntemde, çinko kaplama çeliği korozif ortamdan izole etmek için mekanik bir bariyer oluşturmaktadır. İkinci yöntemde ise herhangi bir mekanik hasar oluştuğunda, ortama karşı savunmasız kalan çeliğe göre anodik olan çinko galvanik koruma ile çeliği korumaya devam etmektedir.

Galvaniz kaplama yöntemleri çok çeşitli olmakla beraber en eski yöntemlerden birisi sıcak daldırma galvaniz yöntemidir. Kaplanan çeliklerin kullanım alanlarına, kullanıldıkları bölgelere ve diğer korozif değişkenlere bağlı olarak farklı galvaniz kaplama sistemleri kullanılır.

Galvaniz kaplamalar, çinko kaplama kalınlıklarına göre yıllarca kullanılabilirler. Şekil 2.2'de farklı kullanım bölgelerine göre galvanizleme yöntemi ile yapılmış kaplamaların, kaplama kalınlıklarına göre ömürleri verilmiştir.



Şekil 2.2 Korozyon miktarının çinko kaplama kalınlığı ve bölgeye göre değişimi [3]

Kırsal alanlarda 50 mikronluk bir kaplama ortalama 65 yıl koruma sağlarken endüstriyel alanda bu süre 35 yıla düşmektedir.

2.1 Galvaniz Kaplama Yöntemleri

Galvaniz kaplama yöntemleri'nin, sıcak daldırma galvaniz, sürekli sac galvanizleme, çinko boyama, çinko sprey kaplama, mekanik çinko kaplama ve elektrogalvaniz kaplama olmak üzere farklı çeşitleri mevcuttur. Kaplama çeşidi nihai ürünün kullanılacağı alana göre değişmektedir.

Kullanılan galvaniz yöntemlerine ait standartları ve kaplama kalınlıkları çizelge 2.2'de verilmiştir.

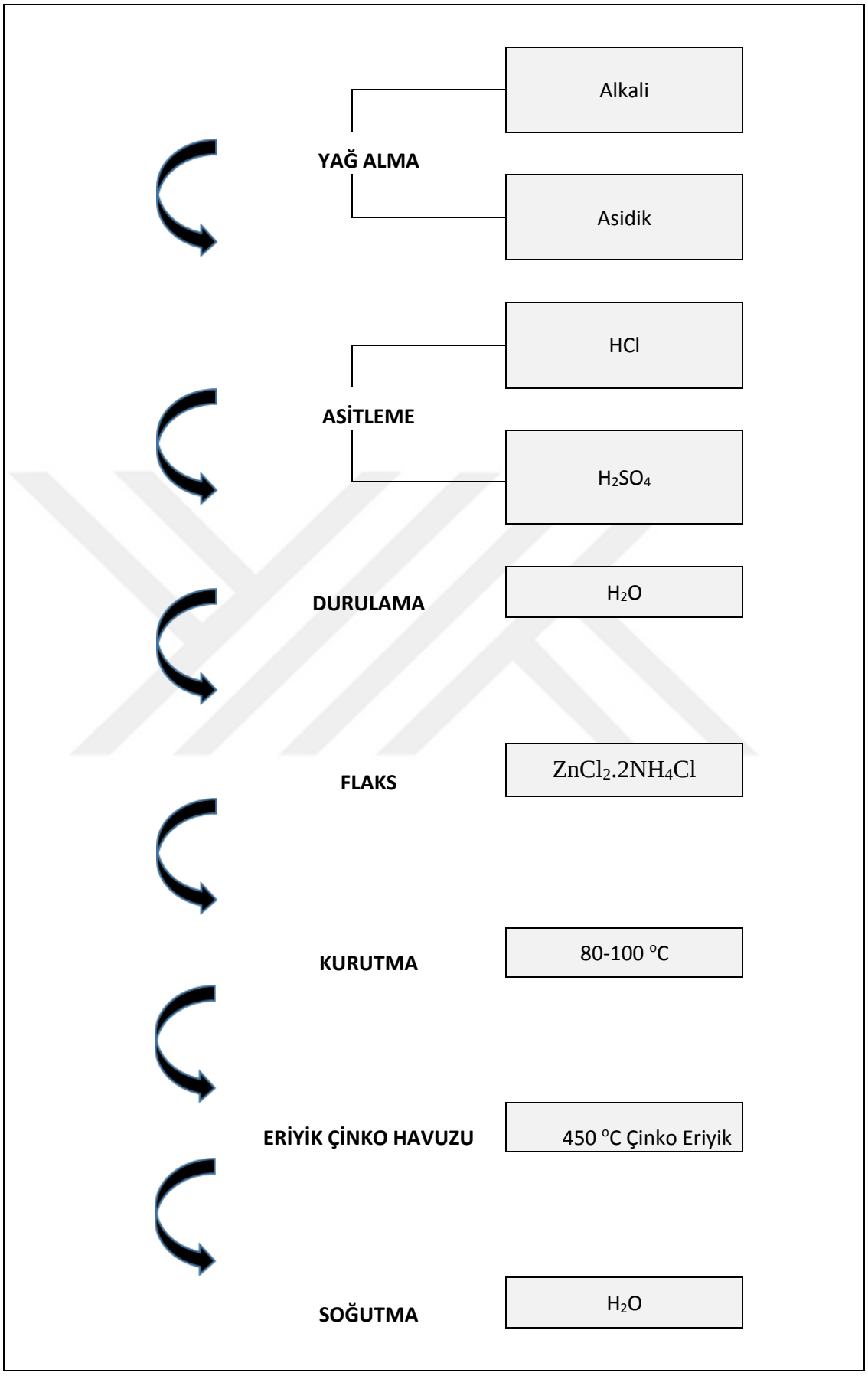
Çizelge: 2.2 Farklı galvaniz kaplama yöntemlerine ait standartları ve kullanım alanları [3]

Metod	**İlgili Standart**	**Kaplama kalınlığı mikron (µm)**	**Kullanım Alanı**
Sıcak Daldırma Galvaniz	ASTMA123, A153, A767, ISO 1461	35-200 mikron	Civata, elektrik nakil hatları, bariyer ve yüksek korozif alanlar
Sürekli Sac Galvanizleme	ASTMA 653	0-82 mikron	Sac metaller
Çinko Boyama	SSPC-PS Kılavuz 12.00-22.00	15- 152 mikron	Her alanda
Çinko Spray Kaplama	AWS C2.2	83-150 mikron	Her alanda
Mekanik Çinko Kaplama	ASTM B695	5-100 mikron	200-300 mm gibi küçük parçalarda
Elektrogalvaniz Kaplama	ASTM A879	0-12 mikron	Sac ve küçük parçalar

2.2 Sıcak Daldırma Galvaniz Yöntemi

Sıcak daldırma galvaniz işleminde kaplanacak çelik yüzeyi temiz olmalıdır. Bu kapsamda çelik ürünler bir seri ön işlem aşamasından geçmekte ve bu ön işlem aşamalarının verimliliği kaplamanın kalitesine ve çinko kullanımına direk etki etmektedir.

Sıcak daldırma galvaniz yönteminde ön işlemler ne kadar sıkı kontrol edilirse, galvaniz kalitesi o kadar iyi olmakta ve tekrar işleme maliyetleri gibi endirek maliyetler azalmaktadır. Şekil 2.3'te sıcak daldırma galvanizleme yönteminin işlem basamakları gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Sıcak daldırma galvaniz aşamaları

2.2.1 Yağ Alma İşlemi

Sıcak daldırma galvaniz kaplama da malzeme yüzeyinde yağ ve tufallerin temizlenmesi amacı ile yağ alma sistemleri kullanılır. Bu yağ alma sistemleri ticari galvanizleme tesislerinde ve sıcak daldırma galvaniz işlemlerinde ilk basamağı oluşturur. Yağ alma işlemi uygun şekilde yapılmaz ise kaplama hataları oluşacaktır. Şekil 2.4'te yağ alma sisteminin gerekli olduğunu gösteren bir numune görülmektedir.



Şekil 2.4 Yağlı çelik malzemesi [21]

Galvanizleme sisteminin kullanıldığı bölgeye veya uygulamaya göre farklı yağ alma sistemleri tercih edilebilir. Genel olarak asidik ve alkali olmak üzere iki çeşit yağ alma sistemi bulunmaktadır.

Alkali ve asidik yağ alma sistemlerinin özellikleri ve kendi içlerinde avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Alkali ve asidik yağ almanın özellikleri [21]

Yağ Alma Tipi	**Kullanılan Ana Madde**	**Isı Gerekliliği ve yoğunluk**	**Kullanım Süresi**
Alkali	*Sodyum Hidroksit *Potasyum Fosfat karışımı	>50 ^{o}C KH_2PO_4 :2,34 g/cm^3 NaOH : 2,1 g/cm^3	**Yağ oranı yükseldikçe doymuşluk artar ve %0,5 seviyesi civarında yağ iş görmez hale gelir ve kullanılmaz. Banyo değiştirilmelidir. **Yağ ve kirlilikler genellikle yüzeyde birikir. **Skimming yağ sıyırma sistemi gereklidir. **Alkali yağ almada durulama hemen yağ almadan sonra olur çünkü alkali yağ asit yapısını bozar. **Yüksek enerji ihtiyacı **Yüksek verim
Asidik	*Fosforik asit *Sülfirik asit *Nitrik Asit *Hidroklorik asit	Oda Sıcaklığı H_3PO_4 : 1,88 g/cm^3 H_2SO_4 : 1,84 g/cm^3 HNO_3 : 1,51 g/cm^3 HCl :1,18 g/cm^3	**Daha yağ alma prosesinde asitleme işlemi başlar **Yabancı yağlar, dibe tortu şeklinde çöker. Belirli sürelerle dipten tortu alınır ve yeni asit eklenir, Bu sebeple banyo süresi sınırsızdır. ** Alkali yağ almaya göre daha düşük verim

Ülkemizde çoğunlukla asidik yağ alma tercih edilmektedir. Kurulum esnasında genellikle %10 yağ, %90 su olacak şekilde banyoların kurulumu yapılır. Ülkemizde bulunan hava şartlarına göre ısıtma sistemi opsiyonel olarak kullanılabilir. Örneğin, güney şehirlerinde hava sıcak olmasından dolayı yağ alma sistemleri ekstra ısıtılmazken, iç anadolu ve diğer bölgelerde kışın soğuk havalarda etkinliği arttırmak için ısıtma sistemi kullanılabilir. Genellikle ürüne bağlı olarak yağ oranı az veya hiç olmayan ürünler 0-5 dakika, hafif yağlı ürünler, bor/metal kesme yağlı ürünler 10-25 dakika, soğuk haddelenmiş ürünler veya daha ağır yağlarda üretilen ürünler ortalama

25-40 dakika arasında havuzda bekletilir. Yağ alma kimyasalları etkinliği azaldıkça, bu süreler artmaktadır. Bu sebeple yağ alma banyolarının içindeki yağ oranları belli priyotlarla kontrol edilmelidir.

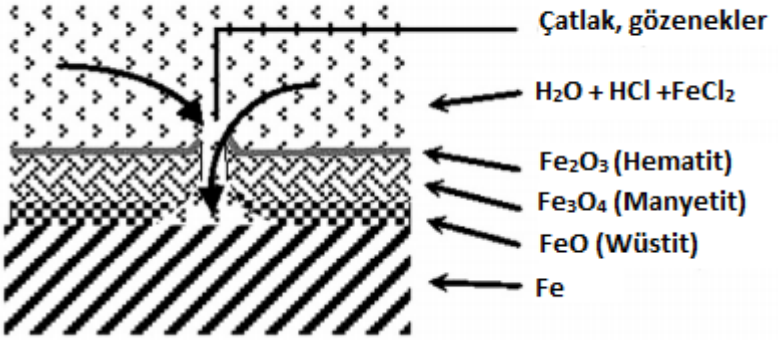
2.2.2 Asitleme İşlemi

Asitleme işlemi, yağ alma işleminden sonra inorganik bir asit kullanarak malzeme üzerindeki tufal, pas demir oksitler alınarak temiz bir metal yüzeyi elde edilmesi işlemidir. Genel olarak hidroklorik asit ve sülfürik asit olmak üzere iki tip asit kullanılır.

Çizelge 2.4 Asitleme işleminde kullanılan asitlerin özellikleri [22]

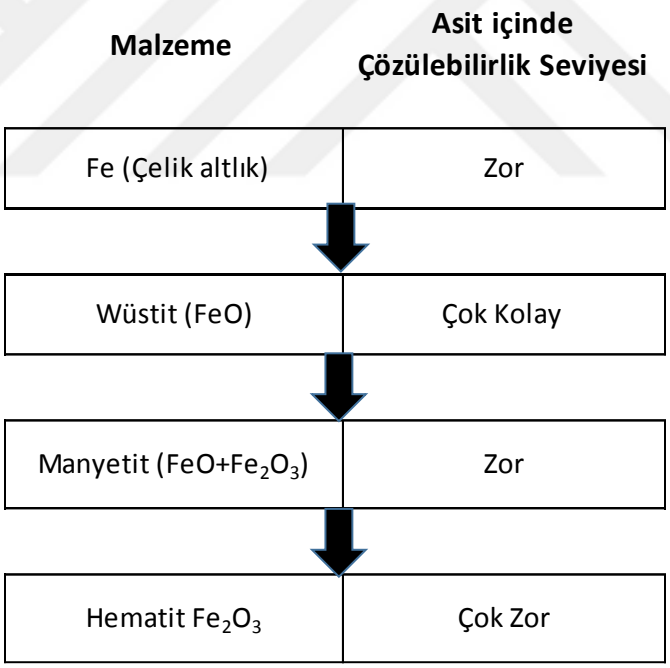
Asit Tipi	**Avantajı**	**Dezavantajı**
Hidroklorik Asit	**Oda sıcaklığında kullanım **Daha kapsamlı tufal kaldırma **Düşük hidrojen penetrasyonu **Asitlenmiş yüzeylerde düşük miktarda demir tuzu birikimi	**Oda sıcaklığı üstüne Isıtılırsa, duman Oluşumu **Asit geri kazanım sistemi pahalıdır **Ekipmanlara karşı daha koroziftir **Sülfirik asitten daha çok bertaraf Maliyeti mevcuttur **Anti asit inhibitörü kullanılarak çelik içine hidrojen difüzyonu engellenir.
Sülfürik Asit	**Yüksek sıcaklıklarda kullanılması daha efektif temizleme sağlar **Sıcaklığı değiştirerek asitleme oranı değiştirilebilir. **Demir sülfat kolaylıkla yeniden İşlenebilir. **Asit daha sıklıkla yenilenebilir.	**Ana metale karşı daha saldırgandır **Çelik içine daha fazla Hidrojen difüzyonu oluşur. **Asitleme artıkları daha fazla yapışkandır. **Asit solüsyonu ısıtılmalıdır. > 50 ^{o}C **Daha fazla enerji gerektirir.

Şekil 2.5 asitleme yöntemi ile tufal kaldırma prensibini göstermektedir.



Şekil 2.5 Asitleme yöntemi ile tufal kaldırma prensibi [21]

Şekil 2.6'da tufal tabakalarının çözülebilirlikleri verilmiştir. Çelik üzerinde pas tabakası kalınlaştıkça asit çözeltisinin çözünme süresi artmaktadır.



Şekil 2.6 Tufal tabakalarının çözülebilirlikleri [21]

Çelik üzerinde bulunan wüstit tabakası asit çözeltisinde kısa sürede çözünür ve verilen (2.1) ve (2.2) no'lu reaksiyonlar oluşur.

$$Fe(OH)_2 + 2HCl \rightarrow 2H_2O + FeCl_2 \qquad (2.1)$$

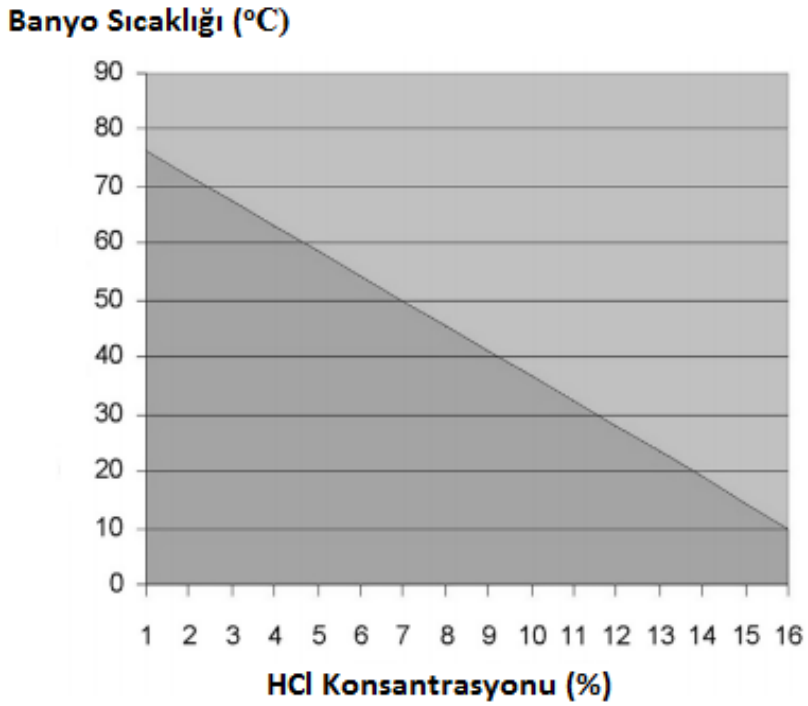
$$FeO + 2HCl \rightarrow H_2O + FeCl_2 \qquad (2.2)$$

Aynı zamanda, çelik üzerindeki demir ile HCl arasında (2.3) no'lu reaksiyon sonucu hidrojen açığa çıkabilir. Bu uygulama da kaçınılması gereken, zarar veren bir durumdur. Bu durumu engellemek için genellikle banyoya anti asit inhibitörü eklenir.

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2 \qquad (2.3)$$

Zamanla, asit banyosunda, serbest asit miktarı azalırken, demir klorür oranı artar ($FeCl_2$). Havuz içindeki $FeCl_2$ oranı arttıkça havuzun rengi yeşilden koyu yeşile döner. İlk aşamalarda $FeCl_3$ oluşur, kahverengi renklidir, ancak zamanla $FeCl_2$ ye döner. Banyo'nun HCl içeriği azaldıkça, $FeCl_2$ çözünmesi artar, ancak bu çözünme belli bir derişik değere kadar sürer ve durur [21].

Şekil 2.7'de asit banyo sıcaklığı ile % HCl derişikliği arasındaki ilişki gösterilmektedir



Şekil 2.7 Banyo sıcaklığı ve % HCl konsantrasyonu ilişkisi [21]

HCl derişikliği %2 civarına geldiğinde banyo kullanılamaz olur ve çürük asit olarak geri dönüşüm tesislerine gönderilir.

HCl asit banyoları genellikle % 32 derişik çözelti içeren HCl asitten %50 asit ve %50 su olacak şekilde kurulur ve %16 asit içeriği olması sağlanır.

2.2.3 Durulama İşlemi

Durulama işlemi, çelik ürünler asitleme işlemine tabi tutulduktan sonra yapılır. Durulama iki aşamadan oluşmaktadır ve her iki banyo da aynı su özelliklerine sahiptir. Durulama, asit banyosunda ortaya çıkan $FeCl_2$'nin flaks içine ve oradan da çinko havuzuna taşınmasını önlemek için uygulanır.

2.2.4 Flakslama İşlemi

Flakslama, eriyik çinko ile çeliğin reaksiyona girmesinde kritik öneme sahip bir ön işlem basamağıdır. Kaplama kalitesini ve çinko kullanımını etkilemektedir. Flaks farklı oranlardaki $ZnCl_2.NH_4Cl$ karışımdır. Kullanılan yönteme göre farklı flaks çeşitleri kullanılabilmektedir.

Flaks çeşitleri ve kullanım alanları çizelge 2.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 2.5 Flaks çeşitleri ve kullanım alanları [23]

Flaks İsmi	**Kimyasal Formül**	**ACN= %NH_4Cl / %$ZnCl_2$**	**Kullanım Alanı**
Mono Salt	$ZnCl_2.NH_4Cl$	0,39	Sac Galvanizleme
Double Salt	$ZnCl_2.2NH_4Cl$	0,79	Avrupa Genel Galv.(Kuru, Fırın)
Triple Salt	$ZnCl_2.3NH_4Cl$	1,18	USA Genel Galv.(Fırın Yok)
QuadaFlaks	$ZnCl_2.4NH_4Cl$	1,57	USA Genel Galv.(Fırın Yok)
PentaFlaks	$ZnCl_2.5NH_4Cl$	1,96	Boru ve tel
Top Flakses	n= 6,7,8 vb.	2+	Islak şekilde kullanım

Ülkemizde double salt kullanılmaktadır. Flaks kontrollerinde en önemli parametrelerden bir tanesi (kg/lt) ile ifade edilen bome (yoğunluk) değeridir. 22 'den küçük bome değerlerinde siyah leke olarak tanımlanan kaplama hatasına sebep olmakla beraber, 28' den büyük bome değerlerinde kaplamanın aşırı çinko çekmesine, çinko sıçramasına, aşırı kül oluşumuna ve daha çok duman oluşumuna sebep olur. Özellikle 42'den büyük bome değerinde, dış kısmı kuru ve ince olan iç kısmı ise kalın ve nemli ve lapa şeklinde kalın bir flaks tabakası oluşur. Bu daldırma işlemi çok yavaş yapılmalıdır aksi taktirde yüksek kalınlıkta çinko kaplama elde edilme tehlikesi vardır. Flaks banyosu sürekli kontrol altında tutulmalıdır. En önemli parametre %GZU (Gross zinc usage) değeridir.

% GZU = (Kullanilan Çinko Ton/Galvanizlenen Çinko Ton)x %100

Flakslama işleminde dikat edilmesi gereken önemli noktalardan biri olan ACN (Ammonium Chloride number) 1980 yılında Thomas H. Cook tarafından ortaya atılmıştır[23].

ACN = %Amonyum Klorür / % Çinko Klorür

<1 ACN değerinde, Flaks kurumaz ve nemli kalır. Bu Flaks'lar termal olarak stabildir, ve kurutma fırınına ihtiyaç duyarlar.

>2 ACN değerinde, Flaks termal olarak stabil değildir.

Flaks'ın ACN değeri genelde sabit kalmaz. Özellikle flaks sebebi ile oluşan hatalarda, malzeme üzerindeki çinko soyulmadan direk flakslama işlemi yapılır. Malzeme üzerindeki çinko flaks solüsyonunda çözünerek Çinko klorür'ü oluşturur. Çinko klorür artışı ACN değerini düşürür, Ph değerini ve Bome'yi arttırır. Uygulamada galvanizcilerin bir grubu, asitleme işleminden gelen asit'in zararlı etkisini engellemek için flaks banyosuna kuru kül, dross, çinko külçesi ekleyebilir. Bu işlemlerin hepsi çinko klorür miktarını arttırır. Diğer grup galvanizciler, uzun süre çinko klorür eklemez ve sadece amonyum klorür ekleyerek çalışırlar. Çinko ihtiyacını da hatalı çinko kaplı malzemeleri soyarak sağlarlar.

ACN değeri 0,79 dan 1,18 e veya 1,57 ye arttıkça, kullanılan çinko miktarı ortalama %20 azalır ve daldırma süresi ve kaplama kalınlığı azalır. Ancak ACN arttıkça, termal olarak stabilizasyon azalacağı ve yoğun kimyasal kompozisyon olacağı için daldırma sürelerine dikkat edilmelidir. Amerika da 1.4-1.6 ACN ile ortalama %5 GZU ile çalışılır [23].

Flaks banyosu ile oluşturulan kaplama işleminin fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

- Malzeme yüzeyini temizleyerek, çinko ile çeliğin reaksiyona girmesini sağlar.
- Islak malzemelerin çinko banyosuna girerken sıçramasını engeller.
- Düşük kaplama kalınlıkları oluşması için malzemede düz bir yüzey oluşturur.
- Yüzeyde oluşabilecek oksidasyonu azaltarak kül oluşmasını azaltır.
- Geniş yüzeyli parçaların veya iki defa daldırma yapıldığında malzemelerin yanmasını engeller.
- Ince malzemelerde oluşabilecek distorsiyonları engeller.

Marder [8], Amonyumklorür yanına, amonyum çinkoklorür ya da yüksek Al bileşimleri için sodyum aluminyumflorür de eklenebilir. Zn 'nin erime noktası yüksek olduğu için

zamanla banyonun viskozitesi artmaya başlar. Bu durumda banyoya amonyum klorür eklemesi yapılır. Optimum ısınma sıcaklığı 80 ºC'dir.

Boonyongmaneerat ve arkadaşları [24], flaks yapısında çinko klorür yerine nikel klorür ($NiCl_2$) eklenmesinin, kaplamadaki büyüme morfolojisini etkileyerek zeta fazını ζ ($FeZn_{13}$) azalttığı dolayısıyla tüm kaplama kalınlığının azaldığını belirtmektedirler. Bu etki Fe ve Zn atomlarının difüzyon reaksiyonlarını engellemesi ile açıklanabilir.

$$NiCl_2 + Zn = ZnCl_3 + Ni \qquad (2.4)$$

Ni, çinko havuzu içinde çözünerek, Fe atomlarının Zn atomlarına difüze olmasını engeller. Bu da ilk aşamada hızlı bir şekilde oluşan zeta fazının oluşumunu geciktirir.

Manna [25], Çinko amonyum, sodyum potasyum, kobalt ve kurşun klorür karışımı flaks, % 95 Zn–%5Al içeren havuz kaplaması öncesi kullanıldığında, flaks sebebi ile ortaya çıkan ve $AlCl_3$ hatasına sebep olan siyah leke hatasını engellediğini belirtmiştir.

Çinko klorür ve amonyum klorür oranı 3:2 oranın da olmalıdır. Flaks malzeme yüzeyinde oksidasyonu engellemek üzere bir tabaka oluşturur. Ortalama 450ºC sıcaklıktaki çinko banyosuna batırıldığında, malzeme üzerindeki NH_4Cl, Amonyum ve amonyak (NH_3)'e parçalanır. Zn, Cl ile $ZnCl_2$, çinko'nun yüzey gerilimini azaltır, yüzeyi aktif eder ve metalurjik reaksiyonun başlamasını sağlar. Flaks içinde Fe olması, Flaks'ın pH değerini yükseltir. Ortalama flaks pH değeri 4,5 tir, bu da asidik bir reaksiyon olduğunu gösterir. Ayrıca asit solüsyonundan Flaks'a demir klorür geçmesi doğaldır. Parçalarda uygun drenaj kanallarının olmaması burada HCl taşınmasına sebep olup, Flaks içindeki demir oranının artmasına sebep olur

2.2.5 Kurutma

Flaks işlemine tabi tutulan ürünler 80-100 ºC sıcaklıkta tutulan kurutma fırınına alınır ve çelik üzerindeki flaksın kurutulması sağlanır. Kurutma işlemi 450 ºC sıcaklıktaki çinko eriyik içine giren çelik malzemenin sıçramaması için büyük önem arz etmektedir.

2.2.6 Çinko Havuzu (Galvanizleme)

Kurutma fırınından çıkan ürünler çinko havuzuna daldırılmak sureti ile galvanizleme işlemi gerçekleştirilir. Daldırma işleminde, asma açıları, daldırma süresi, çekme süresi ve galvaniz ocağı içindeki eriyik çinko kimyasal yapısı çok önemlidir.

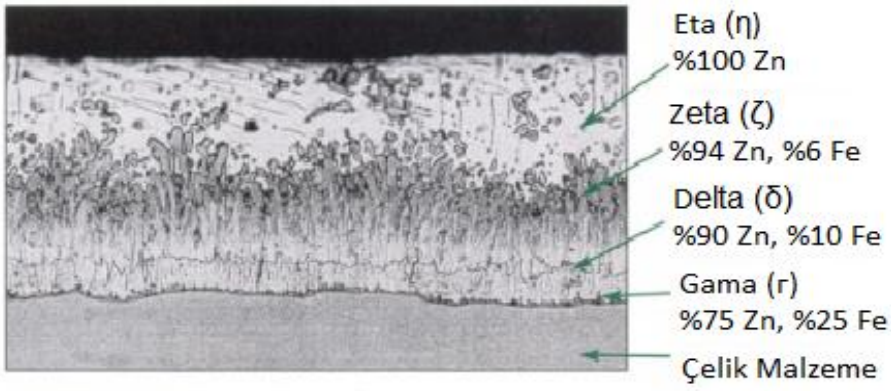
- Asma açılarının doğru açıya yakın olması akışı hızlandıracağı için daha düşük kaplama kalınlıklı kaplamalar elde edilmesini sağlar.
- Çekme süresinin hızı kaplama kalınlığının ince veya kalın olmasını sağlar.
- Galvaniz eriyik çinko havuzu bileşimi % Pb, Ni, Bi, miktarları belli miktarlarda kaplama kalınlığını düşürücü etki yapar.

2.3 Sıcak Daldırma Galvanizlemeye Etki Eden Faktörler

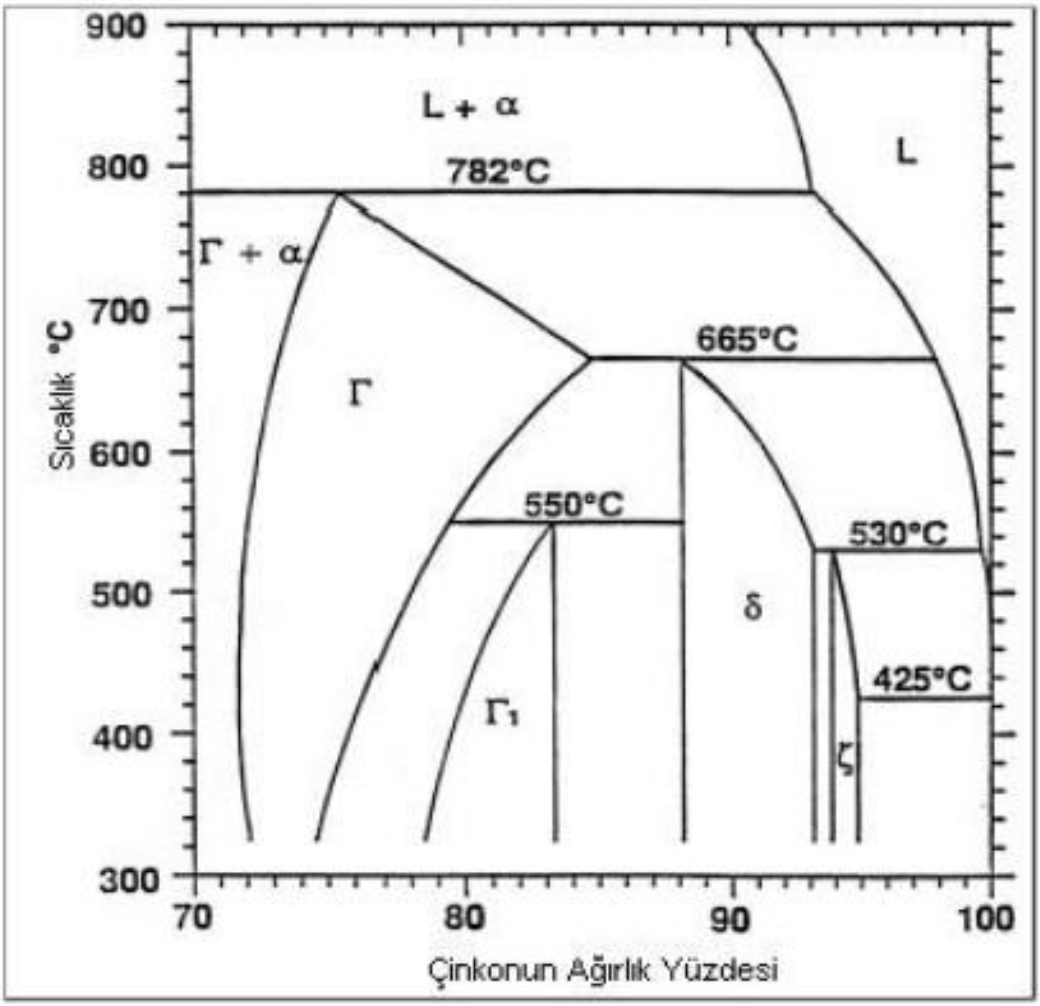
Galvaniz sıcak daldırma işleminde oluşan kaplamanın kalınlığını, çelik bileşimi, ön işlem tankları kimyasal özellikleri, sıcak daldırma parametreleri, çinko havuzuna eklenen bileşikler, çinko havuz sıcaklığı vb. bir çok parametre etkilemektedir.

2.3.1 Çinko Kaplamanın Yapısı

Çelik malzeme çinko kazanına daldırıldığında, çinko ve demir arasında farklı heterojen fazlar oluşur. Çinko kaplanmış çelik katılaştıktan sonra, %100 çinko içeren (η-eta layer), intermetalik faz içeren ikinci tabaka (%94 Zn, %6 Fe) zeta (ζ- zeta layer), üçüncü faz delta (δ) layer (%90 Zn-%10 Fe), dördünce tabaka gamma (Γ) gama-layer(75%Zn–25% Fe) fazı oluşur [27].



Şekil 2.8 Galvaniz ana fazları [26]

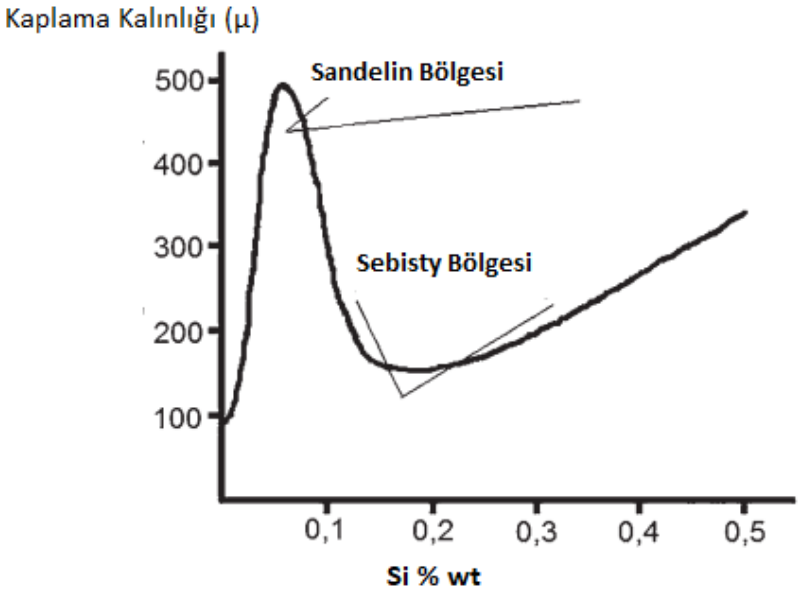


Şekil 2.9 Zn-Fe diyagramı- çinko zengin kısmı [8]

2.3.2 Çeliğe Katılan Alaşım Elementlerinin Galvaniz Kaplama Kalınlığına Etkileri

Çelik bileşimi içinde bulunan elementler çinko'ya eğilimlerine bağlı olarak kaplama kalınlıklarının kalın veya ince olmasına sebep olur. Çelik bileşimindeki elementler arasında Si ve P en büyük etkiye sahiptir.

Si elementi, çeliğin içindeki Fe'nin çinko içindeki çözünürlüğünü arttırır. Bu ise aynı anda kalın ve yetersiz yapışmaya sebep olmaktadır. Yapılan farklı çalışmalara göre, belli Si oranlarına göre kaplama kalınlık etkisi belirlenmiştir. Si<% 0,03 en iyi yapışma ve en düşük kaplama kalınlığını, 0,03< % Si <0,12 % Si, Sandelin etkisi, yüksek kaplama kalınlığı, kötü yapışma özellikleri gösterir. 0,15< %Si <0,25, % Si ise Sebisty bögesidir. Si'a bağlı olarak ortaya çıkan bölgeler şekil 2.10'da gösterilmektedir.



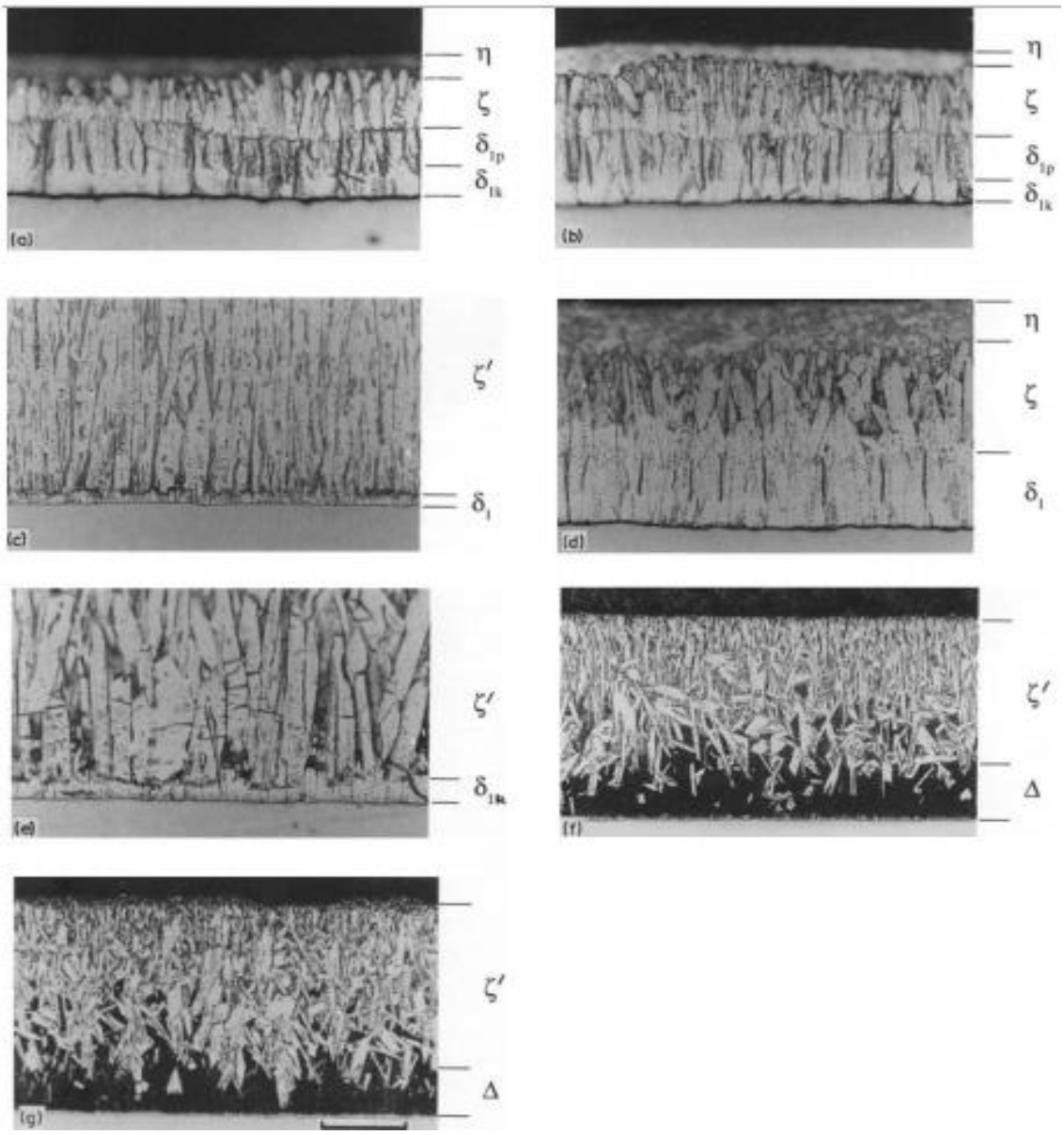
Şekil 2.10 Si oranına bağlı olarak oluşan bölgeler ve kalınlıkları [5]

Şekil 2.10'da oluşan bölgelerin özellikleri çizelge 2.6'da verilmektedir

Çizelge 2.6 Si oranına bağlı olarak galvaniz kaplamada oluşabilecek bölgelerin özellikleri [5]

% Si	Kaplama Kalınlığı	Yapışma	Fazlar
<0,03	Düşük	Iyi	Delta Fazı (Bu faz demir atomlarının difüzyonunu engeller)-Küçük zeta fazı
>0,03<0,12	Çok Yüksek	Kötü	Büyük bir zeta fazı oluşur. Kırılgan bir kaplama oluşur, mekanik deformasyona hassastır.
>0,15<0,25	Yüksek	Orta	Zeta fazı oluşur, kontrolsüz bir şekilde büyür ve porozite ve hatalar oluşur.
>0,25	Yüksek	Orta-Kötü	Sandelin gibi, kötü değil, ancak dengesiz bir zeta fazı oluşur. >0,28 üzerine tavsiye edilmez.

Tomlinson ve Patel [28], tarafından yapılan çalışmada Si değeri, %0,02-0,45 olan farklı çelikler saf çinko içeren banyoda galvanizleme işlemine tabii tutmuştur. Elde edilen mikro görüntüler Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Farklı % Si oranlarının çinko kaplamadaki mikro yapıya etkisi [28]

a) 0,02 % Si,
b) 0,012 % Si,
c) 0,059 % Si,
d) 0,172 %Si,
e) 0,26 %Si,
f) 0,34 %Si,
g) 0,45 % Si,

Çelik içine katılabilecek diğer alaşım elementlerinin galvanizlemeye olan etkisi tablo 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.7 Çelik içindeki elementlerin galvanizlemeye etkisi [5]

Element %	**Kaplama Kalınlığı**	**Yapışma**	**Fazlar**
P	Kalın	Kötü	Çelik içindeki %P oranı arttıkça, çinko içindeki demir çözünme oranı artacak bu ise zeta fazının domine ettiği kalın fazın oluşmasına neden olacaktır. Bu da uygun olmayan düzensiz bir kaplama oluşturur.
C	Kalın	Kötü	%C miktarı <%0,20 olan çeliklerde herhangi bir etkisi görülmemiş olmakla beraber, %C miktarı >0,30% olan çeliklerde, demirin çinko içindeki çözünmesi arttığı ve kırılgan zeta fazının büyüdüğünü göstermiştir.
Al	-	Orta	Al, Si 'a göre daha yüksek affinitesi vardır ve değerinin yüksek olması Fe_2Al_5, $FeAl_2$, $FeAl_3$ gibi intermetalik fazların oluşmasına sebep olabilir. Galvanizleme sırasında çelik içindeki Al, yüzeye difüze olarak düzensiz Fe_2Al_5 oluşturabilir.
Mn	Sıkı	Orta	Mangan'ın ihmal edilebilir oCde etkileri mevcuttur. Sadece % Mn >1,25% olan çeliklerde sıkı yapıda zeta fazı oluşturduğu için galvaniz için pozitif etki gösterir.
S	Kalın	Kötü	%S >0,15% olan çeliklerde, düzensiz zeta fazı oluşturarak, kalın kaplama oluşturur.

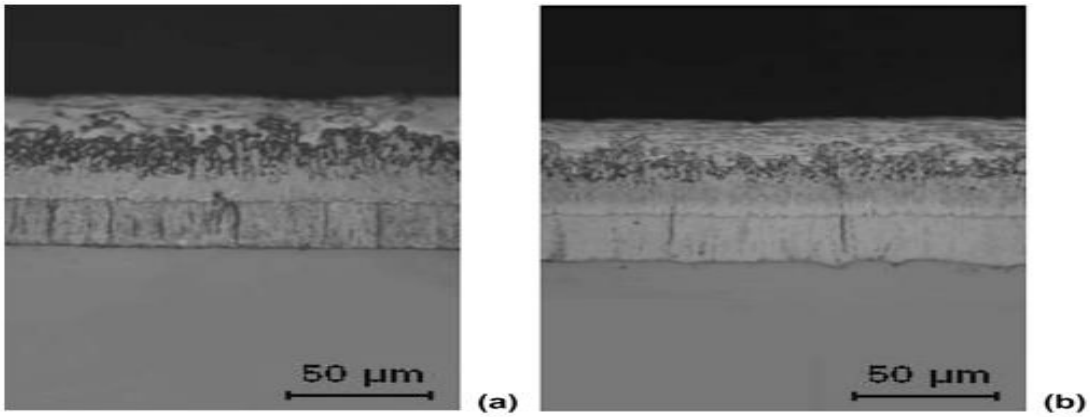
2.3.3 Çinko Havuzuna Katılan Elementlerin Etkisi

Çinko havuzuna katılan elementler, Ni, Pb, Bi, Sn ve Al olabilir. Bu elementler beraber ya da ayrı ayrı şekilde de atılabilir. Ayrı ayrı veya beraber atıldıklarında etkileşimleri değişmektedir.

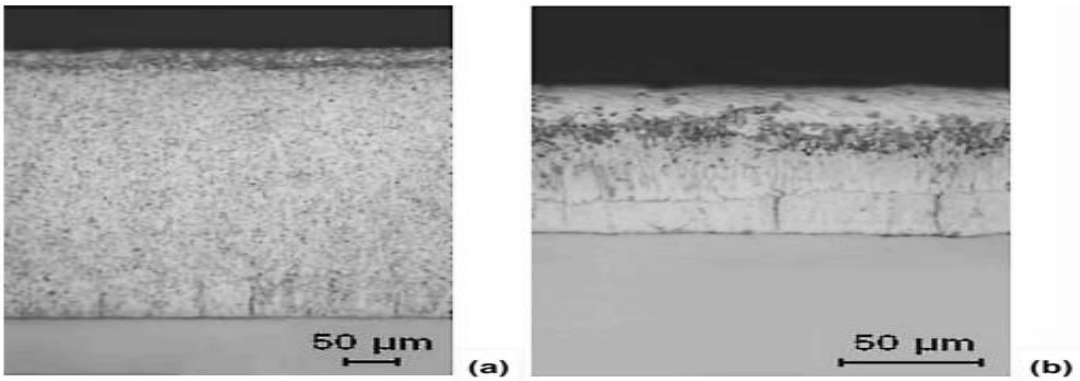
2.3.3.1 Ni Elementinin Etkisi

Notowidjojo, [17] yaptığı çalışmada, Ni elementinin özellikle Sandelin bölgesinde etkileşime geçerek yapının daha sıkı olmasını sağladığını göstermiştir. Farklı Si % değerleri içeren çelik bileşimine sahip çeliklere, 0,055% Ni eklemiş ve çıkan mikroyapıları incelemiştir. Ni elementinin etkisi ile zeta fazın büyümesininin bastırıldığı ve kaplama görünümünün iyileştiğini belirtmiştir. Şekil 2.12 farklı Si bileşenlerine sahip malzemelerin %0,055 Ni içeren çinko havuzuna batırıldıktan sonra oluşan mikroyapıları göstermektedir.

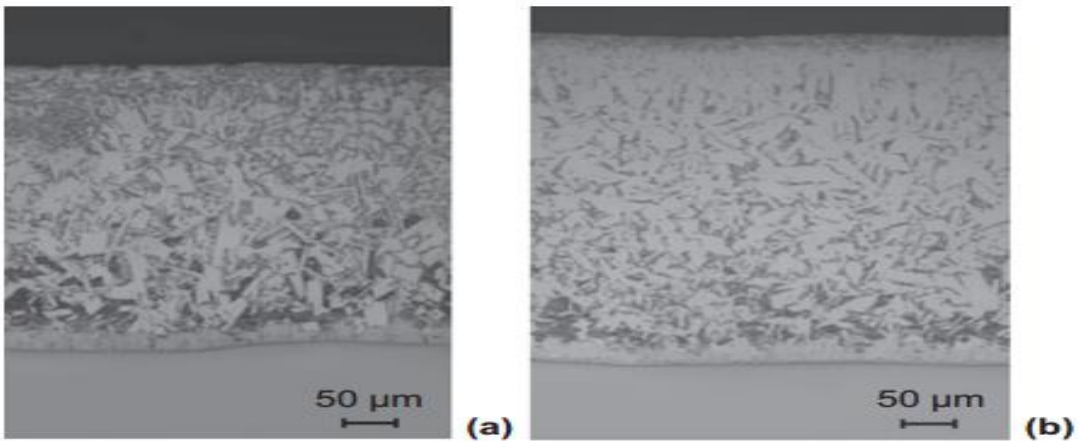
(1)



(2)



(3)



Şekil 2.12 Farklı % Si bileşenlerinde Ni eklenmiş ve eklenmemiş kaplamaların mikro görüntüsü [17]

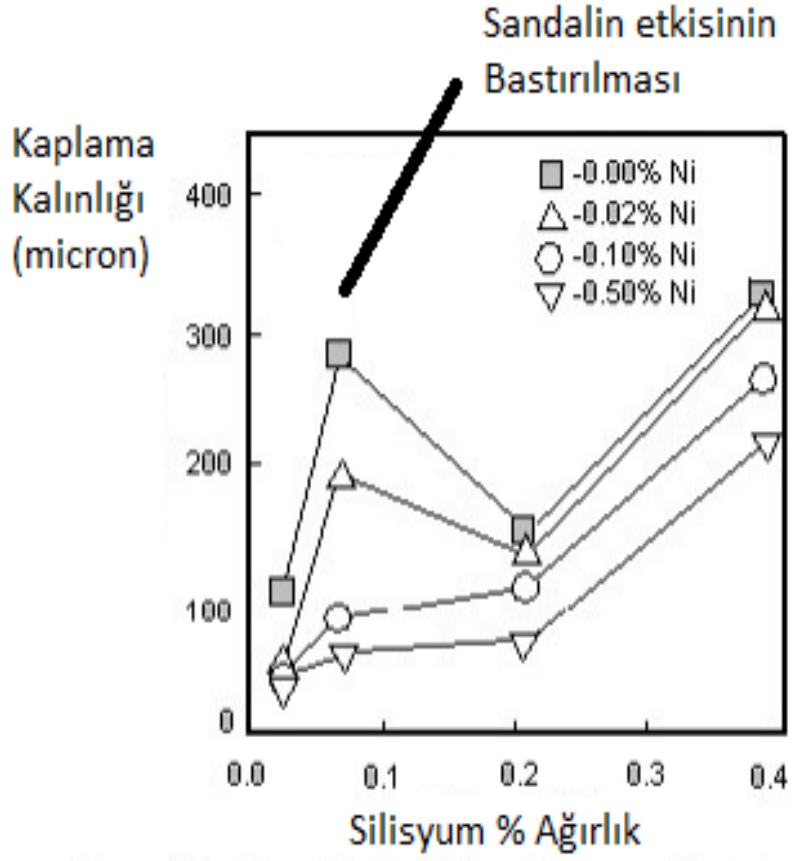
(1) Si oranı % 0,01 olan havuzda, a) Ni eklenmemiş b) 0,055 %Ni eklenmiş

(2) Si oranı % 0,05 olan havuzda, a) Ni eklenmemiş b) 0,055 %Ni eklenmiş

(3) Si oranı % 0,32 olan havuzda, a) Ni eklenmemiş b) 0,055 %Ni eklenmiş

Pistofidis vd. [15], çinko havuzuna %0,06 civarında Ni eklenmesinin, Fe-Zn fazları arasındaki termodinamik, morfoloji ve kinetikleri değiştirdiğini belirtmiştir. Çinko havuzuna Ni eklenmesi, oluşabilecek sandalin etkisini de durdurur. Ayrıca Zn-Ni alaşımları içeren galvaniz kaplamaların korozyon direncini de arttırır.

Lewis ve Pedersen, [16]. %0,02 Ni içeren çinko eriyiğin bile Si 'un sandalin etkisini azaltmaya yetebileceğini göstermiştir. Ancak genel olarak 0,05%-0,06% civarında kullanmanın uygun olduğunu belirtmiştir. Kullanım miktarının artması (Ni% >0,07), Ni elementinin dross'a karışmasını arttırarak maliyet artışına sebep olmaktadır. Maliyet artışı Ni elementinin dross'a karışması şeklinde olduğunu belirtmiştir. Ni etkisi Si oranı <0,20 olan elementler için geçerlidir. Daha yüksek Si oranlarında etkisi azalmaktadır. Şekil 2.13'te farklı Ni% bileşimi içeren ve farklı Si % bileşimindeki çeliklerdeki kaplama kalınlık değerleri verilmiştir.



Şekil 2.13 450 ºC'de farklı %Ni bileşenlerinde sandelin etkisinin bastırılması [16]

Banyodaki Ni oranı %0,06 altında olduğunda kaplama, zeta intermetalik faz olarak oluşur. Ni oranı > %0,06 durumunda ise, üçlü Zn-Ni-Fe, gama yapısı oluşur. Zeta fazında <%1 Ni mevcut iken, Gama fazı %2-3 oranında Ni içerir. Yüksek sıcaklıklarda

>450^{o}C çalışmak Ni'in çözeltiye daha çok geçmesini sağlarken, Daha düşük sıcaklıklarda dross'a geçmesine neden olur. Ancak sıcaklığın sabit olması istenen durum olmakla beraber, sıcaklıktaki değişimler dross'a karışma oranını arttırır. Uygulama sırasında Ni % değerinin % 0,01 e kadar düşmesi beklenmemeli az az eklenmek sureti ile oranı sabit tutulmalıdır, aksi taktirde dross' a karışma miktarı artacaktır.

Al'un fazla olması Ni etkisini azaltmaktadır. Bu sebeple %0,002 Al den fazla olmaması uygundur.

Kong vd. [29].Çinko havuzunun Fe ile sürekli aşırı doymuş halde bulunduğunu belirtmiştir. Sıvı çinko içindeki Fe 'nin çözünürlüğü maksimum %0,03 tür.(kütlesel olarak), kalan fazla Fe ocak içinde dip dross olarak ζ ($FeZn_{13}$) çöker. Katı nikel'in Fe ile doymuş sıvı çinko içinde çözünme mekanizması Saf Çinko'nun içinde Ni'in çözünmesinden farklıdır. Γ2 fazının formasyonu katı-sıvı arafazında konsantrasyon sınır tabakası kalınlığını azaltırken, sıvı nikel içindeki çözünme hızını arttırdığını belirtmiştir.

2.3.3.2 Teknigalva Yöntemi ile Ni Element Etkisi

Teknigalva yöntemi havuz bileşim oranı Zn-%0,1Ni içeren kaplama sistemlerine verilen addır. Ince bir zeta fazı ve kalın bir delta ve ardından ince bir gama fazı oluşur. Genelde çeliğin hemen üstünde yer alır ve optik mikroskop ile görülmez. Nikel parlak bir yüzeyin oluşmasında etkilidir. Şöyle ki, Çelik içinde Si olduğunda, yüzeyde mat bir görüntü olur, bunun en büyük sebebi çinko kaplanmış çelik havuzdan çıktıktan sonra bile çinko ile çelik arasında reaksiyon devam etmesidir. Çeliğe yapışan serbest çinko tükenene kadar reaksiyon devam eder, öyle ki katı intermetalik bileşik yüzeyde çıkıntı olarak büyüyene kadar devam eder. Mikroskop ile incelendiğinde yüzey pürüzlü olacaktır ve görüntü mat olacaktır. Fe-Zn-Ni üçlü fazının varlığı çinko zeta arayüzeyinde reaksiyonu durdurarak parlak olmasını sağlar. Tekni-Galva yönteminin dezavantajı %30-60 oranında Ni 'in dross ile kaybolmasıdır. Ocağın karıştırılması %80 oranında iyileştirme sağlasada kayıp büyüktür. Dip dross'un diğer bir dezavantajı galvaniz kazanı'nın da zarar görmesine sebep olmasıdır. Yüzey dross'u ise "pimple effect" olarak tanımlanan hatayı oluşturur. Bu hata yüzeyde sivilceli ve pürüzlü bir yapının meydana gelmesi olayıdır [17].

2.3.3.3 Çinko Havuzu İçindeki Diğer Alaşım Elementlerinin Kaplama Kalınlıklarına Etkisi

Kamien ve Liberski [10], çalışmalarında çinko havuzu içindeki Pb elementi'nin, çinko ile karıştığında, akışkanlığı arttırmasına rağmen çevreye zararlı etkilerinden dolayı Bi ve Sn kullanılmasını önermektedirler. % 0,1 oranında kullanılan Bi, %1 Pb gibi etki göstermektedir.

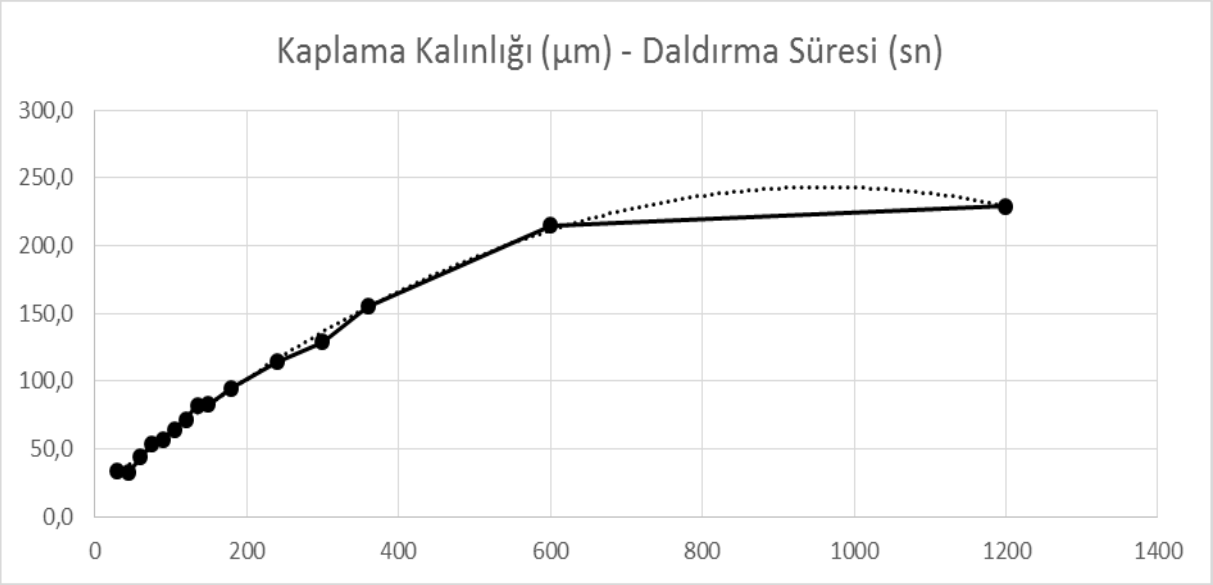
Vala [14], çinko havuzu içindeki Pb elementinin %1 'e kadar, eriyik çinko viskozitesi üzerine etkisinin olmadığını belirtmiştir. Ancak %1 'e kadar Pb eklenmesi, saf çinkoya göre yüzey gerilimini %40 azaltacaktır. Eriyik çinkonun yüzey geriliminin azalması, çelik malzeme üzerinden daha kolay akmasını sağlamaktadır.

Al elementi çinko eriyik içine eklendiğinde kaplanmış malzemenin parlaklığını artırır, % 0,005'e kadar olması durumunda yüzeyde Al_2O_3 sürekli faz oluşturarak ocak yüzeyi oksidasyonunu azaltır ve Fe-Zn intermetalik kırılgan fazının oluşmasını engeller. Oluşan Al oksit tabakası, oksidasyon sebebi ile yüzeyde kül oluşumunu da azaltır. Ancak Al miktarı % 0,01 değeri üzerinde olursa Al, bir flaks bileşeni olan klorür ile reaksiyona girerek etkinliği azaltır.

2.3.4 Kaplama Kalınlığına Etki Eden Diğer Parametreler

Peng Bicao vd. [13], yaptıkları çalışmada, çelik numuneleri, 450^{o}C- 530^{o}C arasında, 10^o C lik aralıklarla ve farklı daldırma sürelerinde eriyik çinko kazanına daldırmışlardır ve 450^{o}C- 470^{o}C arasında, daldırılmış ürünler incelendiğinde delta fazının üzerinde kompakt zeta fazı oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Daldırma sıcaklığı 480 ^{o}C olduğunda, zeta fazı kararsızlaşıp bozunduğundan galvanizleme işlemi için uygun olmadığını belirtmişlerdir.

Çelik malzemenin, çinko eriyik içinde kalış süresinin artması, kaplama kalınlığının artmasına sebep olur. Çinko kaplama kalınlığı 600 sn'ye kadar sürekli artmakta, ardından kaplama kalınlığı artışı doyuma ulaşmakta ve sabitleşmektedir. Şekil 2.14 kaplama kalınlığı ile daldırma süresi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 2.14 Sıcak daldırma süresi ve kaplama kalınlığı arasındaki ilişki

Dalış açısı, 180º'ye yaklaştıkça, kaplama kalınlığı azalır. Çünkü ürünler ne kadar dik asılabilirse yüzeyden o kadar daha iyi çinko akabilir. Aksi taktirde eğim sebebi ile çelik üzerinde kalan eriyik çinko, kaplama kalınlığını arttırıcı etki yapar. Ayrıca çelik malzemenin çinko eriyik kazanı içine dalış süresi arttıkça kaplama kalınlığı artar.

2.3.5 Ni Kayıpları- Dross Oluşumu

Notowidjojo [17], Ni elementinin, eriyik çinkodan daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu için, çözünemeden dibe çöktüğünü, dipte ise Fe ile reaksiyona girerek kaldığını ve dross yapısını oluşturduğunu belirtmiştir.

Kryzwicki ve Langill [30], Dros'un üç farklı şekilde oluştuğunu belirtmiştir.

[1] Asit içinde oluşan demir tuzları

[2] Flaks ve çelik arasında oluşan demir tuzları

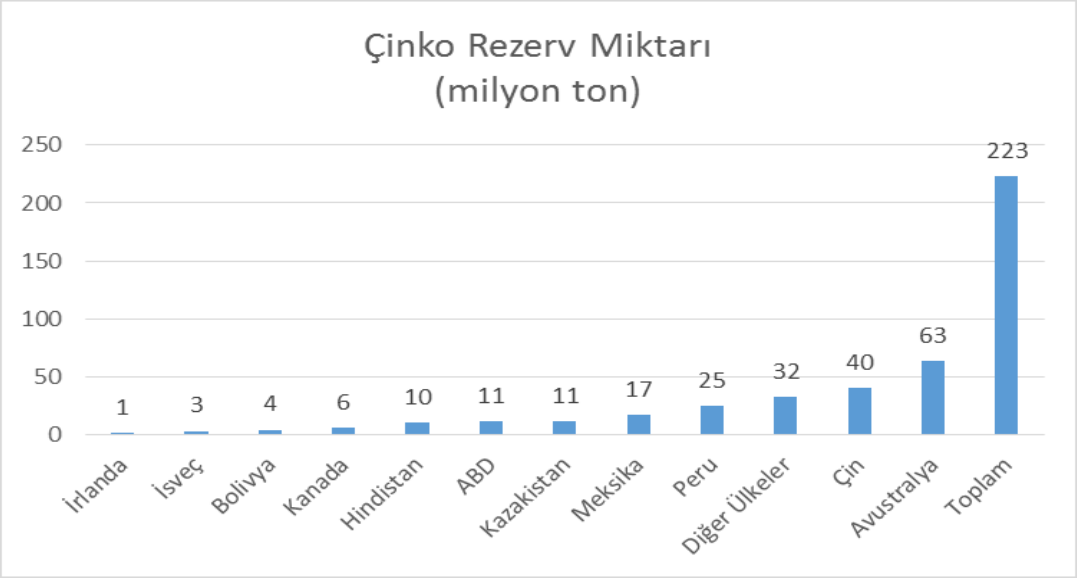
[3] Çelik ve çinko'nun birbirleri arasındaki reaksiyondan dolayı oluşan çelik-çinko alaşımları sebebi ile oluşur ve çinko havuzu dibine çöker. Sıkı olmayan tufal parçaları çinko ile reaksiyona girdiğinde, sıcaklığın da düşmesi ile çözünebilirlikleri azalır ve çözünmeden Fe-Zn yapısı oluşturarak dibe çöker. Benzer reaksiyon çinko kazanının kendisi ile çinko arasında da meydana gelir ve dros miktarının artmasına sebep olur.

Dross'u azaltmak için;

- Asitlemeden sonra iyi bir şekilde durulama
- Flaks demir ve pH kontrolü
- Flakslama süresi ve sıcaklık
- Flakslama ve Galvanizleme süresinin minimum olması
- Flakslama dan sonra kurutma
- Galvaniz sıcaklığını düşürme
- Çelik daldırma süresinin kontrolü
- Dross'un sürekli ve düzenli olarak alınması önem arz etmektedir.

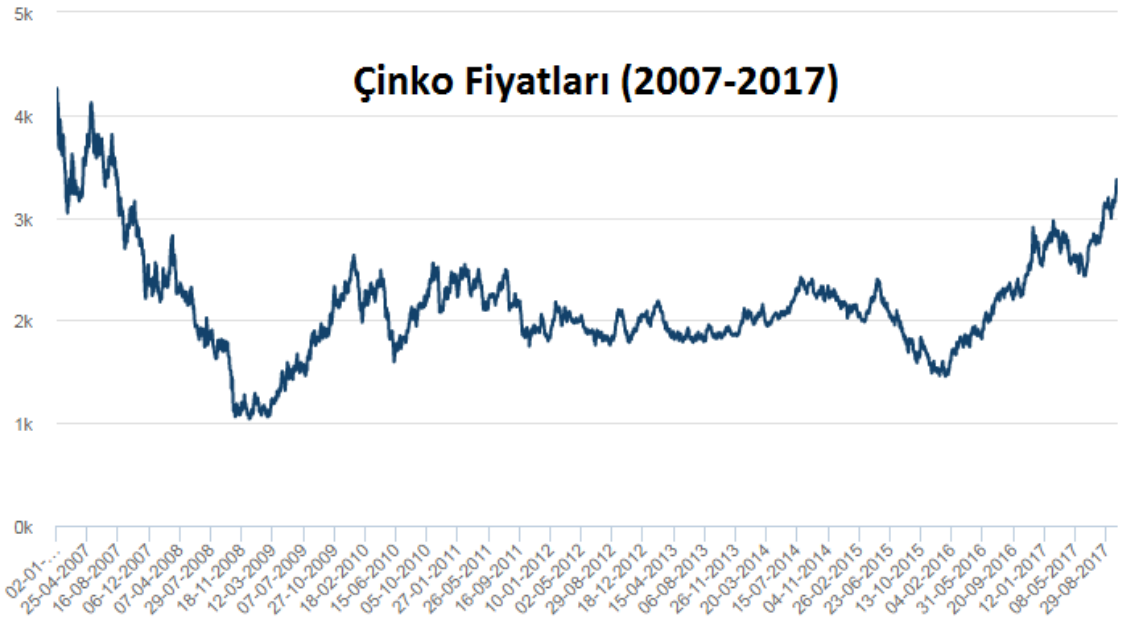
2.3.6 Çinko Havuzuna Katılan Zn, Ni ve Diğer Alaşım Elementlerinin Yıllar İçinde Dağılımı

Ülkemizde Çinko rezervi işletilemeyecek kadar az miktardadır. Bu sebeple Çinko metali dışarıdan ithal edilmektedir. Şekil 2.15'te Amerika Jeoloji Anketine göre resmi dünya çinko rezerv miktarları gösterilmektedir.



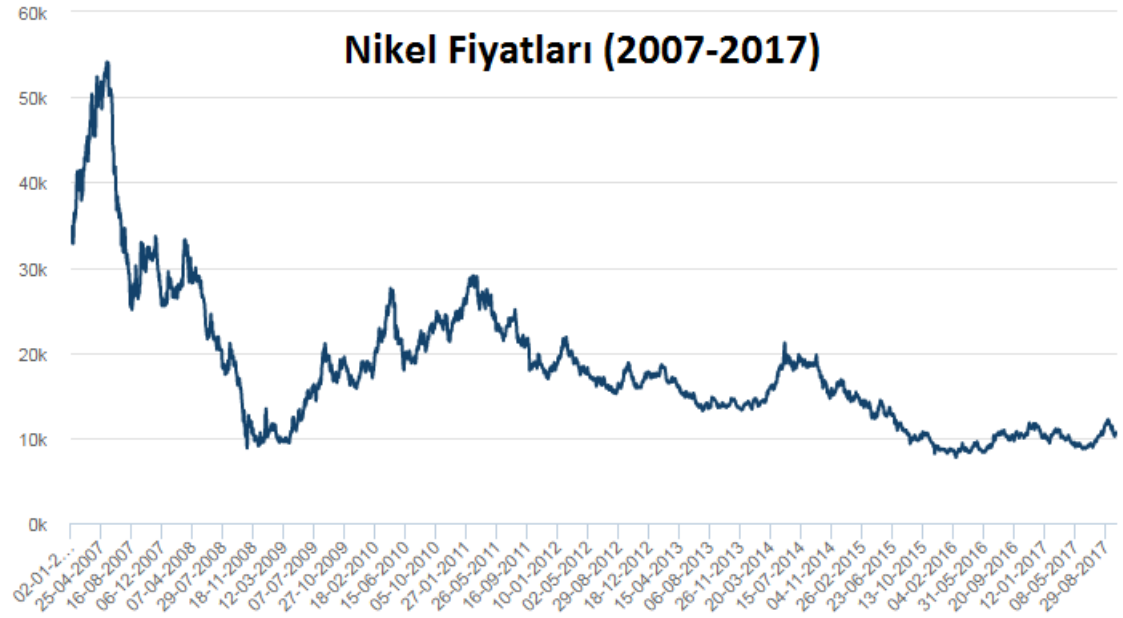
Şekil 2.15: Amerika jeoloji anketine göre resmi çinko rezerv miktarları [31]

Çinko fiyatlarının 2017 sonu itibari ile Londra metal borsası verilerine göre ortalama 3.000$/ton üzerinde olması galvanizleme işlemlerinde optimizasyonu zorunlu kılmaktadır. Ayrıca ortlama 150-200$ Navlun ücretinin oluşması diğer bir ek maliyettir. Şekil 2.16'da çinko fiyat değişimleri verilmektedir.



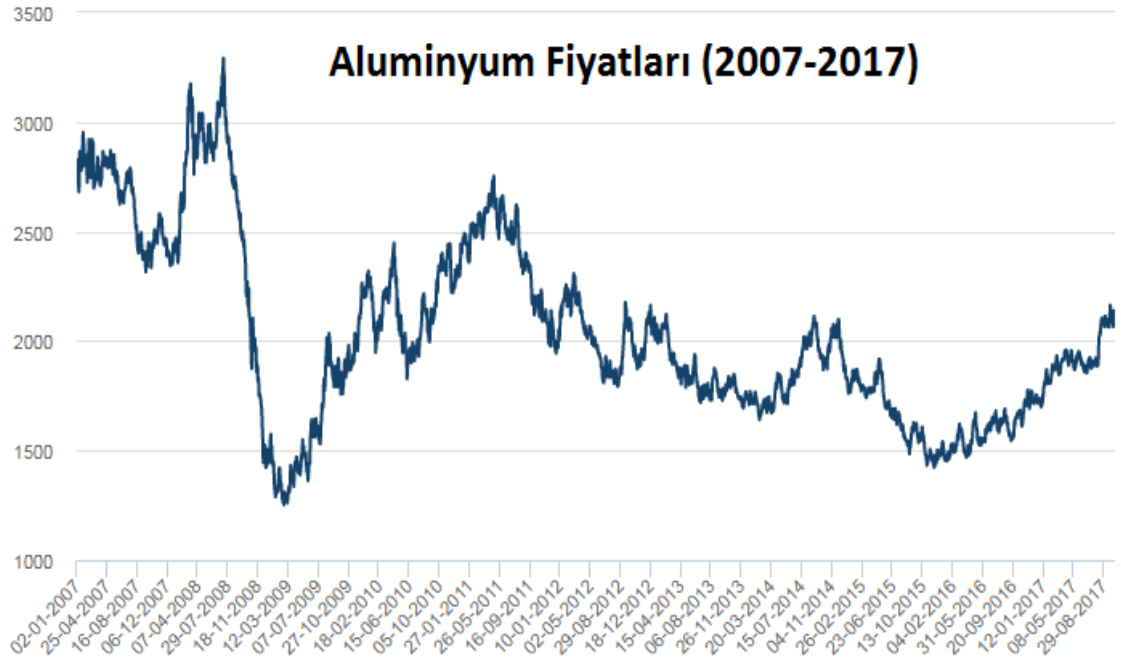
Şekil 2.16 LME yıllara göre çinko fiyatları [32]

Galvaniz kaplama kalınlıklarının düşmesini sağlayan nikel elementi ile ilgili fiyat değişimleri şekil 2.17'de verilmektedir.



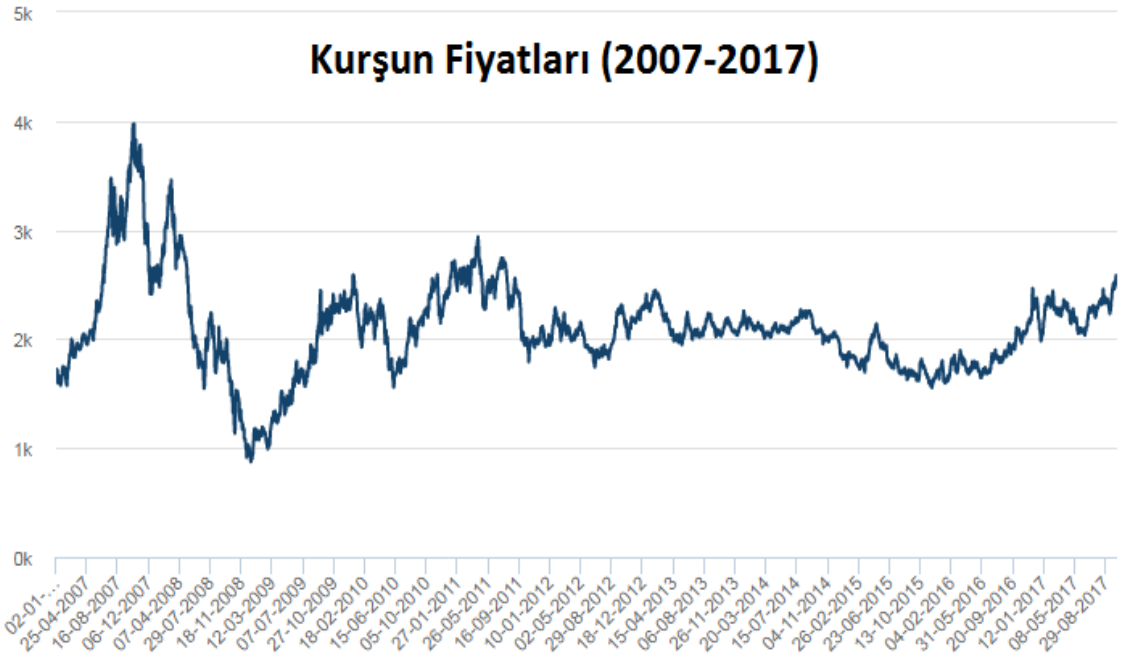
Şekil 2.17 LME yıllara göre nikel fiyatları [33]

Galvanizde parlaklık sağlayan aluminyum elementi ile ilgili fiyat değişimleri şekil 2.18'de verilmektedir.



Şekil 2.18 LME yıllara göre aluminyum fiyatları [34]

Çinko yüzeyindeki gerilimi azaltan kurşun elementi ile ilgili fiyat değişimleri şekil 2.19'da verilmektedir.



Şekil 2.19 LME yıllara göre kurşun fiyatları [35]

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tez çalışması için kullanılan numuneler, pivot sulama sistemlerinde kullanılan korozyona dayanıklı borular ve köşebentlerden alınmış ve Lindsay Sulama ve Altyapı San. Tic. A.Ş. de galvanizleme işlemine tabi tutulmuştur. Kaplanmamış çelik numunelerin kimyasal analizleri, galvaniz ocağının kimyasal analizi ve galvanizlenen numunelerin kaplama kalınlık ölçümleri Lindsay Kalite laboratuvarında yapılmıştır. Yüzey külü ve dip dros'dan alınan numunelerin XFR analizleri Repamet Elektronik Sistemler Mümessilik Teknik Servis ve Ticaret şirketinde yapılmıştır.

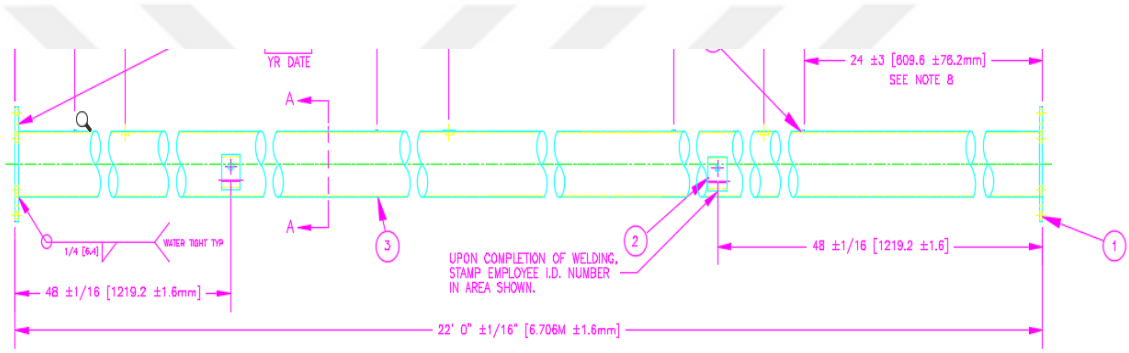
Pivot sulama sistemlerinde kullanılan korozyona dayanıklı borular ve köşebentler galvanizleme yöntemi ile üretilmiş ve oluşan farklı galvaniz kalınlığının etkileri araştırılmış, optimum kaplama kalınlığına ulaşmak için çalışmalar yapılmıştır. Kaplanan numuneler, çelik borular bileşimindeki %Si değerleri ve çinko havuzu içindeki %Ni miktarlarına göre sınıflandırılmıştır. Çinko havuzu içindeki % Ni oranı <%0,03 ve >%0,03 olacak şekilde ayrılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre, toplanan veriler üzerinden ortalama kaplama kalınlıkları ve standart sapma değerleri tespit edilmiştir.

Asılma açıları, dalış süreleri, çıkış hızları vb. değişkenlerle ilgili parametreler istatistiki veri oluşturulduktan sonra istatistik programı kullanılarak, kaplama kalınlığına etki eden parametreler arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Kullanılan nikel alaşımından dip dross'a geçen Nikel miktarını bulmak için havuz dibinden alınan kütle ile Thermo Scientific marka NITON XL3t 950 XRF analiz cihazı kullanılarak elemental analiz yapılmıştır. Benzer çalışma yüzeydeki çinko külünden numune alınarak gerçekleştirilmiş ve bu amaçla yüzey külüne geçen miktarı tespit edilmiştir.

3.1 Deneyde Kullanılan Numuneler

Yapılan çalışmada pivot sulama sistemlerinde kullanılan 3 mm kalınlığında düşük karbonlu eşkenar çelik köşebentler (Si oranı 0,14<%Si<0,25) ve ø168,3 mm çapında, 3 mm et kalınlığında ve uç kısımlarına flanş kaynatılmış düşük karbonlu çelik borular (Si oranı <%0,03) kullanılmıştır. Kullanılan köşebentler S275 JR kalite çelikten, borular ise P235TR1 kalite çelik su borularından üretilmiştir. Çelik numuneleri çinko ile kaplamak için, boyu 8 m, eni 1,5 m ve derinliği 3 m olan galvaniz kazanı ve sıcaklığın sabit 450 ^{o}C sabit sıcaklıkta çinko banyosu kullanılmıştır. Şekil 3.1 kullanılan boru numunesinin Teknik resmini 3.2 ise boru numunesini, çizelge 3.1 ve 3.2 çelik malzemesinin kimyasal bileşimi ve mekanik değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.1 Numune olarak kullanılan 168,3 mm çaplı borunun teknik resmi



Şekil 3.2 Numune olarak kullanılan 168,3 mm çaplı borunun resmi

Çizelge 3.1 P235TR1 boru numune standart kimyasal özellikleri [40]

Standart: EN 10217-1:2002+A1:2005

Kimyasal Bileşim (%)(1)

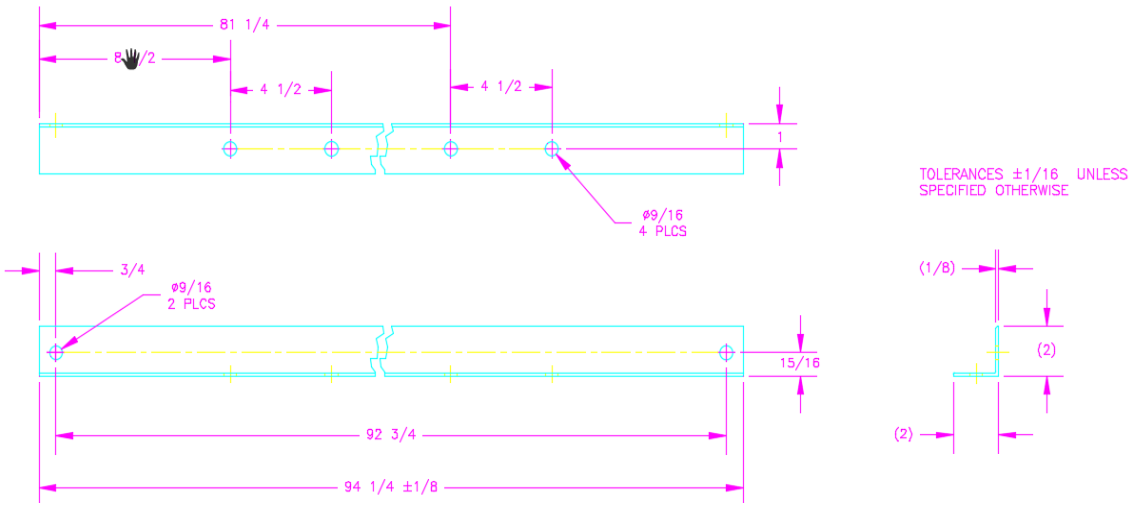
Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	C	Mn	Si	P	S	Cu
Standart	Kalite		max.	max.	max.	max.	max.	max.
EN 10217-1	P235TR1	3285[2][3][4]	0.16	1.20	0.35	0.025	0.020	0.30
EN 10217-1	P235TR1	3337[3][4]	0.16	1.20	0.040	0.025	0.020	0.12

Çizelge 3.2 P235TR1 boru numune standart mekanik özellikleri [41]

Mekanik Özellikler (2)

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	R_e N/mm² (kg/mm²)		R_m[1] N/mm² (kg/mm²)	A_5 (%)
			1.50≤d≤16	16<d≤40		
Standart	Kalite		min.	min.		min.
EN 10217-1	P235TR1	3285	235 (24.0)	225 (23.0)	360-500 (36.7-50.9)	23
EN 10217-1	P235TR1	3337[3]	235 (24.0)	225 (23.0)	360-500 (36.7-50.9)	23

Köşebentler için 39 farklı bileşime sahip düşük karbonlu 70 çelik numune ve farklı Ni, Pb, Bi içerikli çinko havuzuna batırılmış, Çelik borular için 32 farklı bileşime sahip ise 185 adet çelik numune ve farklı Ni, Pb, Bi içerikli çinko havuzuna batırılarak elde edilen kaplama kalınlıkları ölçülerek istatistiki veriler oluşturulmuştur. Şekil 3.3 kullanılan köşebent numunesinin Teknik resmini, 3.4 ise köşebent numunesini, çizelge 3.3 ve 3.4 çelik malzemesinin kimyasal bileşimi ve mekanik değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.3 Numune olarak kullanılan köşebent teknik resmi



Şekil 3.4 Numune olarak kullanılan köşebent resmi

Çizelge 3.3 S275JR köşebent numune standart kimyasal özellikleri [40]

Kimyasal Bileşim (%)

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	C d(kalınlık, mm)			Mn	P	S	Si	Cu	N[1]	CE(IIW)[4][5] max. (%) d (mm)		
			≤16	16<d≤40	40<d≤100									
Standart	Kalite		max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	≤30	30<d≤40	40<d≤100
EN 10025-2	S235JR	3237	0.17	0.17	0.20	1.40	0.035	0.035	0.40	0.55	0.012	0.35	0.35	0.38
EN 10025-2	S235JR	3137	0.17	0.17	0.20	1.40	0.035	0.035	0.40	0.55	0.012	0.35	0.35	0.38
EN 10025-2	S235JR	3281[11][7]	0.17	0.17	0.20	1.40	0.035	0.035	-	0.55	0.012	0.35	0.35	0.38
EN 10025-2	S235JR	4237[9]	0.17	0.17	0.20	1.20	0.025	0.025	0.05	0.55	0.012	0.35	0.35	0.38
EN 10025-2	S235JR	4260[9][12]	0.050-0.095	-	-	0.30-0.45	0.015	0.025	0.05	0.55	0.012	0.35	-	-
EN 10025-2	S235JR	4437[6][9]	0.17	-	-	1.40	0.035	0.035	-	0.55	0.012	0.35	0.35	0.38
EN 10025-2	S235JR	5437[9][11]	0.17	0.17	0.20	1.40	0.030	0.030	-	0.55	0.012	0.35	0.35	0.38
EN 10025-2	S235J2	6237[11][12]	0.17	0.17	0.17	1.40	0.025	0.025	-	0.55	-	0.35	0.35	0.38
EN 10025-2	S235J2	4239[9][12][13]	0.17	0.17	-	1.40	0.025	0.025	0.03	0.55	-	0.35	-	-
EN 10025-2	S275JR	3244[3][11]	0.21	0.21	0.22	1.50	0.030	0.030	0.40	0.55	0.012	0.40	0.40	0.42
EN 10025-2	S275JR	4244[3][9]	0.20	0.21	0.22	1.40	0.025	0.025	0.04	0.55	0.012	0.40	0.40	0.42
EN 10025-2	S275J2	6244[3][11][12]	0.18	0.18	0.18	1.50	0.025	0.025	-	0.55	-	0.40	0.40	0.42
EN 10025-2	S275J2	4246[3][9][12][13]	0.18	0.18	-	1.50	0.025	0.025	0.03	0.55	-	0.40	-	-
EN 10025-2	S355JR	3252[3][11]	0.24	0.24	0.24	1.60	0.035	0.035	0.55	0.55	0.012	0.45	0.47	0.47
EN 10025-2	S355JR	4250[3][9]	0.24	0.24	0.24	1.60	0.030	0.035	0.55	0.55	0.012	0.45	-	-
EN 10025-2	S355J0	5252[2][3][11]	0.20	0.20	0.22	1.60	0.030	0.030	0.55	0.55	0.012	0.45	0.47	0.47
EN 10025-2	S355J2	4252[3][9][12]	0.20	-	-	1.60	0.025	0.025	0.55	0.55	-	0.45	0.47	0.47
EN 10025-2	S355J2	6252[2][3][11][12]	0.20	0.20	0.22	1.60	0.025	0.025	0.55	0.55	-	0.45	0.47	0.47
EN 10025-2	S355J2 Özel	6258[5][12]	0.18-0.22	0.18-0.22	-	1.40-1.60	0.025	0.025	0.40-0.55	0.55	-	0.55	-	-
EN 10025-2	S355J2	6284[2][3][12]	0.20	0.20	0.22	1.60	0.025	0.025	0.55	0.55	-	0.45	0.47	0.47
EN 10025-2	S355K2	7252[2][3][11][12]	0.20	0.20	0.22	1.60	0.025	0.025	0.55	0.55	-	0.45	0.47	0.47

Çizelge 3.4 S275JR köşebent numune standart mekanik özellikleri [40]

Mekanik Özellikler

Standart Karşılığı		ERDEMİR Kalite No	R_e N/mm² (kg/mm²) d(kalınlık, mm)					R_m[5] N/mm² (kg/mm²) d(kalınlık, mm)		A (%) min. d(kalınlık, mm)							Darbe[3] (Boyuna)	
										A_{80}				A_5				
Standart	Kalite[3]		≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	<3	≥3 ≤100	>1 ≤1.5	>1.5 ≤2	>2 ≤2.5	>2.5 <3	≥3 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	Sıc. °C	KV_c J(min.)
EN 10025-2	S235JR	3237	235 (24.0)	225 (23.0)	215 (21.9)	215 (21.9)	215 (21.9)	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	23	22	+20	27[6]
EN 10025-2	S235JR	3137[7]	235 (24.0)	- -	- -	- -	- -	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	-	-	+20	27[6]
EN 10025-2	S235JR	3281[3]	235 (24.0)	225 (23.0)	- -	- -	- -	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	-	-	+20	27[6]
EN 10025-2	S235JR	4237[3]	235 (24.0)	225 (23.0)	- -	- -	- -	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	-	-	+20	27[6]
EN 10025-2	S235JR	4260[4] [3]	260-360 (26.5-36.7)	- -	- -	- -	- -	370-460 (37.7-46.9)	370-460 (37.7-46.9)	32	32	32	32	24	-	-	+20	27[6]
EN 10025-2	S235JR	4437[4]	235 (24.0)	- -	- -	- -	- -	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	-	-	+20	27[6]
EN 10025-2	S235JR	5437	235 (24.0)	225 (23.0)	215 (21.9)	215 (21.9)	215 (21.9)	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	23	22	+20	27[6]
EN 10025-2	S235J2	6237	235 (24.0)	225 (23.0)	215 (21.9)	215 (21.9)	215 (21.9)	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	23	22	-20	27
EN 10025-2	S235J2	4239	235 (24.0)	225 (23.0)	- -	- -	- -	360-510 (36.7-52.0)	360-510 (36.7-52.0)	16	17	18	19	24	-	-	-20	27
EN 10025-2	S275JR	3244	275 (28.1)	265 (27.0)	255 (26.0)	245 (25.0)	235 (24.0)	430-580 (43.9-59.2)	410-560 (41.8-57.1)	14	15	16	17	21	20	19	+20	27[6]
EN 10025-2	S275JR	4244[3]	275 (28.1)	265 (27.0)	- -	- -	- -	430-580 (43.9-59.2)	410-560 (41.8-57.1)	14	15	16	17	21	20	19	+20	27[6]
EN 10025-2	S275J2	6244	275 (28.1)	265 (27.0)	255 (26.0)	245 (25.0)	235 (24.0)	430-580 (43.9-59.2)	410-560 (41.8-57.1)	14	15	16	17	21	20	19	-20	27
EN 10025-2	S275J2	4246	275 (28.1)	265 (27.0)	- -	- -	- -	430-580 (43.9-59.2)	410-560 (41.8-57.1)	14	15	16	17	-	-	19	-20	27

İstatistiki çalışma için gerekli olan verilerin elde edilmesi amacıyla;

Tez çalışmasında kullanılan <%0,03 Si içeriğine sahip çelik numuneler, Si oranı %0,14-0,25 Si oranına sahip numuneler kaplama ön işlem proseslerine alınmadan önce kimyasal bileşenleri optik emisyon cihazı ile belirlenmiş ve çizelge 3.5 ve 3.6'da gösterilmektedir.

Bu numunelerin daldırıldığı çinko eriyik içindeki kimyasal bileşim tespit edilmek amacı ile 450 ^{o}C deki çinko eriyik içinden numune alınmış ve optik emisyon cihazı ile test edilerek kimyasal bileşimleri tespit edilmiştir. Elde edilen kimyasal değerler çizelge 3.7 de gösterilmektedir.

Hem çelik hem de çinko eriyik kimyasal bileşimleri elde edildikten sonra bu numunelerden çıkan çinko kaplamaların kaplama kalınlıklarını ölçerek istatistiki veri elde edilmiştir.

Çizelge 3.5 Çinko kaplamada kullanılan düşük Si içerikli çelik boruların kimyasal bileşimleri

% C	% Mn	% P	% Si	% Cu	% S	% Al	% Cr
0,120	0,505	0,019	0,003	0,056	0,02	0,05	0,05
0,052	0,447	0,013	0,019	0,236	0,04	0,06	0,06
0,055	0,422	0,012	0,013	0,279	0,03	0,07	0,06
0,077	0,455	0,025	0,028	0,131	0,01	0,14	0,18
0,089	0,481	0,024	0,014	0,156	0,02	0,11	0,21
0,075	0,436	0,016	0,011	0,130	0,02	0,13	0,18
0,111	0,532	0,019	0,016	0,082	0,01	0,06	0,04
0,085	0,484	0,012	0,007	0,097	0,01	0,06	0,04
0,104	0,490	0,012	0,009	0,100	0,01	0,06	0,05
0,102	0,535	0,022	0,008	0,066	0,01	0,06	0,04
0,102	0,511	0,011	0,011	0,069	0,01	0,05	0,02
0,100	0,451	0,013	0,007	0,095	0,02	0,08	0,04
0,091	0,510	0,014	0,010	0,099	0,01	0,07	0,07
0,093	0,440	0,013	0,008	0,089	0,01	0,07	0,04
0,080	0,432	0,014	0,003	0,135	0,01	0,07	0,13
0,107	0,528	0,016	0,007	0,101	0,02	0,07	0,07
0,085	0,530	0,016	0,003	0,105	0,02	0,07	0,05
0,086	0,453	0,014	0,014	0,086	0,02	0,05	0,04
0,132	0,386	0,013	0,024	0,010	0,01	0,03	0,01
0,095	0,499	0,017	0,013	0,087	0,01	0,05	0,06
0,085	0,481	0,009	0,016	0,099	0,01	0,06	0,04
0,160	0,374	0,020	0,017	0,008	0,01	0,03	0,03
0,161	0,399	0,015	0,024	0,014	0,01	0,03	0,02
0,144	0,370	0,015	0,020	0,005	0,01	0,03	0,03
0,086	0,492	0,011	0,007	0,072	0,01	0,04	0,03
0,094	0,498	0,012	0,007	0,070	0,01	0,04	0,03
0,144	0,428	0,009	0,018	0,031	0,02	0,06	0,02
0,121	0,469	0,012	0,012	0,060	0,01	0,06	0,03
0,076	0,569	0,015	0,011	0,019	0,01	0,06	0,02
0,079	0,569	0,015	0,011	0,019	0,01	0,06	0,02
0,165	0,468	0,009	0,015	0,043	0,02	0,07	0,04
0,165	0,466	0,012	0,011	0,060	0,02	0,06	0,03

Çizelge 3.6 Çinko kaplamada kullanılan yüksek Si içerikli çelik köşebentlerin kimyasal bileşimleri

% C	% Mn	% P	% Si	% Cu	% S	% Al	% Cr
0,141	0,707	0,014	0,230	0,266	0,223	0,001	0,097
0,140	0,687	0,015	0,206	0,252	0,220	0,001	0,126
0,137	0,704	0,014	0,219	0,268	0,020	0,002	0,097
0,112	0,717	0,014	0,186	0,187	0,032	0,001	0,090
0,165	0,435	0,009	0,248	0,073	0,031	0,001	0,142
0,128	0,602	0,017	0,199	0,225	0,014	0,001	0,088
0,155	0,417	0,011	0,257	0,048	0,018	0,001	0,081
0,161	0,477	0,044	0,191	0,005	0,043	0,001	0,010
0,135	0,410	0,013	0,145	0,220	0,030	0,001	0,072
0,148	0,400	0,052	0,163	0,006	0,050	0,001	0,006
0,112	0,717	0,014	0,186	0,187	0,032	0,001	0,090
0,141	0,707	0,014	0,230	0,266	0,223	0,001	0,097
0,155	0,417	0,011	0,257	0,048	0,018	0,001	0,081
0,128	0,602	0,017	0,199	0,225	0,014	0,001	0,088
0,143	0,368	0,051	0,158	0,020	0,029	0,001	0,008
0,155	0,356	0,039	0,158	0,019	0,040	0,001	0,007
0,235	0,882	0,014	0,203	0,228	0,007	0,002	0,097
0,161	0,350	0,003	0,166	0,008	0,007	0,001	0,010
0,138	0,698	0,003	0,213	0,272	0,006	0,001	0,089
0,123	0,694	0,003	0,236	0,255	0,006	0,002	0,084
0,152	0,700	0,003	0,224	0,267	0,007	0,001	0,113
0,143	0,462	0,003	0,224	0,052	0,002	0,001	0,032
0,168	0,455	0,038	0,172	0,005	0,047	0,001	0,007
0,168	0,378	0,035	0,157	0,022	0,028	0,001	0,011
0,131	0,609	0,009	0,192	0,295	0,033	0,001	0,125
0,142	0,589	0,009	0,179	0,303	0,024	0,001	0,126
0,180	0,475	0,019	0,169	0,286	0,028	0,002	0,095
0,132	0,707	0,017	0,190	0,284	0,015	0,004	0,137
0,156	0,638	0,008	0,182	0,197	0,032	0,002	0,141
0,147	0,638	0,008	0,181	0,193	0,032	0,002	0,142
0,145	0,641	0,008	0,181	0,192	0,030	0,002	0,141
0,119	0,671	0,019	0,199	0,470	0,012	0,001	0,160
0,210	0,815	0,017	0,231	0,210	0,018	0,003	0,137
0,204	0,873	0,016	0,200	0,278	0,009	0,001	0,194
0,219	0,773	0,011	0,192	0,217	0,018	0,003	0,184
0,233	0,788	0,014	0,203	0,232	0,027	0,003	0,142
0,191	1,090	0,029	0,157	0,254	0,033	0,002	0,098
0,182	1,090	0,031	0,150	0,248	0,033	0,002	0,100
0,192	1,090	0,031	0,153	0,251	0,034	0,002	0,101

Çizelge 3.7 Ölçülen ortalama galvaniz ocağı analizleri

Zn	Fe	Al	Ni	Pb	Cu	Si	Bi
%	%	%	%	%	%	%	%
99,936	0,014	0,002	0,001	0,036	0,003	0,009	0,001
99,917	0,009	0,001	0,001	0,066	0,001	0,005	0,001
99,892	0,014	0,002	0,001	0,079	0,004	0,008	0,001
99,836	0,018	0,001	0,001	0,135	0,002	0,006	0,001
99,803	0,016	0,001	0,001	0,170	0,001	0,006	0,001
99,812	0,013	0,001	0,001	0,164	0,003	0,006	0,001
99,452	0,013	0,001	0,081	0,445	0,001	0,007	0,001
99,388	0,017	0,001	0,072	0,513	0,001	0,007	0,001
99,318	0,013	0,001	0,073	0,541	0,0009	0,005	0,045
99,235	0,008	0,001	0,083	0,645	0,010	0,009	0,001
99,235	0,008	0,001	0,083	0,645	0,010	0,009	0,001
99,339	0,018	0,001	0,073	0,512	0,000	0,009	0,043
99,327	0,022	0,001	0,064	0,508	0,001	0,006	0,070
99,228	0,015	0,001	0,053	0,617	0,001	0,006	0,077
98,922	0,013	0,001	0,045	0,931	0,001	0,008	0,089
98,971	0,013	0,001	0,042	0,893	0,001	0,007	0,073
98,912	0,011	0,001	0,032	0,960	0,001	0,005	0,080
98,904	0,016	0,001	0,042	0,943	0,002	0,009	0,082
98,636	0,030	0,001	0,050	1,030	0,003	0,009	0,131
98,749	0,020	0,001	0,028	1,060	0,007	0,007	0,115
98,767	0,008	0,001	0,012	1,090	0,002	0,006	0,109
98,790	0,018	0,001	0,019	1,050	0,003	0,007	0,110
98,831	0,017	0,001	0,017	1,020	0,002	0,006	0,107
98,831	0,014	0,001	0,016	1,030	0,003	0,006	0,103
98,931	0,004	0,001	0,001	0,959	0,002	0,006	0,094
98,932	0,018	0,001	0,047	0,637	0,001	0,009	0,680
98,942	0,013	0,001	0,045	0,931	0,001	0,008	0,089
98,904	0,016	0,001	0,042	0,943	0,002	0,009	0,082

3.2 Deneyde Kullanılan Cihazlar ve Deneyin Yapılışı

Çelik numuneler ilk önce asılarak askılama işlemi yapılmıştır. Askılama işlemi köşebentler için 180^{o} ve borular için 27^{o} eğim verilecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.5 ve 3.6 asılan ürünleri görülmektedir. Asılan ürünler transfer arabaları ile ön işlem tanklarına alınmıştır.



Şekil 3.5 Çelik köşebentlerin askılanma işlemi



Şekil 3.6 Çelik boruların askılanma işlemi

Çelik numunelerin askılama işleminden sonra çelik köşebentler ve borular sırası ile yağ alma, asitleme, durulama banyolarına alınmıştır. Numunelerin yağ alma işlemi, ana bileşiminde fosforik asit bulunan asidik yağ alma sisteminde, 25 ºC' de 5 dakika bekletilerek yapılmıştır. Asitleme işlemi ise HCl asit sisteminde, 30 ºC' de 40 dakika

bekletilerek süresinde ve ortalama gerçekleştirilmiştir. Durulama işlemi Su kullanılarak 30 ºC' de 2 dk bekletilerek tamamlanmıştır. Şekil 3.7 ön işlem havuzları görülmektedir.



Şekil 3.7 Ön işlem havuzları (Yağ alma-Asitleme-Durulama)

Durulama işleminden sonra çelik ürünler 40 ºC 'de ki flaks havuzuna 2 dk süre ile daldırılmıştır. Çelik ile çinko arasındaki reaskiyonun başlamasını sağlayan flaksın amonyum klorür-çinko klorürdür. Şekil 3.8'de flaks havuzu görülmektedir.



Şekil 3.8 Ön işlem havuzları (Flaks Havuzu)

Çelik numuneler, flaks havuzuna batırıldıktan sonra, yüzeydeki flaksın kuruması için 80 ºC'deki kurutma fırınına alınırarak 10 dk bekletilmiştir. Islak kalan flaks çinko havuzunda patlamaya neden olabilir. Kurutma fırını şekli 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Kurutma fırını

Kurutma fırınından çıkan çelik numuneler 450 ºC'de ki eriyik çinko kazanına daldırılır. Daldırılma esnasında borular havuzla 68º açı yapacak şekilde, köşebentler ise 180º açı yapacak şekilde daldırılırlar. Kaplama işlemi Şekil 3.10 3.11 ve 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Çelik ürünlerin galvaniz ocağına daldırılması



Şekil 3.11 Çelik boru ürünlerin galvaniz ocağından çıkarılması



Şekil 3.12 Çelik köşebentlerin galvaniz ocağından çıkarılması

3.3 Deney Numunelerinin Alınması ve Hazırlanması

Çinko havuzundan alınan numuneler uygun boyutlarda zımparalanıp, parlatılırarak optik emisyon cihazında yapılacak analiz için uygun hale getirilir. Numune boyutu 50 mmx50 mm olacak şekilde kesilir. Şekil 3.13'de numune hazırlamada kullanılan kesme ve zımparalama-parlatma cihazı görülmektedir.



Şekil 3.13 ATM marka kesme, zımparalama ve parlatma cihazı

Numunelerin kimyasal bileşimleri Xline Oxford marka optik emisyon cihazı çinko programı kullanılarak ölçülmüştür.

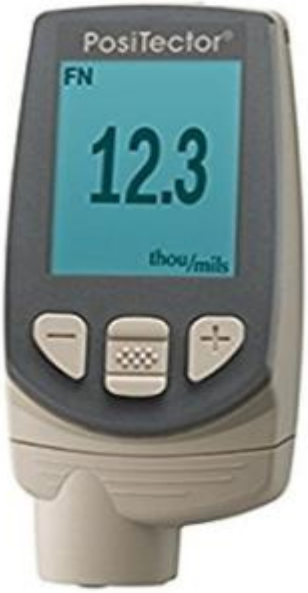


Şekil 3.14 Oxford XLine optik emisyon cihazı



Şekil 3.15 Optik emisyon cihazında analiz öncesi ve sonrasında çinko numune

Şekil 3.7 ve 3.8'deki numuneler Positector 6000T marka elektromanyetik ölçüm cihazı ile 5 ölçüm alınarak kaplama kalınlıkları kaydedilmiştir. Kullanılan cihaz şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.16 Positector 6000T Elektromanyetik kalınlık ölçme Cihazı

Dip dros ve yüzey drosdan (kül), toz halinde alınan numuneler toz haline getirilerek bileşimleri Thermo Scientific marka XRF cihazı ile ölçülmüştür. XRF cihazı şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.17 NITON XL3t 950 XRF cihazı

Ölçümü yapılan dip dross ve yüzey kül'ün şekil 3.18 ve şekil 3.19'da görülmektedir.



Şekil 3.18 Dip dross numuneleri



Şekil 3.19 Yüzey kül numuneleri

Ayrıca kaplama kalınlıkları ölçülen çelik numunelerin bileşimleri takip edilerek, bileşimlerine ait analizler Xline Oxford marka optik emisyon cihazı çelik programı ile yapılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde çinko banyosundan alınan numuneler analiz edilerek farklı Si ve Ni oranları için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Ayrıca dip dros ve yüzey külünde de analizler yapılmıştır.

4.1 Galvaniz Ocağı Analizleri

Galvaniz ocağında yapılan analizler çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Veri analizinde kullanılan ortalama galvaniz ocağı analizleri

Zn %	Fe %	Al %	Ni %	Pb %	Cu %	Si %	Bi %
99,936	0,014	0,002	0,001	0,036	0,003	0,009	0,001
99,917	0,009	0,001	0,001	0,066	0,001	0,005	0,001
99,892	0,014	0,002	0,001	0,079	0,004	0,008	0,001
99,836	0,018	0,001	0,001	0,135	0,002	0,006	0,001
99,803	0,016	0,001	0,001	0,170	0,001	0,006	0,001
99,812	0,013	0,001	0,001	0,164	0,003	0,006	0,001
99,452	0,013	0,001	0,081	0,445	0,001	0,007	0,001
99,388	0,017	0,001	0,072	0,513	0,001	0,007	0,001
99,318	0,013	0,001	0,073	0,541	0,0009	0,005	0,045
99,235	0,008	0,001	0,083	0,645	0,010	0,009	0,001
99,235	0,008	0,001	0,083	0,645	0,010	0,009	0,001
99,339	0,018	0,001	0,073	0,512	0,000	0,009	0,043
99,327	0,022	0,001	0,064	0,508	0,001	0,006	0,070
99,228	0,015	0,001	0,053	0,617	0,001	0,006	0,077
98,922	0,013	0,001	0,045	0,931	0,001	0,008	0,089
98,971	0,013	0,001	0,042	0,893	0,001	0,007	0,073
98,912	0,011	0,001	0,032	0,960	0,001	0,005	0,080
98,904	0,016	0,001	0,042	0,943	0,002	0,009	0,082
98,636	0,030	0,001	0,050	1,030	0,003	0,009	0,131
98,749	0,020	0,001	0,028	1,060	0,007	0,007	0,115
98,767	0,008	0,001	0,012	1,090	0,002	0,006	0,109
98,790	0,018	0,001	0,019	1,050	0,003	0,007	0,110
98,831	0,017	0,001	0,017	1,020	0,002	0,006	0,107
98,831	0,014	0,001	0,016	1,030	0,003	0,006	0,103
98,931	0,004	0,001	0,001	0,959	0,002	0,006	0,094
98,932	0,018	0,001	0,047	0,637	0,001	0,009	0,680
98,942	0,013	0,001	0,045	0,931	0,001	0,008	0,089
98,904	0,016	0,001	0,042	0,943	0,002	0,009	0,082

4.2 Farklı %Si Oranlarında Gerçekleştirilen Çalışmalar

Çelik bileşimi içindeki Si oranının farklı olması, kaplama kalınlıkları ve yüzey dış görünümünü birinci dereceden etkildediği için farklı % Si değerine sahip çeliklerde denemeler yapılmıştır. Kullanılan çelik borularda <% 0,03 Si alanında ve çelik köşebentlerde 0,14<%Si<0,25 aralığındaki farklı Si değerleri için çalışmalar yapılmış ve irdelenmiştir.

4.2.1 <% 0,03 Si İçeren Çelik Borularda Yapılan Çoklu Regresyon Analizleri

Kalınlığı 3 mm olan uçlarına flanş kaynatılmış düşük karbonlu çelik borular, ortalama 480 sn çinko eriyiği içine daldırılmış ve dalış açısı 68^{o} olacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan çelik borular döküm bazında takip edilmiş ve optik emisyon çelik programı ile ölçülen değerler çizelge 4.2'de gösterildiği gibi kaydedilmiştir.

Çizelge 4.2 Çinko kaplamada kullanılan düşük Si içerikli çelik boruların kimyasal bileşimleri

% C	% Mn	% P	% Si	% Cu	% S	% Al	% Cr
0,120	0,505	0,019	0,003	0,056	0,02	0,05	0,05
0,052	0,447	0,013	0,019	0,236	0,04	0,06	0,06
0,055	0,422	0,012	0,013	0,279	0,03	0,07	0,06
0,077	0,455	0,025	0,028	0,131	0,01	0,14	0,18
0,089	0,481	0,024	0,014	0,156	0,02	0,11	0,21
0,075	0,436	0,016	0,011	0,130	0,02	0,13	0,18
0,111	0,532	0,019	0,016	0,082	0,01	0,06	0,04
0,085	0,484	0,012	0,007	0,097	0,01	0,06	0,04
0,104	0,490	0,012	0,009	0,100	0,01	0,06	0,05
0,102	0,535	0,022	0,008	0,066	0,01	0,06	0,04
0,102	0,511	0,011	0,011	0,069	0,01	0,05	0,02
0,100	0,451	0,013	0,007	0,095	0,02	0,08	0,04
0,091	0,510	0,014	0,010	0,099	0,01	0,07	0,07
0,093	0,440	0,013	0,008	0,089	0,01	0,07	0,04
0,080	0,432	0,014	0,003	0,135	0,01	0,07	0,13
0,107	0,528	0,016	0,007	0,101	0,02	0,07	0,07
0,085	0,530	0,016	0,003	0,105	0,02	0,07	0,05
0,086	0,453	0,014	0,014	0,086	0,02	0,05	0,04
0,132	0,386	0,013	0,024	0,010	0,01	0,03	0,01
0,095	0,499	0,017	0,013	0,087	0,01	0,05	0,06
0,085	0,481	0,009	0,016	0,099	0,01	0,06	0,04
0,160	0,374	0,020	0,017	0,008	0,01	0,03	0,03
0,161	0,399	0,015	0,024	0,014	0,01	0,03	0,02
0,144	0,370	0,015	0,020	0,005	0,01	0,03	0,03
0,086	0,492	0,011	0,007	0,072	0,01	0,04	0,03
0,094	0,498	0,012	0,007	0,070	0,01	0,04	0,03
0,144	0,428	0,009	0,018	0,031	0,02	0,06	0,02
0,121	0,469	0,012	0,012	0,060	0,01	0,06	0,03
0,076	0,569	0,015	0,011	0,019	0,01	0,06	0,02
0,079	0,569	0,015	0,011	0,019	0,01	0,06	0,02
0,165	0,468	0,009	0,015	0,043	0,02	0,07	0,04
0,165	0,466	0,012	0,011	0,060	0,02	0,06	0,03

Çizelge 4.2'ye göre belirlenen kimyasal bileşimlerin ortalaması çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Kullanılan borulara ait ortalama çelik bileşimi

% C	% Mn	% P	% Si	% Cu	% S	% Al	% Cr
0,104	0,472	0,015	0,012	0,085	0,01	0,06	0,06

Çinko havuzunda bulunan eriyik içindeki % Ni oranına göre kaplanan borular çinko analizlerine göre <% 0,03 ve > %0,03 Ni oranına göre sınıflandırıldığında, çizelge 4.4 ve 4.5'de gösterilen istatistiki değerler elde edilmiştir.

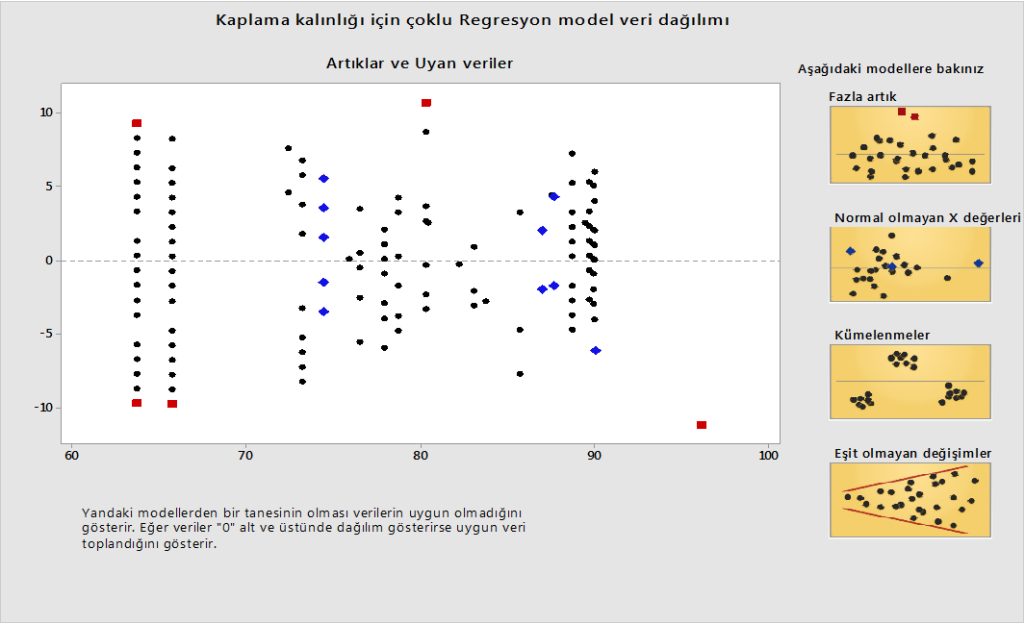
Çizelge 4.4 % 0,01-0,03 Ni içeren banyodan alınan kaplanmış çelik boruların kaplama kalınlığı istatistik değerleri

Numune Sayısı	Ort. Kaplama Değeri (µm)	Standart Sapma (µm)	Ölçülen Min. Kaplama Değeri (µm)	Ölçülen Max. Kaplama Değeri (µm)
47	88,1	5,9	71	99

Çizelge 4.5 % 0,03-0,08 Ni içeren banyodan alınan kaplanmış çelik boruların kaplama kalınlığı istatistik değerleri

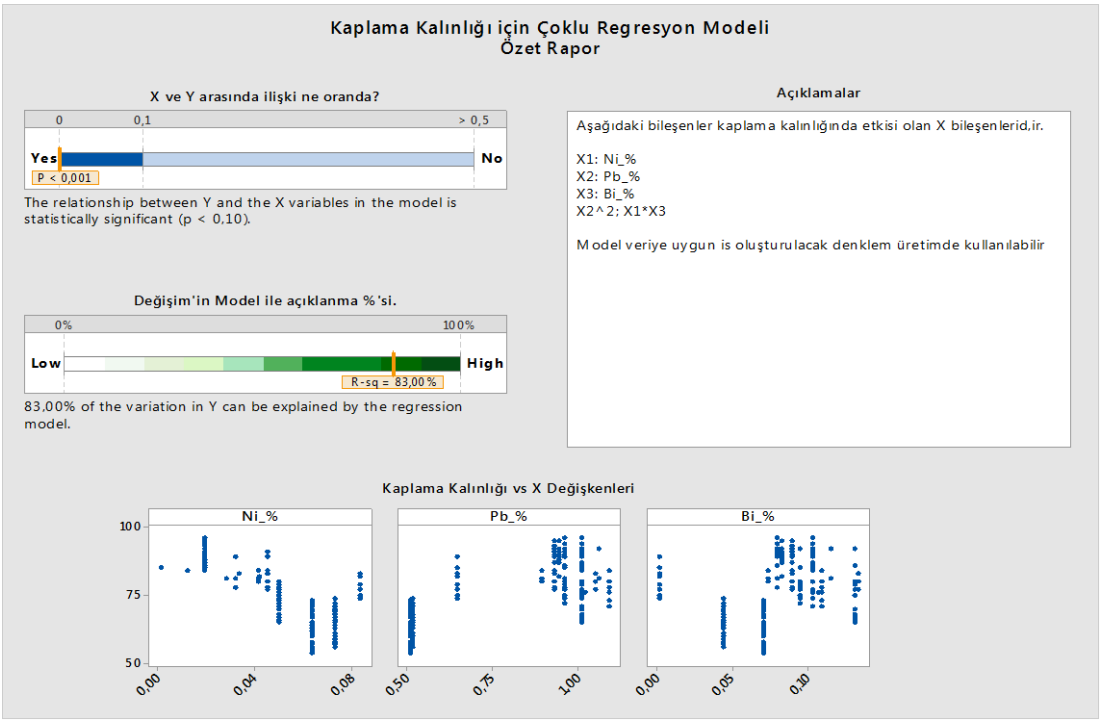
Numune Sayısı	Ort. Kaplama Değeri (µm)	Standart Sapma (µm)	Ölçülen Min. Kaplama Değeri (µm)	Ölçülen Max. Kaplama Değeri (µm)
138	69,9	9,5	46	91

Frost [39], Regresyon analizini, bir kriter değişkeni ile bir veya daha fazla sayıda tahmin değişkenleri arasındaki ilgiyi sayısal hale dönüştürmede kullanılan istatistiksel analiz olarak tanımlamıştır. Regresyon analizi esas olarak değişkenler arasında ilişkinin niteliğini saptamayı amaçlar. Regresyon analizi ile aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler yapabilmek mümkün olur.



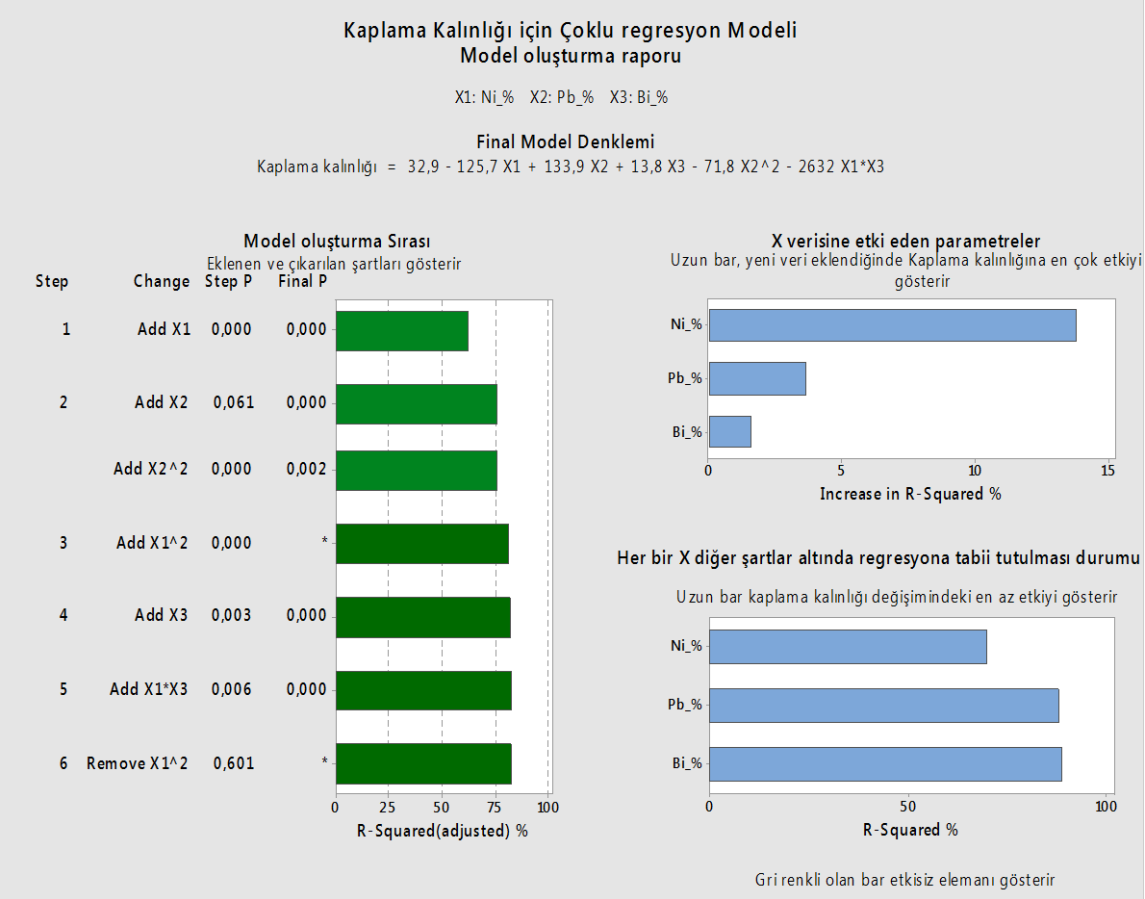
Şekil 4.1 <% 0,03 Si içeren çelik borular için yapılan veri uygunluk analizi

Regresyon analizine başlamadan önce, verilerin uygunluğu şekil 4.1'deki gibi analiz edilmiştir. Bu analiz ile verilerde kullanılan kaplama kalınlık değerlerinin uygunluğu ve güvenilirlik açısından değerlendirilebilecek R^2 değerini oluşturan veriler incelenmiştir. R^2 değeri, en küçük kareler tekniği olarak da isimlendirilir. Bu teknikte veriler, orta yatay çizginin her iki tarafında eşit veya benzer simetrik dağılımda olması en uygun durumu göstermektedir. Buna göre toplanan veriler analiz edilmeye uygundur.



Şekil 4.2 < %0,03 Si içeren çelik borular için yapılan çoklu regresyon analizi

Veri analizi ile beraber R-sq değerinin %100'e yaklaşması kullanılan değişkenler (burada %Ni, %Pb, %Bi) sonucu oluşan (burada kaplama kalınlığı µm) ortalama etrafında gerçekleştiğini uyumu bozan değerlerin az olduğunu göstermektedir. Şekil 4.2 bu değeri ve her bir elementin % dağılımını göstermektedir.



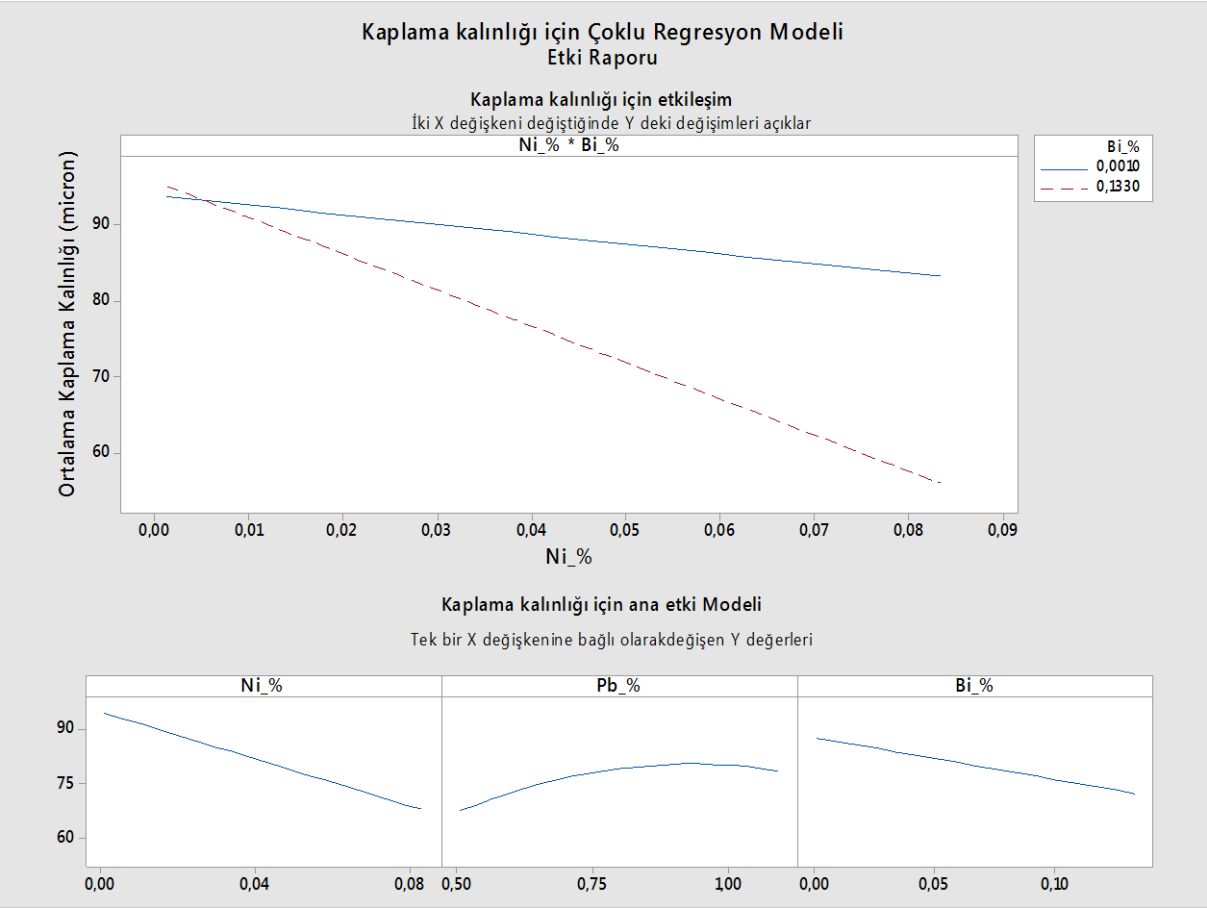
Şekil 4.3 <% 0,03 Si içeren çelik borular için yapılan çoklu regresyon Formülü

Elde edilen regresyon formülü;

Kaplama Kalınlığı=32,9-(125,7x%Ni)+(133,9 x %Pb)+(13,8x%Bi)-(71,8 x %Pbx%Pb)-(2632 x %Ni x %Bi)' dir.

Regresyon analizi çalışmasında kaplama kalınlığına en çok etki eden element %Ni olmakla beraber, sırasıyla % Pb ve %Bi, etkilemektedir.

Regresyon formülüne göre en fazla etkileşim Ni ile gerçekleşmiş olup, Pb ve Bi etkisinin, Ni'e göre daha az olduğu görülmüştür. Pb değeri % 1'e yaklaştıkça, Bi varlığında kaplama kalınlığını arttırıcı etki göstermiştir.



Şekil 4.4 Alaşım elemenetlerinin kaplama kalınlığına olan tek tek ve birlikte etkileri

Ana etki modeli çizildiğinde, <% 0,03 Si içeren çelik borularda etki eden elementlerin etki yüzde değerleri görülmektedir. Şekil 4.4 alaşım elementlerinin kaplama kalınlığına tek tek ve birlikte etkileri verilmiştir.

Grafiğe göre Bi değerinin % 0,1 üzerine çıkması Ni değerinin %0,08 değerinde kaplama kalınlığının en düşük seviyeye ulaşmasını sağlamıştır.

%0,05-%0,08 Ni değerinde en uygun kaplama kalınlığı elde etme seviyesine ulaşılmıştır.

%0,1' e kadar olan Bi değeri, lineer olarak kaplama kalınlığının düşürmüştür.

%1'e kadar olan Pb değeri kaplama kalınlığının düşmesinde bir etki göstermezken, %1 den sonra kaplama kalınlığını parabolik olarak azalmasına yol açacağı görülmektedir.

Pistofidis vd. [15], yapmış oldukları çalışmada Ni ve Bi elementlerinin çinko eriyik içinde kaplama kalınlığını azaltmada etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bi elementi, çelik yüzeyindeki yüzey gerilimini azalttığını bu sebeple kaplama kalınlığının azalamasında etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

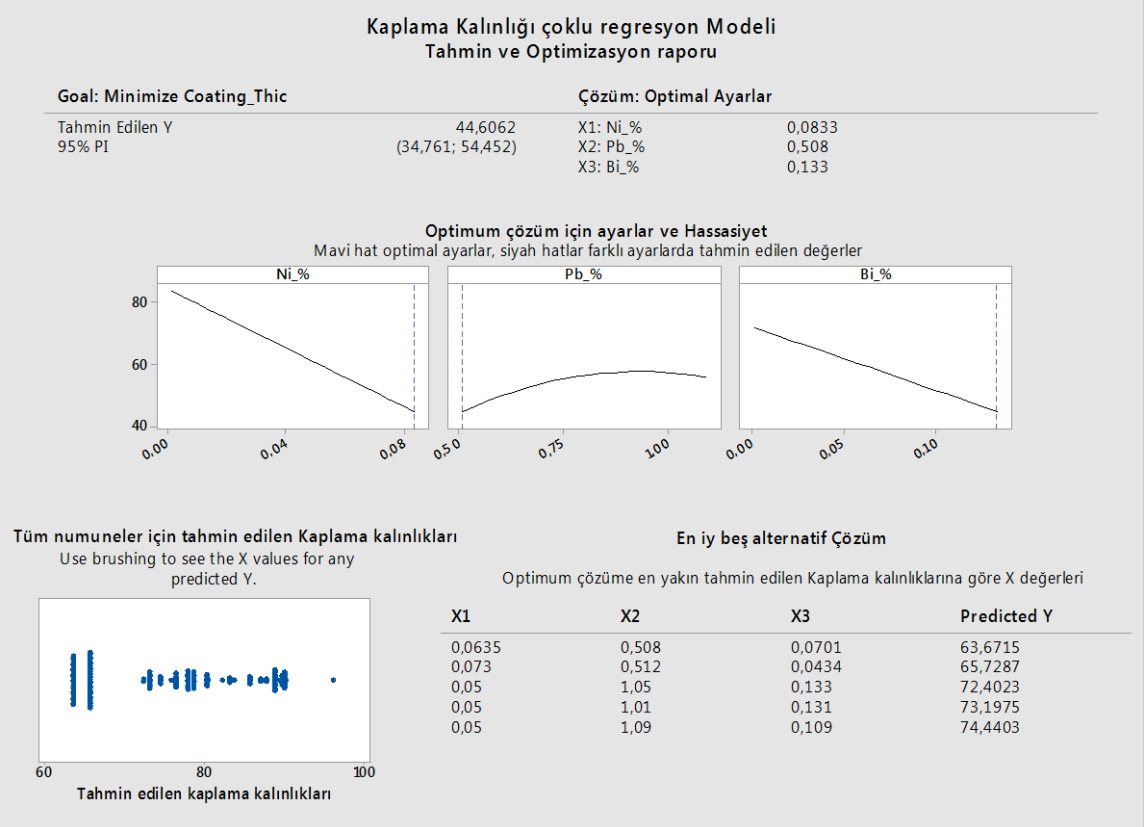
Lewis ve Pedersen [16], kaplama kalınlığını azaltmada %0,05-%0,20 oranında Ni kullanıldığı, ama son çalışmalara göre alt sınıra yakın değerlerin en uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Vala [14], yaptığı çalışmada kurşunun çelik yüzeyindeki gerilimi %40 oranında azalttığını % Pb değerinin %1-%1,5 aralığında olması gerektiğini bildirmiştir. Pb <%1 oranlarında viskoziteyi arttırmadığını belirtmiştir.

Tao ve Karahan [38], %0,1 Bi ile %0,04 Ni elementinin akışkanlığı arttırarak oluşan film kalınlığını azalttığı ve drosta Zn kaybını minimize ettiğini bildirmişlerdir.

Elde edilen sonuçların yukarıda yapılan ve literatürde yapılan çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmüştür.

Şekil 4.5'de, alınan istatistiki veriler dahilinde en optimum kaplama kalınlıklarının elde edilmesi için gereken çinko eriyiğinin % bileşen değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.5 Minimum kaplama kalınlığı hedefine ulaşmak için %Ni, %Pb, %Bi element bileşenlerine göre oluşturulan optimum değerler

Elde edilen grafiğe göre %0,06 ve 0,08 Ni ortalama % 0,5 Pb, ortalama %0,07 Bi kullanıldığında en optimum kaplama koşullarını sağlamakta ve ortalama kaplama değeri 63µm'a eşit olmaktadır.

4.2.2 %0,14-0,25 Si İçeren Çelik Köşebentlerde Yapılan Çoklu Regresyon Analizleri

Kalınlığı 3 mm olan düşük karbonlu çelik mazlemesinden üretilmiş çelik köşebentler, ortalama 360 sn çinko eriyik içine daldırılmış ve dalış açısı 180^{o} olacak şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan çelik köşebentler döküm bazında takip edilmiş ve optik emisyon çelik programı ile ölçülen değerler çizelge 4.6'da gösterildiği gibi listelenmiştir. Çizelge 4.6'ya göre belirlenen bileşimlerin ortalama değerleri çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Çinko kaplamada kullanılan yüksek Si içerikli çelik köşebentlerin kimyasal bileşimleri

% C	% Mn	% P	% Si	% Cu	% S	% Al	% Cr
0,141	0,707	0,014	0,230	0,266	0,223	0,001	0,097
0,140	0,687	0,015	0,206	0,252	0,220	0,001	0,126
0,137	0,704	0,014	0,219	0,268	0,020	0,002	0,097
0,112	0,717	0,014	0,186	0,187	0,032	0,001	0,090
0,165	0,435	0,009	0,248	0,073	0,031	0,001	0,142
0,128	0,602	0,017	0,199	0,225	0,014	0,001	0,088
0,155	0,417	0,011	0,257	0,048	0,018	0,001	0,081
0,161	0,477	0,044	0,191	0,005	0,043	0,001	0,010
0,135	0,410	0,013	0,145	0,220	0,030	0,001	0,072
0,148	0,400	0,052	0,163	0,006	0,050	0,001	0,006
0,112	0,717	0,014	0,186	0,187	0,032	0,001	0,090
0,141	0,707	0,014	0,230	0,266	0,223	0,001	0,097
0,155	0,417	0,011	0,257	0,048	0,018	0,001	0,081
0,128	0,602	0,017	0,199	0,225	0,014	0,001	0,088
0,143	0,368	0,051	0,158	0,020	0,029	0,001	0,008
0,155	0,356	0,039	0,158	0,019	0,040	0,001	0,007
0,235	0,882	0,014	0,203	0,228	0,007	0,002	0,097
0,161	0,350	0,003	0,166	0,008	0,007	0,001	0,010
0,138	0,698	0,003	0,213	0,272	0,006	0,001	0,089
0,123	0,694	0,003	0,236	0,255	0,006	0,002	0,084
0,152	0,700	0,003	0,224	0,267	0,007	0,001	0,113
0,143	0,462	0,003	0,224	0,052	0,002	0,001	0,032
0,168	0,455	0,038	0,172	0,005	0,047	0,001	0,007
0,168	0,378	0,035	0,157	0,022	0,028	0,001	0,011
0,131	0,609	0,009	0,192	0,295	0,033	0,001	0,125
0,142	0,589	0,009	0,179	0,303	0,024	0,001	0,126
0,180	0,475	0,019	0,169	0,286	0,028	0,002	0,095
0,132	0,707	0,017	0,190	0,284	0,015	0,004	0,137
0,156	0,638	0,008	0,182	0,197	0,032	0,002	0,141
0,147	0,638	0,008	0,181	0,193	0,032	0,002	0,142
0,145	0,641	0,008	0,181	0,192	0,030	0,002	0,141
0,119	0,671	0,019	0,199	0,470	0,012	0,001	0,160
0,210	0,815	0,017	0,231	0,210	0,018	0,003	0,137
0,204	0,873	0,016	0,200	0,278	0,009	0,001	0,194
0,219	0,773	0,011	0,192	0,217	0,018	0,003	0,184
0,233	0,788	0,014	0,203	0,232	0,027	0,003	0,142
0,191	1,090	0,029	0,157	0,254	0,033	0,002	0,098
0,182	1,090	0,031	0,150	0,248	0,033	0,002	0,100
0,192	1,090	0,031	0,153	0,251	0,034	0,002	0,101

Çizelge 4.7 Kullanılan köşebentlere ait ortalama çelik bileşimi

%C	% Mn	% P	% Si	% Cu	% S	% Al	% Cr
0,157	0,637	0,018	0,186	0,188	0,039	0,001	0,093

Çizelge 4.8 % 0,01-0,03 Ni içeren banyodan alınan numunelerin kaplama kalınlığı istatistiki değerleri

Numune Sayısı	Ort. Kaplama Değeri (µm)	Standart Sapma (µm)	Ölçülen Min. Kaplama Değeri (µm)	Ölçülen Max. Kaplama Değeri (µm)
41	148,4	18,55	116,3	180

Çizelge 4.9 % 0,03-0,08 Ni içeren banyodan alınan numunelerin kaplama kalınlığı istatistiki değerleri

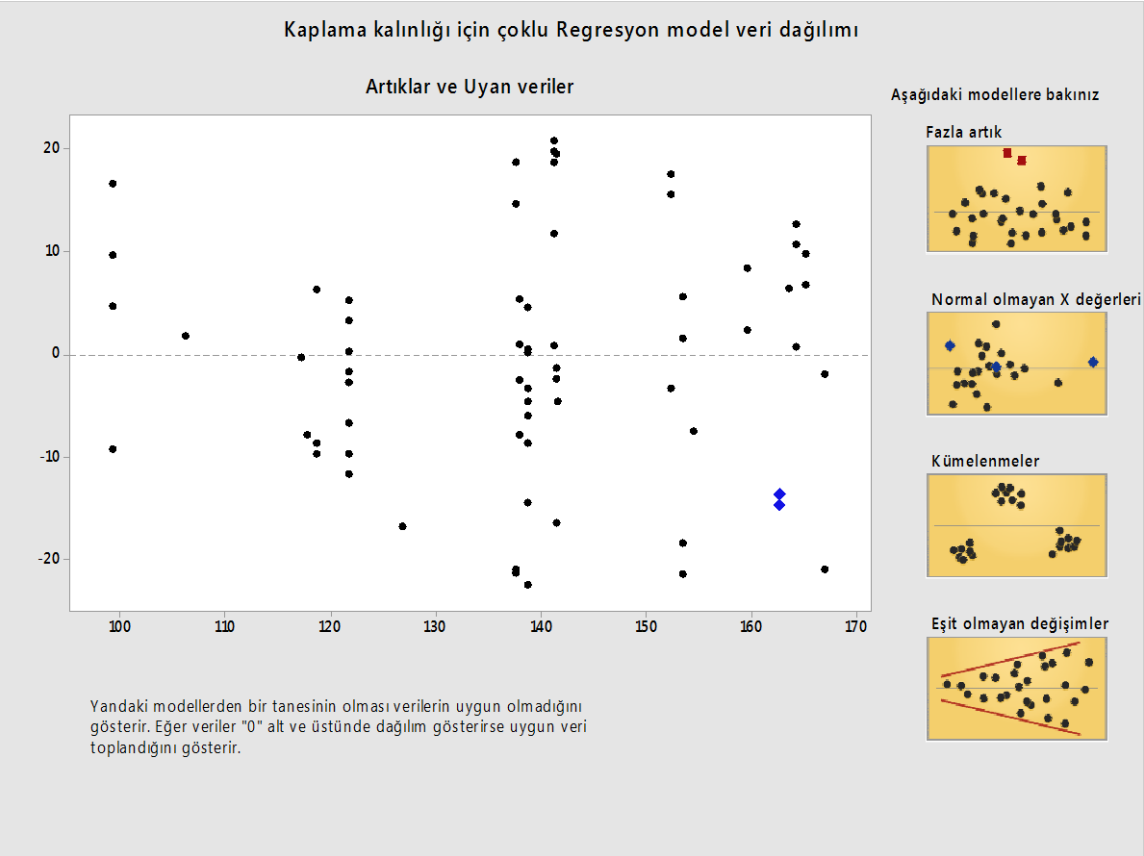
Numune Sayısı	Ort. Kaplama Değeri (µm)	Standart Sapma (µm)	Ölçülen Min. Kaplama Değeri (µm)	Ölçülen Max. Kaplama Değeri (µm)
29	126,1	24	90	165

Yaluk [37] yaptığı çalışmada Si değerinin %0,14-0,25 arasında olmasının kaplama kalınlığını arttırdığını belirtmiştir.

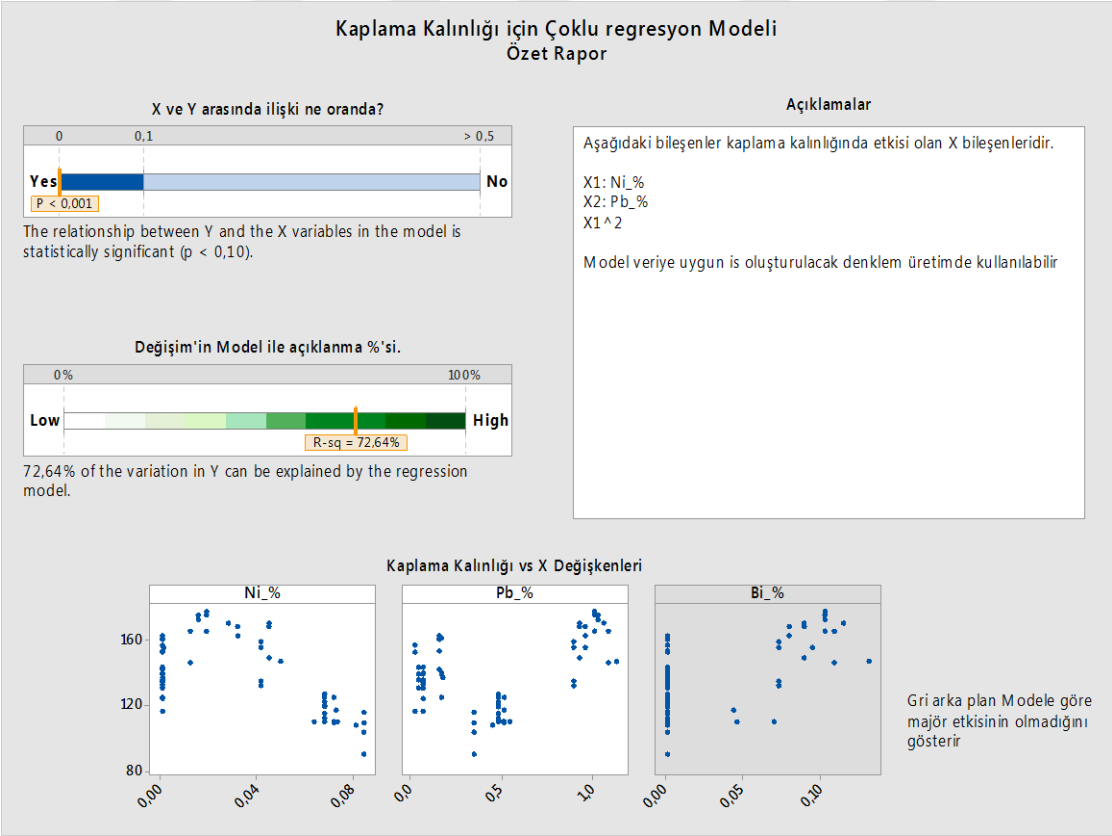
Foct vd. [4] yaptıkları çalışmalarda Si değerinin %0,14-0,25 aralığında olması durumunda banyoyu oluşturan bileşenlerin oranı ve diğer parametrelere bağlı olarak değişmekle beraber kaplama kalınlığının 150-200 µm arasında olduğunu belirlemişlerdir.

Alınan numunelerde elde edilen kaplama kalınlıkları benzer özellik göstermektedir.

Çoklu regresyon aanlizi için toplam 70 adet numune kullanılmış ve numune dağılımları gösterilmiştir. Numune dağılımları uygunsuz bir yapı oluşturmamıştır.



Şekil 4.6 %0,14-0,25 Si içeren çelik köşebentler için yapılan veri uygunluk analizi

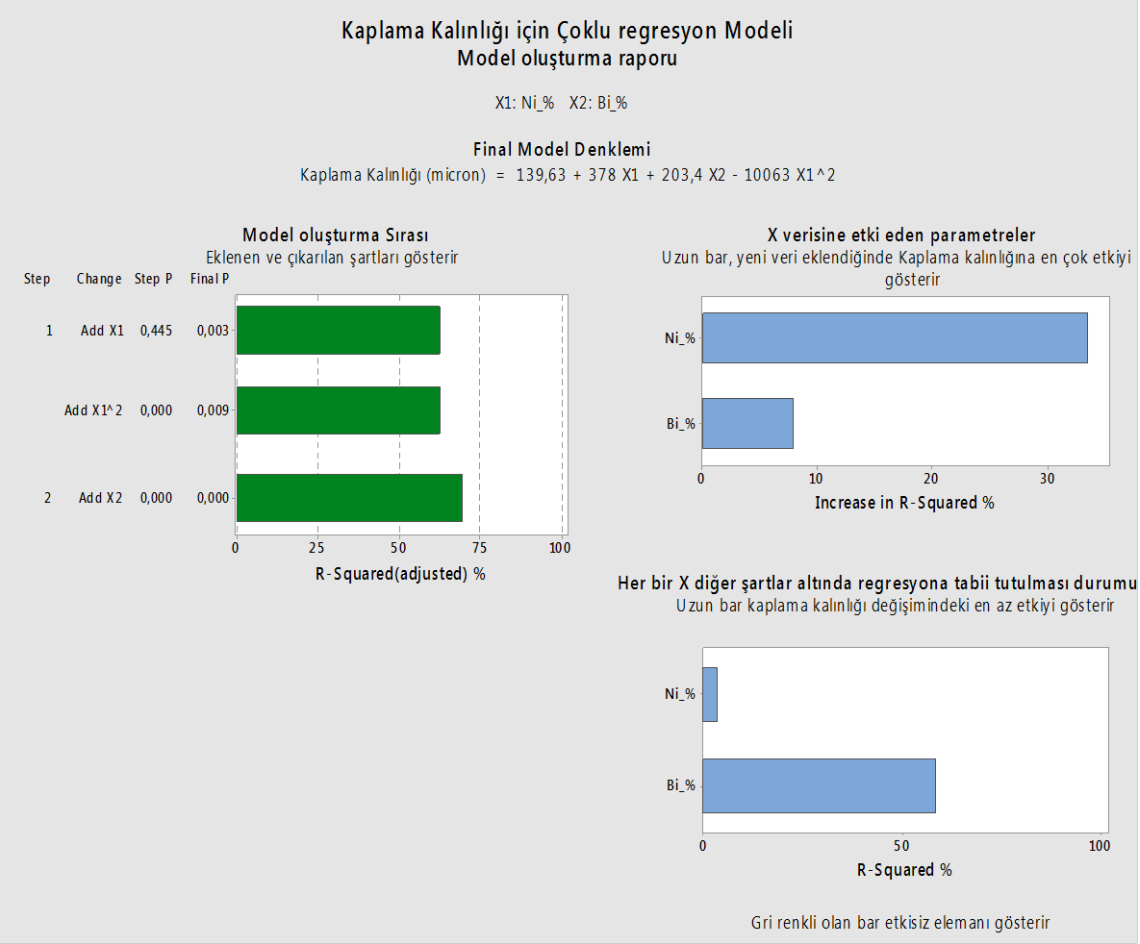


Şekil 4.7 %0,14-0,25 Si içeren çelik köşebentler için yapılan çoklu regresyon analizi

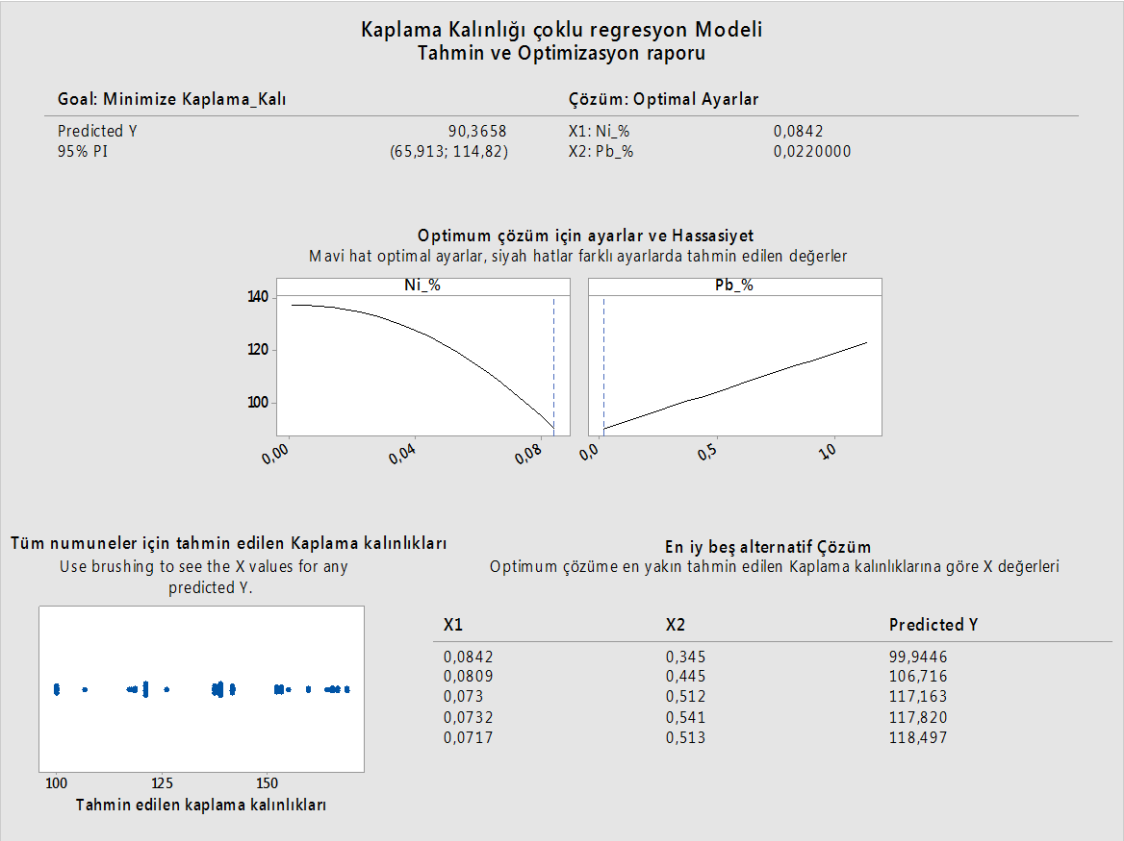
%0,14-0,25 Si içeren çeliklerde, %0,08 Ni kullanımı kaplama kalınlığını düşürmede birinci derecede etkili olmaktadır. Aynı çeliklerde % Pb değerinin %1'e kadar artışı düşük silisyumlu uygulamada olduğu gibi kaplama kalınlığını düşürücü yönde etkilememektedir. % Bi değeri ise toplanan verilere göre %0,5 üzerinde yeteri kadar bir değerde olmadığından herhangi bir kaplama kalınlığını değiştirici etki göstermemiştir.

Vourlias vd. [9], yaptıkları çalışmada Ni kullanımının daha pürüzsüz yüzey ve ince kaplama kalınlıkları elde edileceğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada % 0,28 Pb ve %0,60 Pb oranları kullanılarak kaplama kalınlığının artan kurşun miktarı ile düşürülebileceğini ve havuza Pb eklenmesinin çinko kaplama tabakalarının hızlı kalınlaşmasını belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmada elde edilen bulgular, daha önce yapılan ve literatürde bulunan çalışma ile uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8 %0,14-0,25 Si içeren çelik köşebentler için yapılan çoklu regresyon formülü



Şekil 4.9 Minimum kaplama kalınlığı hedefine ulaşmak için %Ni ve %Pb element bileşenlerine göre oluşturulan optimum değerler

Regresyon optimizasyon analizine göre %0,07-0,08 aralığında Ni kullanılması uygundur. Bu değere karşı ortalama % 0,3-0,5 Pb kullanımı en optimum kaplama kalınlık değerlerini verecektir.

4.3 Dip Dros ve Yüzey Külünde Yapılan Analizler

Dip dros ve yüzey külü analizleri incelendiğinde Ni alaşımının bir kısmının dibe çökerek dros tarafından alındığı görülmektedir. Toz halindeki dip dros ve yüzey külünden alınan numune bileşinleri Nikel'in toz şeklinde uygulanması durumunda çizelge 4.10 ve 4.11'de, Nikel'in tablet şeklinde uygulanması durumunda ise çizelge 4.12 ve 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.10 Ni'in toz halinde uygulanması durumunda dip drosstan alınan numune bileşenleri

%Zn	% Fe	% Al	% Si	% Ni	% Pb	% Bi
93,92	3,54	0,067	0,37	0,32	0,96	0,13
93,20	3,79	0,071	0,41	0,35	0,94	0,11

Çizelge 4.11 Ni'in toz halinde uygulanması durumunda yüzey külünden alınan numune bileşenleri

% Zn	% Cl	% Al	% Si	% Ni	% Pb	% Bi
70,59	9,95	1,99	0,47	0,18	2,12	0,14
71.50	9,85	2,01	0,45	0,20	2,01	0,12

Çizelge 4.12 Ni'in tablet halinde uygulanması durumunda dip drosstan alınan numune bileşenleri

%Zn	% Fe	% Al	% Si	% Ni	% Pb	% Bi
95,65	2,67	0,002	0,04	0,11	1,40	0,13
95,15	2,91	0,001	0,03	0,13	1,30	0,12

Çizelge 4.13 Ni'in tablet halinde uygulanması durumunda yüzey külünden alınan numune bileşenleri

% Zn	% Cl	% Al	% Si	% Ni	% Pb	% Bi
72,71	4,04	3,82	0,02	0,07	0,75	0,08
72,01	4.21	3,91	0,01	0,06	0,81	0,07

Yüzey külünde yapılan analizlerde tablet veya toz biçiminde uygulanan Ni eser miktarda görülmektedir.

Alınan dip ve yüzey külü analizlerine göre toz uygulamalarda dip dros içinde ortaya çıkan Nikel'in tablet uygulamasına çinko eriyik içinde daha homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir.

Krzywicki ve Langill [30] yaptıkları çalışmada, yüzey dross bileşiminde %60-85 arasında Çinko oksit, %2-12 oranında klorür ve %0,3-2,5 arasında kurşun bulunabileceğini belirtmiştir.

Lewis ve Pedersen [16], yaptıkları çalışmada, toz Ni uygulamalarının %95' e kadar verimli olduğunu ve Ortalama 1 saat içinde saf Zn banyosunu Zn-Ni banyosuna çevrilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca tablet uyglamalarında verimliliğin %20 ile %33 arasında değiştiğini göstermişlerdir.

Yapılan çalışmalarla elde edilen bulgular, yukarıda yapılan çalışmalarla uyum içinde olduğunu göstermektedir.

4.4 Tüketilen Çinko Miktarı ve Maliyete Etkisi

Türkiye galvanizciler birliği tarafından istatistiki bilgilere göre hazırlanmış olan kaplanmış çelik ürün et kalınlığına ve kullanılan kaplama kalınlığına göre % çinko kullanım oranları verilmiştir [36].

Çizelge 4.14 Et kalınlığına göre çinko % oranları fire dahil Brüt ve Tl/Ton Çinko maliyeti [36]

Et Kalınlığına Göre Çinko % oranları Fire dahil Brüt ve TL/Ton Çinko Maliyeti

Tarih: 29.01.2018

	55		60		65		70		75		80		85		90		95		100	
mm	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL
1	9,8%	1.384 ₺	11,7%	1.651 ₺	12,6%	1.777 ₺	13,5%	1.903 ₺	14,4%	2.029 ₺	15,3%	2.154 ₺	16,2%	2.280 ₺	17,1%	2.406 ₺	18,0%	2.532 ₺	18,9%	2.658 ₺
1,5	7,5%	1.064 ₺	8,1%	1.148 ₺	8,7%	1.232 ₺	9,3%	1.315 ₺	9,9%	1.399 ₺	10,5%	1.483 ₺	11,1%	1.567 ₺	11,7%	1.651 ₺	12,3%	1.735 ₺	12,9%	1.819 ₺
2	5,9%	833 ₺	6,4%	896 ₺	6,8%	959 ₺	7,2%	1.022 ₺	7,7%	1.085 ₺	8,1%	1.148 ₺	8,6%	1.211 ₺	9,0%	1.274 ₺	9,5%	1.336 ₺	9,9%	1.399 ₺
2,5	4,9%	695 ₺	5,3%	745 ₺	5,6%	795 ₺	6,0%	846 ₺	6,4%	896 ₺	6,7%	946 ₺	7,1%	997 ₺	7,4%	1.047 ₺	7,8%	1.097 ₺	8,1%	1.148 ₺
3	4,3%	602 ₺	4,6%	644 ₺	4,9%	686 ₺	5,2%	728 ₺	5,5%	770 ₺	5,8%	812 ₺	6,1%	854 ₺	6,4%	896 ₺	6,7%	938 ₺	7,0%	980 ₺
3,5	3,8%	536 ₺	4,1%	572 ₺	4,3%	608 ₺	4,6%	644 ₺	4,8%	680 ₺	5,1%	716 ₺	5,3%	752 ₺	5,6%	788 ₺	5,8%	824 ₺	6,1%	860 ₺
4	3,5%	487 ₺	3,7%	519 ₺	3,9%	550 ₺	4,1%	581 ₺	4,3%	613 ₺	4,6%	644 ₺	4,8%	676 ₺	5,0%	707 ₺	5,2%	739 ₺	5,5%	770 ₺
4,5	3,2%	449 ₺	3,4%	477 ₺	3,6%	505 ₺	3,8%	532 ₺	4,0%	560 ₺	4,2%	588 ₺	4,4%	616 ₺	4,6%	644 ₺	4,8%	672 ₺	5,0%	700 ₺
5	3,0%	418 ₺	3,1%	443 ₺	3,3%	468 ₺	3,5%	493 ₺	3,7%	519 ₺	3,9%	544 ₺	4,0%	569 ₺	4,2%	594 ₺	4,4%	619 ₺	4,6%	644 ₺
5,5	2,8%	393 ₺	2,9%	416 ₺	3,1%	438 ₺	3,3%	461 ₺	3,4%	484 ₺	3,6%	507 ₺	3,8%	530 ₺	3,9%	553 ₺	4,1%	576 ₺	4,2%	599 ₺
6	2,6%	372 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	414 ₺	3,1%	435 ₺	3,2%	456 ₺	3,4%	477 ₺	3,5%	498 ₺	3,7%	519 ₺	3,8%	539 ₺	4,0%	560 ₺
6,5	2,5%	354 ₺	2,6%	373 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	412 ₺	3,1%	431 ₺	3,2%	451 ₺	3,3%	470 ₺	3,5%	489 ₺	3,6%	509 ₺	3,7%	528 ₺
7	2,4%	339 ₺	2,5%	357 ₺	2,7%	375 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	411 ₺	3,0%	429 ₺	3,2%	447 ₺	3,3%	465 ₺	3,4%	483 ₺	3,6%	501 ₺
7,5	2,3%	326 ₺	2,4%	342 ₺	2,5%	359 ₺	2,7%	376 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	409 ₺	3,0%	426 ₺	3,1%	443 ₺	3,3%	460 ₺	3,4%	477 ₺
8	2,2%	314 ₺	2,3%	330 ₺	2,5%	345 ₺	2,6%	361 ₺	2,7%	377 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	408 ₺	3,0%	424 ₺	3,1%	440 ₺	3,2%	456 ₺
8,5	2,2%	304 ₺	2,3%	319 ₺	2,4%	333 ₺	2,5%	348 ₺	2,6%	363 ₺	2,7%	378 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	407 ₺	3,0%	422 ₺	3,1%	437 ₺
9	2,1%	295 ₺	2,2%	309 ₺	2,3%	323 ₺	2,4%	337 ₺	2,5%	351 ₺	2,6%	365 ₺	2,7%	379 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	407 ₺	3,0%	421 ₺
9,5	2,0%	287 ₺	2,1%	300 ₺	2,2%	313 ₺	2,3%	326 ₺	2,4%	340 ₺	2,5%	353 ₺	2,6%	366 ₺	2,7%	379 ₺	2,8%	393 ₺	2,9%	406 ₺
10	2,0%	279 ₺	2,1%	292 ₺	2,2%	305 ₺	2,2%	317 ₺	2,3%	330 ₺	2,4%	342 ₺	2,5%	355 ₺	2,6%	368 ₺	2,7%	380 ₺	2,8%	393 ₺

	105		110		115		120		125		130		135		140		145		150	
mm	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL	µm	TL
1	19,7%	2.784 ₺	20,6%	2.909 ₺	21,5%	3.035 ₺	22,4%	3.161 ₺	23,3%	3.287 ₺	24,2%	3.413 ₺	25,1%	3.539 ₺	26,0%	3.664 ₺	26,9%	3.790 ₺	27,8%	3.916 ₺
1,5	13,5%	1.903 ₺	14,1%	1.987 ₺	14,7%	2.070 ₺	15,3%	2.154 ₺	15,9%	2.238 ₺	16,5%	2.322 ₺	17,1%	2.406 ₺	17,7%	2.490 ₺	18,3%	2.574 ₺	18,9%	2.658 ₺
2	10,4%	1.462 ₺	10,8%	1.525 ₺	11,3%	1.588 ₺	11,7%	1.651 ₺	12,2%	1.714 ₺	12,6%	1.777 ₺	13,0%	1.840 ₺	13,5%	1.903 ₺	13,9%	1.966 ₺	14,4%	2.029 ₺
2,5	8,5%	1.198 ₺	8,9%	1.248 ₺	9,2%	1.299 ₺	9,6%	1.349 ₺	9,9%	1.399 ₺	10,3%	1.450 ₺	10,6%	1.500 ₺	11,0%	1.550 ₺	11,4%	1.601 ₺	11,7%	1.651 ₺
3	7,2%	1.022 ₺	7,5%	1.064 ₺	7,8%	1.106 ₺	8,1%	1.148 ₺	8,4%	1.190 ₺	8,7%	1.232 ₺	9,0%	1.274 ₺	9,3%	1.315 ₺	9,6%	1.357 ₺	9,9%	1.399 ₺
3,5	6,4%	896 ₺	6,6%	932 ₺	6,9%	968 ₺	7,1%	1.004 ₺	7,4%	1.040 ₺	7,6%	1.076 ₺	7,9%	1.112 ₺	8,1%	1.148 ₺	8,4%	1.184 ₺	8,7%	1.220 ₺
4	5,7%	802 ₺	5,9%	833 ₺	6,1%	865 ₺	6,4%	896 ₺	6,6%	927 ₺	6,8%	959 ₺	7,0%	990 ₺	7,2%	1.022 ₺	7,5%	1.053 ₺	7,7%	1.085 ₺
4,5	5,2%	728 ₺	5,4%	756 ₺	5,6%	784 ₺	5,8%	812 ₺	6,0%	840 ₺	6,2%	868 ₺	6,4%	896 ₺	6,6%	924 ₺	6,8%	952 ₺	7,0%	980 ₺
5	4,7%	670 ₺	4,9%	695 ₺	5,1%	720 ₺	5,3%	745 ₺	5,5%	770 ₺	5,6%	795 ₺	5,8%	821 ₺	6,0%	846 ₺	6,2%	871 ₺	6,4%	896 ₺
5,5	4,4%	621 ₺	4,6%	644 ₺	4,7%	667 ₺	4,9%	690 ₺	5,1%	713 ₺	5,2%	736 ₺	5,4%	759 ₺	5,5%	782 ₺	5,7%	804 ₺	5,9%	827 ₺
6	4,1%	581 ₺	4,3%	602 ₺	4,4%	623 ₺	4,6%	644 ₺	4,7%	665 ₺	4,9%	686 ₺	5,0%	707 ₺	5,2%	728 ₺	5,3%	749 ₺	5,5%	770 ₺
6,5	3,9%	548 ₺	4,0%	567 ₺	4,2%	586 ₺	4,3%	606 ₺	4,4%	625 ₺	4,6%	644 ₺	4,7%	664 ₺	4,8%	683 ₺	5,0%	702 ₺	5,1%	722 ₺
7	3,7%	519 ₺	3,8%	536 ₺	3,9%	554 ₺	4,1%	572 ₺	4,2%	590 ₺	4,3%	608 ₺	4,4%	626 ₺	4,6%	644 ₺	4,7%	662 ₺	4,8%	680 ₺
7,5	3,5%	493 ₺	3,6%	510 ₺	3,7%	527 ₺	3,9%	544 ₺	4,0%	560 ₺	4,1%	577 ₺	4,2%	594 ₺	4,3%	611 ₺	4,5%	628 ₺	4,6%	644 ₺
8	3,3%	471 ₺	3,5%	487 ₺	3,6%	503 ₺	3,7%	519 ₺	3,8%	534 ₺	3,9%	550 ₺	4,0%	566 ₺	4,1%	581 ₺	4,2%	597 ₺	4,3%	613 ₺
8,5	3,2%	452 ₺	3,3%	467 ₺	3,4%	481 ₺	3,5%	496 ₺	3,6%	511 ₺	3,7%	526 ₺	3,8%	541 ₺	3,9%	556 ₺	4,0%	570 ₺	4,2%	585 ₺
9	3,1%	435 ₺	3,2%	449 ₺	3,3%	463 ₺	3,4%	477 ₺	3,5%	491 ₺	3,6%	505 ₺	3,7%	519 ₺	3,8%	532 ₺	3,9%	546 ₺	4,0%	560 ₺
9,5	3,0%	419 ₺	3,1%	432 ₺	3,2%	446 ₺	3,3%	459 ₺	3,3%	472 ₺	3,4%	485 ₺	3,5%	499 ₺	3,6%	512 ₺	3,7%	525 ₺	3,8%	538 ₺
10	2,9%	405 ₺	3,0%	418 ₺	3,1%	430 ₺	3,1%	443 ₺	3,2%	456 ₺	3,3%	468 ₺	3,4%	481 ₺	3,5%	493 ₺	3,6%	506 ₺	3,7%	519 ₺

Türkiyede fason galvaniz yapan işletmeler aylık ortalama 2.000 ton üretim yapmaktadırlar.

[1] Ni kullanılarak yapılan üretimde harcanacak ortalama Çinko miktarı;

2.000 ton ürün➔ 2.000/ %5,2 = 104 ton Çinko Kullanımı **(Ni elementi kullanılarak)**

[2] Ni kullanılmadan yapılan üretimde harcanacak ortalama Çinko miktarı;

2.000 ton ürün➔2.000/ %6,1 = 122 ton Çinko Kullanımı **(Ni elementi olmadan)**

Ni kullanımı ile tüketilen çinko miktarı – Ni kullanılmadan tüketilen çinko miktarı

Çinko kullanım farkı➔ 122 ton- 104 ton = 18 ton daha az çinko kullanılacaktır.

18 ton çinko x 3.500$/ton çinko maliyeti = 63.000 $

122 ton çinko için harcanacak Ni miktarı;

(0,05-0,08) arasında bir bileşimi oluşturmak için; (Dross kaybı da dikkate alınarak) her bir çinko ton başına 1,5 kg Ni dir. Ni tozu fiyatı 30$/kg olduğuna göre;

Ortalama 122 ton çinko için➔ 122 x 1,5 kg x 30 $/ton= 5.490$ Ni maliyeti olacaktır.

63.000 $ çinko iyileştirme- 5.490$ Ni sarfiyatı = **57.510 $/ ay net kar**. (2000 ton çelik malzeme kaplaması için hesaplanan değer)

Ton başına kar ise 57.510 $/ay / 2.000 ton = **28,75 $/ton çelik kaplama**(Yukarıda yapılan hesaplama, çinko fiyatının 3500$/ton, ve Ni fiyatının 30$/ton olduğu şartlarda yapılmıştır) [Londra metal borsası 20.02.2018 çinko fiyatları]

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıcak daldırma yöntemi ile çeliklerin galvanizlenmesi işleminin kullanımı ülkemizde son yıllarda gerek yeni işletmelerin açılması gerekse yeni kullanım alanlarının ortaya çıkması açısından sürekli bir artış göstermektedir. Sıcak daldırma galvaniz yöntemi çok eski bir yöntem olmakla birlikte ülkemizde son 50-60 senedir kullanılan bir yöntemdir. Özellikle türkçe yazılı kaynakların azlığı işletmelerde gerçekleştirilen iyileştirme ve optimizasyon çalışmalarının yaygınlaşmasını sınırlamıştır.

Bu çalışmada, pivot sulama sistemlerinde kullanılan P235TR1 kalitesine sahip, 3 mm et kalınlığında < % 0,03 Si içeren çelik borular 68^o açı ile asılarak ve S275 JR kalitesine sahip, 3 mm et kalınlığında %0,14-0,25 Si içeren çelik köşebentler 180^o açı ile asılmak sureti ile sıcak daldırma galvaniz yöntemi ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi, numuneler ön işlem basamaklarından geçirildikten sonra borular için 480 sn, köşebentler için 360 sn olmak üzere 450 ^oC de çinko eriyik içeren kazan içine daldırılarak yapılmıştır. Kaplama kalınlığı analizi yapmak için çinko eriyiğe daldırılarak kaplanan çelik numunelerinin kaplama kalınlıkları ölçülmüştür.

Çinko eriyik kimyasal bileşimleri ve bu eriyik içine batırılan numunelerin kimyasal bileşimleri optik emisyon cihazı ile analiz edilmiş ve istatistiki çalışma için gerekli veriler oluşturulmuştur. Elde edilen veriler çoklu regresyon analizi ve optimizasyon analizleri ile irdelenmiştir.

Kaplanmış numuneler, çinko eriyik içindeki farklı % Ni oranlarına göre gruplanmış ve bu gruplamaya göre elde edilen kaplama kalınlık değerleri ve kaplama kalınlıklarına etki eden % Ni, %Pb, % Bi değerleri elde edilmiştir.

Eriyik çinko kazanı dibinde oluşan dip dros ve yüzeyde oluşan yüzey külünden numuneler alınmış toz haline getirilmiş ve XRF testleri ile kimyasal bileşimi tespit edilmiştir.

Yapılan tüm incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Kaplama esnasında dalış açısı 68^{o} olan < %0,03 Si içeriğine sahip düşük karbonlu çelik borularda yapılan çoklu regresyon ve ana etki analizinde;

- Pb ve Bi elementlerinin galvaniz ocağı içinde beraber kullanılması durumunda, Pb elementi bileşim içinde %1'e kadar kaplama kalınlığını arttırdığı görülmüştür.
- Pb elementi galvaniz ocağı eriyik içinde %1'den sonra parabolik olarak kaplama kalınlığını düşürebileceği görülmüştür.
- Bi elementi kaplama kalınlığını düşürücü etki göstermiştir.
- Çinko eriyik içindeki Ni elementi %0,03-0,08 arasında lineer olarak kaplama kalınlığını düşürmüştür.
- Kaplama kalınlığını düşürmede Ni elementinin, Bi ve Pb ye göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Dalış açısı 180^{o} olan köşebentler ve %0,14-0,25 Si içeriğine sahip olan düşük karbonlu çeliklerde yapılan çoklu regresyon analizinde;

- Pb elementi kaplama kalınlığını arttırıcı etki göstermiştir.
- Ni ise %0,03-0,08 arasında parabolik olarak kaplama kalınlığını azaltmıştır.

Her iki numune grubuna göre yapılan optimizasyon analizine göre;

- Galvaniz kazanında %0,06-0,08 oranında Ni, %0,4-0,5 oranında Pb ve %0,07-0,13 oranında Bi kullanılmasının düşük kaplama kalınlığı sağlayacağı belirlenmiştir.
- Yapılan örnek maliyet analizi çalışmasına göre, galvaniz kazanında %Ni >%0,03-0,08 olması durumunda, kaplanan 1 ton çelik için ortalama 28,75$ kar

sağladığı görülmüştür. Ülkemizde faaliyette olan tesislerde ortalama 2,000 ton/ay üretim olduğu düşünüldüğünde ortalama 50,000-60,000$ /ay maliyet tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Sonuç olarak, Si içeriği <%0,03 olan 3 mm et kalınlığına sahip, P235TR1 kalitesindeki çelik borular 68^{o} açı ile Si içeriği %0,14-0,25 aralığında bulunan 3 mm et kalınlığına sahip S275JR çelik köşebentler 180^{o} açı ile boyu 8 m, eni 1,5 m ve derinliği 3 m olan, 450 ^{o}C'de %0,06-0,08 oranında Ni katılmış galvaniz kazanına daldırılarak kaplama işlemine tabi tutulduklarında kaplama kalınlığı ortalama % 15-21 oranında azalmış ve yüzey özellikleri iyileşmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda aşağıda sıralanan çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Bu çalışmada maliyet hesabı, Londra metal borsasına göre (şubat 2018), Zn fiyatının 3,500$/ton ve Ni fiyatının 30$/kg olduğu bir fiyatlamaya göre yapılmıştır. Nikel fiyatının çok fazla yükselmesi ve çinko fiyatının çok fazla düşmesi sebebi ile Ni kullanımının pratik olup olmayacağı araştırılmalıdır.
- Dip dros ve yüzey külü ile beraber kaybolan Ni miktarının belirlenmesi için daha detaylı çalışma yapılması gerekir.
- Ni'in toz veya tablet şeklinde uygulamasının kaplama kalınlığını düşürmedeki etkisi sayısal olarak daha detaylı olarak belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Revie R.W. ve Uhlig H.H., (2008).Corrosion and Corrosion Control, An introduction to corrosion science and engineering, fourth edition, A John Wiley&Sons, Inc., Hoboken New Jersey.

[2] Roberge, P.R. (2008). Corrosion Engineering Principles and Practice, first edition McGraw-Hill Companies, Newyork.

[3] American Galvanizers Association, (2011). "Zinc Coatings, A Comparative Analysis of Process and Performance Characteristics" https://www.galvanizeit.org/uploads/publications/Zinc_Coatings.pdf, 21 Şubat 2018.

[4] Foct J., Reumont G., Dupont G., Perrot P., (1993). "How does silicon lead the kinetics of the galvanizing reaction to lose its solid-solid character", Journal de Physique IV Colloque, C7: 961-966.

[5] Pokorny, P., Kolisko, J., Balık, L., Novak, P.,(2016). "Effect of Chemical Composition of Steel on the Structure of Hot- Dip Galvanized Coating", Metalurgija 55 (1): 115- 118.

[6] Sepper S., Peetsalu P., Kulu P., Saarna M. ve Mikli V., (2016). "The role of silicon in the hot dip galvanizing process" Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 65 (2):159–165.

[7] Bondavera O.S., Melnikov A.A., (2016). "Effect of the silicon content in steel On the hot-dip zinc coating microstructure formation", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 156:1-7.

[8] Marder, A.R., (2000). " The metallurgy of zinc-coated steel", Progress in Materials Science", 45: 191-271.

[9] Vourlias G., Pistofidis N., Stergioudis G., Pavlidou E. ve Tsipas D., (2004). "Influence of alloying elements on the structure and corrosion resistance of galvanized coatings", Phys. stat. sol. 201 (7): 1518-1527.

[10] Kania H., ve Liberski P., (2012). "Synergistic influence of Al, Ni, Bi and Sn addition to a zinc bath upon growth kinetics and the structure of coatings", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 35: 1-10.

[11] Katiforis N., Papadimitriou G., (1994). "Influence of copper, cadmium and tin additions in the galvanizing bath on the structure, thickness and cracking behaviour of the galvanized coatings", Surface and Coatings Technology, 78: 185-195.

[12] Nasr J.B., Snoussi A., Bradai C., Halouani F., (2008). "Effect of the withdrawal speed on the thickness of the zinc layer in hot dip pure zinc coatings", Materials Letter, 62: 2150-2152.

[13] Bicao P., Jianhua W., Li Zhi S.X., Fucheng Y., (2008). "Effects of zinc bath temperature on the coatings of hot-dip galvanizing", Surface & Coatings Technology 202: 1785-1788.

[14] Vala U., (2002). "Effect of lead on hot dip galvanized steel as barrier/ Sacrificial Coating", Coating Corrosion Seminar, 150-155.

[15] Pistofidis N., Vourlias G., Konidaris S., Pavlidou E., Stergioudis G., (2007). "The combined effect of nickel and bismuth on the structure of hot-dip zinc coatings", Material Letters 61: 2007-2010.

[16] Lewis, G.P., ve Pedersen, J., (1996). "Optimizing The Nickel-Zinc Process for Hot Dip Galvanizing", Cominco Ltd, 3rd Asian Pacific Galvanizing Conference, 1-8.

[17] Notowidjojo, B.D., (1990). A study of Zinc-Nickel Galvanized Coating of silicon steels, Doctor of Philosophy thesis, Department of Materials Engineering, University of Wollongong, Australia.

[18] Güven V., (1999). Sıcak Daldırma Yöntemi ile Sürekli Çinko Kaplama, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsüsü, İstanbul.

[19] Maaß P. ve Peißker P., Çev. Artır R. Galder, (2016). Sıcak daldırmayla galvanizleme el kitabı, 1. Baskı, Galder, İstanbul.

[20] Wilmot R.E., "Technical Paper An Example of a Life Cycle Costing Analysis, Hot Dip Galvanizers Associations Southern Africa, http://www.hdgasa.org.za/wp-content/uploads/2015/09/An-Example-of-a-Life-Cycle-Costing-Analysis.pdf, 15 Ocak 2018.

[21] Kuklík V. ve Kudláček J., (2016). Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures, Butterworth Heinemann, 17-27.

[22] Barlow D., (2015). "Pickling Steel", American Galvanizers Association, https://www.galvanizeit.org/education-and-resources/resources/technical-

faq-dr-galv/pickling-steel, 02 Ocak 2018.

[23] Cook, T.H. (2003). "Metal Finishing, Composition, Testing, and Control of Hot Dip Galvanizing Flux", Metal Finishing, 101: 22-35.

[24] Boonyongmaneerat Y., Saengkiettiyut K., Rattanawaleedirojn P., Angkaprasert C., Wanichsampan J., Saenapitak S.,(2010). "Effect of $NiCl_2$-Based Flakses on Interfacial Layer Formation of Hot Dip Galvanized Steels", Journal of Iron and Steel Research, International 17: 77-78.

[25] Manna M., (2011). "Effect of Fluxing chemical: An option for Zn–5wt.%Al alloy coating on wire surface by single hot dip process", Surface & Coatings Technology, 205: 3716-3721.

[26] AGA, (2018). "what-is-hot-dip-galvanizing", American Galvanizers Associations, https://www.galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/what-is-hot-dip-galvanizing-hdg, 17 Ocak 2018.

[27] Shibli S.M.A, Meena B.N., Remya R., (2015). "A review on recent approaches in the field of hot dip zinc galvanizing process", Surface & Coatings Technology, 262: 210-215.

[28] Tomlinson, W.,J., ve Patel, J. R., (1991). "Silicon steels hot-dip galvanized with zinc-nickel alloys", Journals of Materials Science Letters 10: 384-388.

[29] Kong G., Jin-Tan L., Qiao-yu X., (2007). "Dissolution mechanism of solid nickel in liquid zinc saturated with Fe", Trans. Non ferrous Met. Soc.17: 564-569.

[30] Krzywicki J., Langill T., (2001). Skimmings and Dross, Galvanize info, https://www.galvanizeit.org/images/uploads/member Galvanizing Notes/ Skimmings Dross, JohnKrzywickiThomasLangillPh.D, 24.02.2018.

[31] Tolcin A.C., U.S. Geological Survey, (2017). "Mineral Commodity Summaries-Zinc "USA.

[32] LME, (2017). Çinko fiyatları, London Metal Exchange, https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Zinc#tabIndex=2, "LME historical Data Çinko Fiyatları", 27 ekim 2017.

[33] LME, (2017). Nikel Fiyatları, London Metal Exchange, https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Nickel#tabIndex=0, "LME historical Data Nikel Fiyatları", London Metal Exchange, 27 Ekim 2017.

[34] LME, (2017). Aluminyum Fiyatları, London Metal Exchange, https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Aluminium#tabIndex=0, "LME historical Data Aluminyum Fiyatları", London Metal Exchange 27 Ekim 2017.

[35] LME, (2017). Kurşun Fiyatları, London Metal Exchange, https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Lead#tabIndex=0, "LME historical

Data Kurşun Fiyatları", London Metal Exchange, 27 Ekim 2017.

[36] Galder, (2017). "Et kalınlığına göre Çinko % oranları fire dahil brüt Değerler" İstanbul.

[37] Yaluk D., (2009). Çelik sistemlerin yüzey özelliklerinin sıcak daldırma galvaniz kaplamalara etkisi, Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Ana Bilim Dalı, Adana.

[38] Tao L. ve Karahan B.D.(2018). "ZnNi ve ZnNiBi alaşımlarının sıcak daldırma galvaniz prosesinde kullanımları", Genel Galvanizciler derneği Galder İktisadi İşletmesi yayın organı, Sayı 26:30-36.

[39] Frost J. (2018). Regression Analysis: How Do I Interpret R-squared and Assess the Goodness-of-Fit?", The Minitab Blog, http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics-2/regression-analysis-how-do-i-interpret-r-squared-and-assess-the-goodness-of-fit, 27.02.2018.

[40] Ürün Kataloğu 2017. "Erdemir Grubu", https://www.erdemir.com.tr/Sites/1/upload/files/Urun_Katalogu-2017-1269.pdf 12.03.2018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Ferhat SADAY

Doğum Tarihi ve Yeri :05.01.1982- Ankara

Yabancı Dili :İngilizce- Almanca

E-posta :ferhat.saday@windowslive.com

ÖĞRENİM DURUMU

OC	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Met. Malz. Müh.	Yıldız Teknik Üni.	.....
Y. Lisans	İş Sağ/ Güv.	Marmara Üni.	2016
Y. Lisans	İşletme	İzmir Ekonomi Üni.	2015
Ön. Lisans	Dış Ticaret	Anadolu Üni.	2008
Lisans	Met. Malz. Müh.	Dokuz Eylül Üni.	2005
Lise	Fen-Mat	Alanya Y.Dil.Ağ.Lise	2000

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2006-2010	Tosçelik Profil ve Sac. End. A.Ş.	Üretim Müh.
2010-2011	İsdemir Demir ve Çelik Fabrikaları	Haddehaneler K.K. Müh.
2011-2015	Tosçelik Profil ve Sac. End. A.Ş.	Kalite Kontrol&Güv. Şefi
2015-……	Lindsay Sulama ve Altyapı San.Tic. A.Ş.	Kalite Müdürü