

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GALVANİZ KAPLANMIŞ DX51 VE DX52 KALİTE ÇELİKLERİNDE**  
**MEKANİK İŞLEMLERİN KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**MUSTAFA DÜLGER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ (Tez Danışmanı)**  
**Prof. Dr. Hakan ÇETİNEL**  
**Dr. Öğr. Üyesi Seda ARABACI**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2024**

## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Galvaniz Kaplanmış DX51 Ve DX52 Kalite Çeliklerinde Mekanik İşlemlerin Korozyon Davranışına Etkisinin İncelenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Mustafa DÜLGER**

## ÖZET

**GALVANİZ KAPLANMIŞ DX51 VE DX52 KALİTE ÇELİKLERİNDE MEKANİK İŞLEMLERİN KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MUSTAFA DÜLGER**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALAADDİN TOKTAŞ)**  
**BALIKESİR, HAZİRAN - 2024**

Bir yüzey kaplama tekniği olan galvanizleme, çeliklerin korozyona karşı korunmasında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu teknikle üretilmiş çelik levha sacların üretim sırasında kesme ve şekillendirme işlemleri esnasında pullanma, kaplama soyulması, kesim sonrası ürünlerde kaplamasız yüzeylerinin ortaya çıkması ve atmosferik havada hızlı beyaz pas oluşumu gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Çalışmada iki farklı çelik kalitesi, bu çelik kalitelerinin her biri için iki farklı kaplama gramajı ile toplamda dört farklı çelik levha kalitesi içeren saclardan numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Numune tasarımları yapılırken sanayide galvanizli saclara sıklıkla uygulanan delik ve büküm şekillendirme yöntemleri kullanılmıştır. Üretimi yapılan numuneler her kalite sacdan birer tane rastgele numune seçilerek XRD yöntemi ile kaplama kalınlığı ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her kalite çelikten numuneler yapılarak tuz sisi testi ile korozyona maruz bırakılmıştır. Tuz sisi testi sonucunda oluşan kırmızı ve beyaz pas örnekleri alınarak pas analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu numune tasarımları içinden en kritik delik ve büküm şartlarına sahip tasarım seçilerek atmosferik hava korozyonuna ve sanayi koşulları (tavuk gübresi) korozyonuna maruz bırakılmıştır. Bir ay boyunca gerçekleşen bu deney sonucunda gramaj farkları tespit edilip, bu farklarla mekanik işlemlerin ortamlardaki korozyon hızlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak, galvanizli saclar üzerinde yapılan mekanik işlemlerin farklı kalitedeki saclar üzerinde korozyon davranışları incelenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Galvaniz, korozyon, kaplama, mekanik işlem.

Bilim Kod / Kodları : 91421

Sayfa Sayısı : 197

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATING THE EFFECT OF MECHANICAL PROCESSES ON CORROSION BEHAVIOR IN GALVANIZED DX51 AND DX52 QUALITY STEELS**

**MSC THESIS**

**MUSTAFA DÜLGER**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**MECHANICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALAADDİN TOKTAŞ )**

**BALIKESİR, JUNE - 2024**

Galvanizing, a surface coating technique, is a method frequently used to protect steel from corrosion. During the production process of steel sheets manufactured using this technique, issues such as flaking, coating peeling, exposure of uncoated surfaces after cutting, and rapid white rust formation in atmospheric conditions have been encountered. In this study, samples were produced from sheets containing four different steel sheet qualities, consisting of two different steel grades and two different coating weights for each steel grade. While designing the samples, hole and bending forming methods, which are frequently applied to galvanized sheets in the industry, were used. Random samples from each quality of the produced sheets were selected, and coating thickness measurements were performed using the XRD method. Samples from each steel quality were subjected to a salt spray test to evaluate corrosion resistance. Red and white rust samples formed as a result of the salt spray test were taken and analyzed. The most critical design with the most severe hole and bending conditions was selected from these sample designs and exposed to atmospheric air corrosion and industrial conditions (chicken manure) corrosion. At the end of this one-month experiment, differences in coating weights were identified, and the corrosion rates in different environments were compared based on these differences. Consequently, the corrosion behaviors of different quality steel sheets subjected to mechanical processes on galvanized sheets were examined.

**KEYWORDS:** Galvanize, corrosion, coating, mechanical processes.

Science Code / Codes : 91421

Page Number : 197



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>3</b>
<b>3. GALVANİZLEME</b> .....	<b>13</b>
3.1 Çinko Kaplama Çeşitleri.....	13
3.2 Sıcak Daldırma Galvanizleme .....	14
3.3 Sıcak Daldırma Galvanizlemede Kaplama Çeşitleri.....	15
3.4 Galvanizleme İşlemleri .....	15
3.4.1 Yüzey Hazırlık İşlemleri .....	16
3.4.1.1 Yağ Alma .....	17
3.4.1.2 Boya Temizleme.....	18
3.4.1.3 Kumlama .....	18
3.4.1.4 Asitle Temizleme .....	18
3.4.1.5 Yıkama .....	19
3.4.1.6 İnhibitör (Koruyucu) Kullanma.....	19
3.4.1.7 Flakslama.....	20
3.4.2 Galvanizleme .....	21
3.4.2.1 Çinko Kalitesi ve Banyo Bileşimi .....	23
3.4.2.2 Banyo Sıcaklığı .....	23
3.4.2.3 Daldırma Süresi.....	24
3.4.2.4 Çekme Hızı.....	25
3.4.3 Galvanizasyon Sonrası İşlemler .....	26
3.4.3.1 Sıyırma .....	26
3.4.3.2 Santifürüjleme .....	26
3.4.3.3 Su Verme.....	26
3.4.3.4 İstifleme Ve Depolama.....	27
3.5 Galvaniz Kaplamada Çinko-Demir Dengeleri.....	28
3.5.1 Kaplama Fazları .....	29
3.5.1.1 Eta ( $\eta$ ).....	29
3.5.1.2 Zeta ( $\zeta$ ).....	30
3.5.1.3 Delta ( $\delta$ ).....	30
3.5.1.4 Gama1 ( $\Gamma_1$ ).....	30
3.5.1.5 Gama ( $\Gamma$ ).....	30
3.5.2 Demir Çinko Faz Oluşumu .....	31
3.6 Galvanizleme İşlemi Sonrası Oluşan Artıklar .....	33
3.6.1 Lapa (Dros) .....	33
3.6.2 Kül .....	33
3.6.3 Flaks Köpüğü .....	33

<b>4. ALTLIK MALZEME ÇELİK</b> .....	<b>34</b>
4.1 Kaplanacak Çeliğin Seçimi.....	34
4.2 Çelik Alaşımındaki Elementlerin Kaplamaya Etkileri .....	34
4.2.1 Karbon(C) .....	34
4.2.2 Mangan (Mn) .....	34
4.2.3 Molibden (Mo).....	35
4.2.4 Vanadyum (V).....	35
4.2.5 Volfram (W).....	35
4.2.6 Silisyum (Si) .....	35
4.2.7 Fosfor (P) .....	36
4.2.8 Kükürt (S) .....	37
4.2.9 Krom (Cr).....	37
4.2.10 Nikel (Ni).....	37
<b>5. SAC METAL ŞEKİLLENDİRMEDE MEKANİK İŞLEMLER</b> .....	<b>38</b>
5.1 Lazer ile Kesim Yöntemi.....	38
5.2 Punch ile Kesim Yöntemi .....	41
5.3 Abkant Büküm .....	43
5.4 Frezeleme .....	47
<b>6. GALVANİZLİ SACLARDA KOROZYON OLUŞUMU</b> .....	<b>49</b>
6.1 Korozyon.....	49
6.2 Çeliğin Korozyon Mekanizması .....	50
6.3 Korozyona Karşı Alınması Gereken Önlemler .....	56
6.4 Korozyonun Hızı ve Önemi .....	57
6.4.1 Hava Rutubeti .....	58
6.4.2 Endüstriyel Kirlenme .....	58
6.4.3 Sıcaklığın Etkisi .....	59
6.4.4 Yağışın ve Rüzgarın Etkisi .....	59
6.5 Galvanizli Saclarda Korozyon .....	60
6.5.1 Beyaz pas .....	60
6.5.2 Kırmızı Pas.....	61
<b>7. DENEYSEL ÇALIŞMA</b> .....	<b>62</b>
7.1 Numunelerin Hazırlanması .....	62
7.1.1 Numunelerin Üretim Standartları, Kimyasal Bileşimleri ve Mekanik Özellikleri ....	62
7.1.2 Numunelerin Tasarlanması .....	63
7.1.3 Üretim Makineleri ve Üretim Parametreleri .....	86
7.1.3.1 Fiber Lazer Makinesi ve Kesim Parametreleri.....	86
7.1.3.2 Punch Makinesi ve Üretim Parametreleri .....	88
7.1.3.3 Abkant Makinesi ve Üretim Parametreleri.....	88
7.1.3.4 Freze Makinesi ve Kesim parametreleri.....	90
7.2 Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	91
7.2.1 XRD Yöntemi ile Kaplama Kalınlığı Ölçümleri .....	91
7.2.2 Tuz Sisi Testi .....	92
7.2.2.1 Tuz Sisi Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	94
7.2.3 ICP-OES Pas Analizi .....	95
7.2.4 Gerçek Dünya Testi .....	96
7.2.4.1 Gerçek Dünya Korozyon Testi Ölçümleri ve Değerlendirilmesi .....	99
<b>8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....	<b>101</b>

8.1 Kaplama Kalınlığı Ölçümü ve Sonuçları .....	101
8.2 Tuz Sisi Testi Deney Sonuçları.....	103
8.3 ICP-OES Pas Analiz Sonucu .....	120
8.4 Gerçek Dünya Testi Deney Sonuçları.....	121
8.5 Tuz Sisi Testi ve Gerçek Dünya Koşulları Deneylerinin Karşılaştırması .....	135
8.6 Sonuçlar ve Öneriler .....	136
<b>9. KAYNAKLAR (IEEE) .....</b>	<b>140</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>145</b>
EK A: Tuz sisi testi bir grup için yapılan numune görselleri. ....	145
EK B: Gerçek Dünya testi bir grup için yapılan numune görselleri.....	153
EK C: Numune üretim makineleri görselleri.....	156
EK D: Tuz sisi testi 24 ve 48. saat numune görselleri.....	170
EK E: Tuz sisi testi grafiklerdeki maksimum ve minimum kırmızı pas değerlerindeki numune görselleri.....	176
EK F: Tuz sisi testi deney sonuçlarının deney gruplarına göre % kırmızı pas ve % beyaz pas oranlarının tablo halinde verilmesi. ....	193
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>197</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 3.1: Kaplama çeşitlerine göre kaplama kalınlıkları [8].....	14
Şekil 3.2: Galvanizleme işlemleri iş akış şeması [5]. .....	16
Şekil 3.3: Kaplama ağırlığının daldırma süresine göre değişimi [10]. .....	25
Şekil 3.4: Çekme hızına göre kaplama kalınlığının değişimi [10].....	25
Şekil 3.5: Galvanizlenmiş ürün depolama şekli [10]. .....	27
Şekil 3.6: Fe-Zn denge diyagramı [8]. .....	28
Şekil 3.7: Fazların bulunduğu yerlerin gösterimi [10]. .....	29
Şekil 3.8: Kaplama kesitinde fazların gösterimi [10]. .....	31
Şekil 3.9: Kaplanmış ürün kesiti [10]. .....	31
Şekil 3.10: Fazların kesitte yerleşimi ve sertlik değerlerinin gösterimi [26]. .....	32
Şekil 3.11: Fazların oluşum sırlaması [8]. .....	32
Şekil 4.1: Sandalin pikinin kaplama kalınlığına etkisi [27]. .....	36
Şekil 5.1: Lazer ışının üretim şeması [28]. .....	38
Şekil 5.2: Lazer kesim kafasının şematik gösterimi [29]. .....	39
Şekil 5.3: Punch makinesi kesim işleminin şematik gösterimi [30]. .....	42
Şekil 5.4: Abkant makinesi çalışma prensibinin şematik gösterimi [31]. .....	44
Şekil 5.5: Abkant şekillendirme kalıpları [32]. .....	45
Şekil 5.6: Abkant destek tablasına ürünün dayanması [33]. .....	45
Şekil 5.7: Freze makinesinin şematik gösterimi [34]. .....	47
Şekil 6.1: Korozyon ortamında çelik [8]. .....	51
Şekil 6.2: Anot ve katot oluşumu [8]. .....	51
Şekil 6.3: Korozyon ürünlerinin oluşumu [8]. .....	52
Şekil 6.4: Korozyona uğrayan metalin ortam görüntüsü [8]. .....	52
Şekil 6.5: Korozyona uğrayan bölgelerin görünümü [8]. .....	53
Şekil 6.6: Katotların anoda dönüp korozyona uğradıklarının görünümü [8]. .....	53
Şekil 6.7: Çinko kaplanmış çeliğin korozyon ortamı [8]. .....	54
Şekil 6.8: Kaplamadan çeliğe doğru elektron geçişi [8]. .....	54
Şekil 6.9: Kaplamada oluşan korozyon mekanizması [8]. .....	55
Şekil 6.10: Galvaniz kaplamada düzensiz kaplama olan kısmın kaplama tarafından korunması [8]. .....	55
Şekil 6.11: Diğer kaplama yöntemlerinde oluşan süreksizlik [8]. .....	56
Şekil 6.12: Galvanizli saclarda atmosferik koşullara bağlı beyaz pas oluşumu [35]. .....	60
Şekil 6.13: Kırmızı pas oluşumu gözlemlenen galvanizli sac [36]. .....	61
Şekil 7.1: H <sub>1</sub> , H <sub>10</sub> , H <sub>19</sub> , H <sub>28</sub> , H <sub>37</sub> , H <sub>46</sub> , H <sub>55</sub> , H <sub>64</sub> , M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>33</sub> , M <sub>34</sub> , M <sub>65</sub> , M <sub>66</sub> , M <sub>97</sub> , M <sub>98</sub> numunelerin teknik resmi. .....	74
Şekil 7.2: M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , M <sub>32</sub> , M <sub>35</sub> , M <sub>36</sub> , M <sub>64</sub> , M <sub>67</sub> , M <sub>68</sub> , M <sub>96</sub> , M <sub>99</sub> , M <sub>100</sub> , M <sub>128</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	74
Şekil 7.3: H <sub>2</sub> , H <sub>11</sub> , H <sub>20</sub> , H <sub>29</sub> , H <sub>38</sub> , H <sub>47</sub> , H <sub>56</sub> , H <sub>65</sub> , M <sub>5</sub> , M <sub>6</sub> , M <sub>30</sub> , M <sub>37</sub> , M <sub>38</sub> , M <sub>62</sub> , M <sub>69</sub> , M <sub>70</sub> , M <sub>94</sub> , M <sub>101</sub> , M <sub>102</sub> , M <sub>126</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	75
Şekil 7.4: M <sub>7</sub> , M <sub>8</sub> , M <sub>39</sub> , M <sub>40</sub> , M <sub>71</sub> , M <sub>72</sub> , M <sub>103</sub> , M <sub>104</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	75
Şekil 7.5: M <sub>9</sub> , M <sub>41</sub> , M <sub>73</sub> , M <sub>105</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	76
Şekil 7.6: H <sub>4</sub> , H <sub>13</sub> , H <sub>22</sub> , H <sub>31</sub> , H <sub>40</sub> , H <sub>49</sub> , H <sub>58</sub> , H <sub>67</sub> , M <sub>10</sub> , M <sub>42</sub> , M <sub>74</sub> , M <sub>106</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	76
Şekil 7.7: H <sub>3</sub> , H <sub>12</sub> , H <sub>21</sub> , H <sub>30</sub> , H <sub>39</sub> , H <sub>48</sub> , H <sub>57</sub> , H <sub>66</sub> , M <sub>11</sub> , M <sub>12</sub> , M <sub>43</sub> , M <sub>44</sub> , M <sub>75</sub> , M <sub>76</sub> , M <sub>107</sub> , M <sub>108</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	77
Şekil 7.8: M <sub>13</sub> , M <sub>14</sub> , M <sub>45</sub> , M <sub>46</sub> , M <sub>77</sub> , M <sub>78</sub> , M <sub>109</sub> , M <sub>110</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	77
Şekil 7.9: M <sub>15</sub> , M <sub>47</sub> , M <sub>79</sub> , M <sub>111</sub> numunelerinin teknik resmi. .....	78

<b>Şekil 7.10:</b> M <sub>16</sub> , M <sub>48</sub> , M <sub>80</sub> , M <sub>112</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	78
<b>Şekil 7.11:</b> M <sub>17</sub> , M <sub>49</sub> , M <sub>81</sub> , M <sub>113</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	79
<b>Şekil 7.12:</b> M <sub>18</sub> , M <sub>50</sub> , M <sub>82</sub> , M <sub>114</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	79
<b>Şekil 7.13:</b> M <sub>19</sub> , M <sub>51</sub> , M <sub>83</sub> , M <sub>115</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	80
<b>Şekil 7.14:</b> M <sub>20</sub> , M <sub>52</sub> , M <sub>84</sub> , M <sub>116</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	80
<b>Şekil 7.15:</b> M <sub>21</sub> , M <sub>53</sub> , M <sub>85</sub> , M <sub>117</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	81
<b>Şekil 7.16:</b> H <sub>7</sub> , H <sub>16</sub> , H <sub>25</sub> , H <sub>34</sub> , H <sub>43</sub> , H <sub>52</sub> , H <sub>61</sub> , H <sub>70</sub> , M <sub>22</sub> , M <sub>54</sub> , M <sub>86</sub> , M <sub>118</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	81
<b>Şekil 7.17:</b> M <sub>23</sub> , M <sub>55</sub> , M <sub>87</sub> , M <sub>119</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	82
<b>Şekil 7.18:</b> M <sub>24</sub> , M <sub>56</sub> , M <sub>88</sub> , M <sub>120</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	82
<b>Şekil 7.19:</b> H <sub>9</sub> , H <sub>18</sub> , H <sub>27</sub> , H <sub>36</sub> , H <sub>45</sub> , H <sub>54</sub> , H <sub>63</sub> , H <sub>72</sub> , M <sub>25</sub> , M <sub>57</sub> , M <sub>89</sub> , M <sub>121</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	83
<b>Şekil 7.20:</b> H <sub>5</sub> , H <sub>14</sub> , H <sub>23</sub> , H <sub>32</sub> , H <sub>41</sub> , H <sub>50</sub> , H <sub>59</sub> , H <sub>68</sub> , M <sub>26</sub> , M <sub>58</sub> , M <sub>90</sub> , M <sub>122</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	83
<b>Şekil 7.21:</b> H <sub>6</sub> , H <sub>15</sub> , H <sub>24</sub> , H <sub>33</sub> , H <sub>42</sub> , H <sub>51</sub> , H <sub>60</sub> , H <sub>69</sub> , M <sub>27</sub> , M <sub>59</sub> , M <sub>91</sub> , M <sub>123</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	84
<b>Şekil 7.22:</b> H <sub>8</sub> , H <sub>17</sub> , H <sub>26</sub> , H <sub>35</sub> , H <sub>44</sub> , H <sub>53</sub> , H <sub>62</sub> , H <sub>71</sub> , M <sub>28</sub> , M <sub>60</sub> , M <sub>92</sub> , M <sub>124</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	84
<b>Şekil 7.23:</b> M <sub>29</sub> , M <sub>61</sub> , M <sub>93</sub> , M <sub>125</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	85
<b>Şekil 7.24:</b> M <sub>31</sub> , M <sub>63</sub> , M <sub>95</sub> , M <sub>127</sub> numunelerinin teknik resmi. ....	85
<b>Şekil 7.25:</b> Lazer makinesi künyesi. ....	86
<b>Şekil 7.26:</b> Kesim parametreleri. ....	87
<b>Şekil 7.27:</b> Kesim sırasında alınan görüntü 1. ....	87
<b>Şekil 7.28:</b> Sac plakanın kesimi. ....	88
<b>Şekil 7.29:</b> Numune büküm işlemi sırasında görüntüsü. ....	90
<b>Şekil 7.30:</b> İşlem yapılan freze makinesi. ....	91
<b>Şekil 7.31:</b> Tuz sisi test cihazı ve kalibrasyon ayarlarının yapıldığı kabul şartları. ....	92
<b>Şekil 7.32:</b> Tuz sisi testi 24. saat pas oluşumu. ....	93
<b>Şekil 7.33:</b> Tuz sisi testi 48. saat pas oluşumu. ....	93
<b>Şekil 7.34:</b> Tuz sisi testi 72. saat pas oluşumu. ....	94
<b>Şekil 7.35:</b> Şablon metodu değerlendirilmesinde kullanılan şablon. ....	95
<b>Şekil 7.36:</b> ICP-OES cihazı. ....	95
<b>Şekil 7.37:</b> Atmosferik korozyona bırakılan numuneler. ....	98
<b>Şekil 7.38:</b> Numunelerin tavuk gübresine gömülme işlemi. ....	98
<b>Şekil 7.39:</b> Ölçümde kullanılan hassas terazi. ....	99
<b>Şekil 8.1:</b> C grubu M <sub>71</sub> numaralı numunenin şablon yöntemine göre incelenmesi. ....	104
<b>Şekil 8.2:</b> B grubu M <sub>39</sub> numaralı numunenin şablon yöntemine göre incelenmesi. ....	104
<b>Şekil 8.3:</b> M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>33</sub> , M <sub>34</sub> , M <sub>65</sub> , M <sub>66</sub> , M <sub>97</sub> , M <sub>98</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	105
<b>Şekil 8.4:</b> A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 1. ....	106
<b>Şekil 8.5:</b> M <sub>3</sub> , M <sub>4</sub> , M <sub>32</sub> , M <sub>35</sub> , M <sub>36</sub> , M <sub>64</sub> , M <sub>67</sub> , M <sub>68</sub> , M <sub>96</sub> , M <sub>99</sub> , M <sub>100</sub> , M <sub>128</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	106
<b>Şekil 8.6:</b> A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 2. ....	107
<b>Şekil 8.7:</b> M <sub>5</sub> , M <sub>6</sub> , M <sub>30</sub> , M <sub>37</sub> , M <sub>38</sub> , M <sub>62</sub> , M <sub>69</sub> , M <sub>70</sub> , M <sub>94</sub> , M <sub>101</sub> , M <sub>102</sub> , M <sub>126</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	107
<b>Şekil 8.8:</b> A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 3. ....	108
<b>Şekil 8.9:</b> M <sub>7</sub> , M <sub>8</sub> , M <sub>39</sub> , M <sub>40</sub> , M <sub>71</sub> , M <sub>72</sub> , M <sub>103</sub> , M <sub>104</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	109
<b>Şekil 8.10:</b> A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 4. ....	109

<b>Şekil 8.11:</b> M <sub>9</sub> , M <sub>10</sub> , M <sub>41</sub> , M <sub>42</sub> , M <sub>73</sub> , M <sub>74</sub> , M <sub>105</sub> , M <sub>106</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	110
<b>Şekil 8.12:</b> A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 5. ....	110
<b>Şekil 8.13:</b> M <sub>11</sub> , M <sub>12</sub> , M <sub>13</sub> , M <sub>14</sub> , M <sub>43</sub> , M <sub>44</sub> , M <sub>45</sub> , M <sub>46</sub> , M <sub>75</sub> , M <sub>76</sub> , M <sub>77</sub> , M <sub>78</sub> , M <sub>107</sub> , M <sub>108</sub> , M <sub>109</sub> , M <sub>110</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ...	111
<b>Şekil 8.14:</b> A, B, C, D gruplarının % Beyaz pas ve % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 1. ....	112
<b>Şekil 8.15:</b> M <sub>15</sub> , M <sub>16</sub> , M <sub>17</sub> , M <sub>18</sub> , M <sub>19</sub> , M <sub>47</sub> , M <sub>48</sub> , M <sub>49</sub> , M <sub>50</sub> , M <sub>51</sub> , M <sub>79</sub> , M <sub>80</sub> , M <sub>81</sub> , M <sub>82</sub> , M <sub>83</sub> , M <sub>111</sub> , M <sub>112</sub> , M <sub>113</sub> , M <sub>114</sub> , M <sub>115</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	113
<b>Şekil 8.16:</b> A, B, C, D gruplarının % Beyaz pas ve % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 2. ....	113
<b>Şekil 8.17:</b> M <sub>20</sub> , M <sub>21</sub> , M <sub>22</sub> , M <sub>23</sub> , M <sub>24</sub> , M <sub>52</sub> , M <sub>53</sub> , M <sub>54</sub> , M <sub>55</sub> , M <sub>56</sub> , M <sub>84</sub> , M <sub>85</sub> , M <sub>86</sub> , M <sub>87</sub> , M <sub>88</sub> , M <sub>116</sub> , M <sub>117</sub> , M <sub>118</sub> , M <sub>119</sub> , M <sub>120</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	114
<b>Şekil 8.18:</b> A, B, C, D gruplarının % Beyaz pas ve % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 3. ....	115
<b>Şekil 8.19:</b> M <sub>25</sub> , M <sub>57</sub> , M <sub>89</sub> , M <sub>121</sub> , numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	115
<b>Şekil 8.20:</b> M <sub>26</sub> , M <sub>58</sub> , M <sub>90</sub> , M <sub>122</sub> , numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	116
<b>Şekil 8.21:</b> M <sub>27</sub> , M <sub>59</sub> , M <sub>91</sub> , M <sub>123</sub> , numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	117
<b>Şekil 8.22:</b> M <sub>28</sub> , M <sub>60</sub> , M <sub>92</sub> , M <sub>124</sub> , numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	117
<b>Şekil 8.23:</b> M <sub>29</sub> , M <sub>61</sub> , M <sub>93</sub> , M <sub>125</sub> , numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	118
<b>Şekil 8.24:</b> M <sub>31</sub> , M <sub>63</sub> , M <sub>95</sub> , M <sub>127</sub> , numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması. ....	119
<b>Şekil 8.25:</b> H <sub>1</sub> , H <sub>10</sub> , H <sub>19</sub> , H <sub>28</sub> , H <sub>37</sub> , H <sub>46</sub> , H <sub>55</sub> , H <sub>64</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	127
<b>Şekil 8.26:</b> H <sub>2</sub> , H <sub>12</sub> , H <sub>20</sub> , H <sub>29</sub> , H <sub>38</sub> , H <sub>47</sub> , H <sub>56</sub> , H <sub>65</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	128
<b>Şekil 8.27:</b> H <sub>3</sub> , H <sub>12</sub> , H <sub>21</sub> , H <sub>30</sub> , H <sub>39</sub> , H <sub>48</sub> , H <sub>57</sub> , H <sub>66</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	128
<b>Şekil 8.28:</b> H <sub>4</sub> , H <sub>13</sub> , H <sub>22</sub> , H <sub>31</sub> , H <sub>40</sub> , H <sub>49</sub> , H <sub>58</sub> , H <sub>67</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	129
<b>Şekil 8.29:</b> H <sub>5</sub> , H <sub>14</sub> , H <sub>23</sub> , H <sub>32</sub> , H <sub>41</sub> , H <sub>50</sub> , H <sub>59</sub> , H <sub>68</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	130
<b>Şekil 8.30:</b> H <sub>6</sub> , H <sub>15</sub> , H <sub>24</sub> , H <sub>33</sub> , H <sub>42</sub> , H <sub>51</sub> , H <sub>60</sub> , H <sub>69</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	130
<b>Şekil 8.31:</b> H <sub>7</sub> , H <sub>16</sub> , H <sub>25</sub> , H <sub>34</sub> , H <sub>43</sub> , H <sub>52</sub> , H <sub>61</sub> , H <sub>70</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	131
<b>Şekil 8.32:</b> H <sub>8</sub> , H <sub>17</sub> , H <sub>26</sub> , H <sub>35</sub> , H <sub>44</sub> , H <sub>53</sub> , H <sub>62</sub> , H <sub>71</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	131
<b>Şekil 8.33:</b> H <sub>9</sub> , H <sub>18</sub> , H <sub>27</sub> , H <sub>36</sub> , H <sub>45</sub> , H <sub>54</sub> , H <sub>63</sub> , H <sub>72</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları. ....	132
<b>Şekil A.1:</b> A grubu M <sub>1</sub> ve M <sub>2</sub> numune görselleri. ....	145
<b>Şekil A.2:</b> A grubu M <sub>3</sub> ve M <sub>4</sub> numune görselleri. ....	145

Şekil A.3: A grubu M <sub>5</sub> ve M <sub>6</sub> numune görselleri.....	146
Şekil A.4: A grubu M <sub>7</sub> ve M <sub>8</sub> numune görselleri.....	146
Şekil A.5: A grubu M <sub>9</sub> ve M <sub>10</sub> numune görselleri .....	147
Şekil A.6: A grubu M <sub>11</sub> ve M <sub>12</sub> numune görselleri .....	147
Şekil A.7: A grubu M <sub>13</sub> ve M <sub>14</sub> numune görselleri.....	148
Şekil A.8: A grubu M <sub>15</sub> ve M <sub>16</sub> numune görselleri.....	148
Şekil A.9: A grubu M <sub>17</sub> ve M <sub>18</sub> numune görselleri.....	149
Şekil A.10: A grubu M <sub>19</sub> ve M <sub>20</sub> numune görselleri.....	149
Şekil A.11: A grubu M <sub>21</sub> ve M <sub>22</sub> numune görselleri.....	150
Şekil A.12: A grubu M <sub>23</sub> ve M <sub>24</sub> numune görselleri.....	150
Şekil A.13: A grubu M <sub>25</sub> ve M <sub>26</sub> numune görselleri.....	151
Şekil A.14: A grubu M <sub>27</sub> ve M <sub>28</sub> numune görselleri.....	151
Şekil A.15: A grubu M <sub>29</sub> ve M <sub>30</sub> numune görselleri.....	152
Şekil A.16: A grubu M <sub>31</sub> ve M <sub>32</sub> numune görselleri.....	152
Şekil B.1: M grubu H <sub>1</sub> ve H <sub>2</sub> numune görselleri.....	153
Şekil B.2: M grubu H <sub>3</sub> ve H <sub>4</sub> numune görselleri.....	153
Şekil B.3: M grubu H <sub>5</sub> ve H <sub>6</sub> numune görselleri.....	154
Şekil B.4: M grubu H <sub>7</sub> ve H <sub>8</sub> numune görselleri.....	154
Şekil B.5: M grubu H <sub>9</sub> numune görseli.....	155
Şekil C.1: Lazer kesim makinesi.....	156
Şekil C.2: Numune kesim anı.....	156
Şekil C.3: Numune kesim anı 2.....	157
Şekil C.4: Numune kesim anı 3.....	157
Şekil C.5: Punch kesim kafası.....	158
Şekil C.6: Punch kesim kafası içi.....	158
Şekil C.7: Numune hazırlanmasında seçilen punch kesme takımları.....	159
Şekil C.8: Punch kesim taretı.....	159
Şekil C.9: Punch alt kesim matrisi.....	160
Şekil C.10: Tarette kesici takımların takıldığı kısım.....	160
Şekil C.11: Vuruş için güvenlik parametresi seçimi.....	161
Şekil C.12: 1. takım için kesim parametreleri.....	161
Şekil C.13: 2. takım için kesim parametreleri.....	162
Şekil C.14: 3. takım için kesim parametreleri.....	162
Şekil C.15: 4. takım için kesim parametreleri.....	163
Şekil C.16: 5. takım için kesim parametreleri.....	163
Şekil C.17: 6. takım için kesim parametreleri.....	164
Şekil C.18: 1012/A35/1 model abkant üst bıçağı.....	164
Şekil C.19: D2088/88/V6 model abkant alt kalıbı.....	165
Şekil C.20: D2030/30/V8 model abkant alt kalıbı.....	165
Şekil C.21: D3001/35/6 model abkant alt kalıbı.....	166
Şekil C.22: 90° bükümler için parametre ayarları.....	166
Şekil C.23: 60° bükümler için parametre ayarları.....	167
Şekil C.24: 40° bükümler için parametre ayarları.....	167
Şekil C.25: Katlamalı bükümler için parametre ayarları.....	168
Şekil C.26: Katlamalı bükümler için parametre ayarları.....	168
Şekil C.27: Numune yapımında kullanılan freze makinesi.....	169
Şekil C.28: Numune yapımında kullanılan kesici takımlar.....	169

Şekil D.1: C grubu 24 saat sonu görüntüsü 1.....	170
Şekil D.2: D grubu 24 saat sonu görüntüsü. ....	170
Şekil D.3: C grubu 24 saat sonu görüntüsü 2.....	171
Şekil D.4: B grubu 24 saat sonu görüntüsü 1.....	171
Şekil D.5: B grubu 24 saat sonu görüntüsü 2.....	172
Şekil D.6: A grubu 24 saat sonu görüntüsü. ....	172
Şekil D.7: A grubu 48 saat görüntüsü.....	173
Şekil D.8: B grubu 48 saat görüntüsü 1. ....	173
Şekil D.9: C grubu 48 saat görüntüsü. ....	174
Şekil D.10: B grubu 48 saat görüntüsü 2. ....	174
Şekil D.11: D grubu 48 saat görüntüsü.....	175
Şekil D.12: D grubu 48 saat görüntüsü.....	175
Şekil E.1: Şekil 8.3'de ki M <sub>1</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).....	176
Şekil E.2: Şekil 8.3'de ki M <sub>34</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	176
Şekil E.3: Şekil 8.3'de ki M <sub>98</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	177
Şekil E.4: Şekil 8.5'de ki M <sub>35</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	177
Şekil E.5: Şekil 8.5'de ki M <sub>4</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas). ....	178
Şekil E.6: Şekil 8.5'de ki M <sub>36</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	178
Şekil E.7: Şekil 8.5'de ki M <sub>100</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas). ....	179
Şekil E.8: Şekil 8.7'de ki M <sub>37</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	179
Şekil E.9: Şekil 8.7'de ki M <sub>38</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	180
Şekil E.10: Şekil 8.9'da ki M <sub>39</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	180
Şekil E.11: Şekil 8.9'da ki M <sub>8</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas). ....	181
Şekil E.12: Şekil 8.11'de ki M <sub>10</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	181
Şekil E.13: Şekil 8.11'de ki M <sub>105</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas). ....	182
Şekil E.14: Şekil 8.13'de ki M <sub>13</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	182
Şekil E.15: Şekil 8.13'de ki M <sub>78</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	183
Şekil E.16: Şekil 8.13'de ki M <sub>110</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas). ....	183
Şekil E.17: Şekil 8.15'de ki M <sub>47</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	184
Şekil E.18: Şekil 8.15'de ki M <sub>113</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	184
Şekil E.19: Şekil 8.17'de ki M <sub>84</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	185
Şekil E.20: Şekil 8.17'de ki M <sub>20</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	185
Şekil E.21: Şekil 8.17'de ki M <sub>116</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas). ....	186
Şekil E.22: Şekil 8.19'da ki M <sub>25</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	186
Şekil E.23: Şekil 8.19'da ki M <sub>57</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	187
Şekil E.24: Şekil 8.20'de ki M <sub>26</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	187
Şekil E.25: Şekil 8.20'de ki M <sub>58</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	188
Şekil E.26: Şekil 8.21'de ki M <sub>27</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	188
Şekil E.27: Şekil 8.21'de ki M <sub>59</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	189
Şekil E.28: Şekil 8.22'de ki M <sub>60</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	189
Şekil E.29: Şekil 8.22'de ki M <sub>124</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas). ....	190
Şekil E.30: Şekil 8.23'de ki M <sub>61</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	190
Şekil E.31: Şekil 8.23'de ki M <sub>29</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	191
Şekil E.32: Şekil 8.24'de ki M <sub>95</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas). ....	191
Şekil E.33: Şekil 8.24'de ki M <sub>31</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).....	192



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1:</b> Galvaniz işlemlerine göre kaplama kalınlıkları [8].	13
<b>Tablo 3.2:</b> Galvanizleme çeşitlerinde kaplamaya katılan bileşen oranları[8].	15
<b>Tablo 3.3:</b> Kaplama fazları ve ağırlıkça yüzdesel olarak demir içeriği [8].	22
<b>Tablo 3.4:</b> Kaplama fazları ve bileşen özellikleri [8].	28
<b>Tablo 6.1:</b> Elementlerin elektrokimyasal potansiyelleri [8].	50
<b>Tablo 6.2:</b> Çeliğin farklı atmosferler içinde yıllık korozyon hızı [11].	58
<b>Tablo 6.3:</b> Atmosferik kirleticiler ve tipik konsantrasyonları [11].	59
<b>Tablo 7.1:</b> Deney numunelerinin kimyasal bileşimleri (% ağırlık).	63
<b>Tablo 7.2:</b> Numune çeliklerin mekanik özellikleri.	63
<b>Tablo 7.3:</b> Tuz sisi deneyi ve Gerçek dünya koşulları deneyi numune grupları.	64
<b>Tablo 7.4:</b> Numunelere uygulanacak üretim işlemlerinin sembolleri.	65
<b>Tablo 7.5:</b> A grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.	66
<b>Tablo 7.6:</b> B grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.	67
<b>Tablo 7.7:</b> C grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.	68
<b>Tablo 7.8:</b> D grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.	69
<b>Tablo 7.9:</b> M grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	70
<b>Tablo 7.10:</b> N grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	70
<b>Tablo 7.11:</b> P grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	71
<b>Tablo 7.12:</b> R grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	71
<b>Tablo 7.13:</b> X grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	72
<b>Tablo 7.14:</b> Y grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	72
<b>Tablo 7.15:</b> T grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	73
<b>Tablo 7.16:</b> Z grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.	73
<b>Tablo 7.17:</b> Atmosferik korozyon deneyinin gerçekleştirildiği zaman aralığında Balıkesir/Susurluk ilçesine ait hava durumu verileri [37,38].	97
<b>Tablo 7.18:</b> Tavuk gübresinin ortalama kimyasal bileşimleri [39].	99
<b>Tablo 8.1:</b> DX51D+Z100 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.	101
<b>Tablo 8.2:</b> DX52D+Z100 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.	102
<b>Tablo 8.3:</b> DX51D+Z275 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.	102
<b>Tablo 8.4:</b> DX52D+Z275 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.	103
<b>Tablo 8.5:</b> Atmosferik ortama bırakılacak numunelerin kütle ölçümleri.	121
<b>Tablo 8.6:</b> Atmosferik ortam 1. hafta kütle ölçümleri.	122
<b>Tablo 8.7:</b> Atmosferik ortam 2. hafta kütle ölçümleri.	122
<b>Tablo 8.8:</b> Atmosferik ortam 3. hafta kütle ölçümleri.	123
<b>Tablo 8.9:</b> Atmosferik ortam 4. hafta kütle ölçümleri.	123
<b>Tablo 8.10:</b> Sanayi ortamına bırakılacak numunelerin kütle ölçümleri.	124
<b>Tablo 8.11:</b> Sanayi ortamı 1. hafta kütle ölçümleri.	124
<b>Tablo 8.12:</b> Sanayi ortamı 2. hafta kütle ölçümleri.	125
<b>Tablo 8.13:</b> Sanayi ortamı 3. hafta kütle ölçümleri	125
<b>Tablo 8.14:</b> Sanayi ortamı 4. hafta kütle ölçümleri	126
<b>Tablo 8.15:</b> Atmosferik korozyon ortamındaki numune tasarımlarının sac kalitelerine göre karşılaştırılması.	133
<b>Tablo 8.16:</b> Sanayi şartlarının korozyon ortamındaki numune tasarımlarının sac kalitelerine göre karşılaştırılması.	133

<b>Tablo F.1:</b> A grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları. ....	193
<b>Tablo F.2:</b> B grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları. ....	194
<b>Tablo F.3:</b> C grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları. ....	195
<b>Tablo F.4:</b> D grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları. ....	196

## SEMBOL LİSTESİ

°	: Aç
<b>ABS</b>	: Akrilonitri Bütadien Stiren
°C	: Celsius
<b>dk</b>	: Dakika
<b>Fe<sup>++</sup></b>	: Demir İyonu
<b>FeO</b>	: Demiroksit Molekülü
<b>e<sup>-</sup></b>	: Elektron
<b>EDS</b>	: Enerji Dağılım Spektrometresi
<b>EN</b>	: Enstitü Normu
<b>η</b>	: Eta
<b>Γ</b>	: Gama
<b>Γ<sub>1</sub></b>	: Gama1
<b>gr</b>	: Gram
<b>H<sup>+</sup></b>	: Hidrojen İyonu
<b>H<sub>2</sub></b>	: Hidrojen Molekülü
<b>OH<sup>-</sup></b>	: Hidroksil
<b>Km</b>	: Kilometre
<b>Mn</b>	: Mangan
<b>MAG</b>	: Metal Aktif Gaz
<b>MIG</b>	: Metal İnerit Gaz
<b>m</b>	: Metre
<b>m<sup>2</sup></b>	: Metre Kare
<b>m<sup>3</sup></b>	: Metre Küp
<b>mg</b>	: Miligram
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>MDF</b>	: Orta Yoğunluklu Lif Levha
<b>PVC</b>	: Polivinil Klorür
<b>sa</b>	: Saat
<b>FTIR</b>	: Spektrometre
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>TS</b>	: Türk Standart
<b>XRD</b>	: X ışını difraksiyonu
<b>y</b>	: Yıl
<b>ζ</b>	: Zeta

## ÖNSÖZ

Tanıdığım günden itibaren fikirleriyle ileriye görmemi sağlayan, olaylara bakış açımı genişleten, yardımlarını, değerli zamanını, ilgisini, inancını ve sahip olduğu bilgi birikimini benden hiçbir zaman eksik etmeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Alaaddin TOKTAŞ'a teşekkür ederim. Tez sürecimi itina ile takip edip, değerli yardımlarını eksik etmeyen sevgili hocam Doç. Dr. Gülcan TOKTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bilgileri, tecrübeleri ve fikirleriyle bugünlere gelmemi sağlayan tüm Balıkesir Makine Mühendisliği hocalarıma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Numunelerin hammadde özelliklerinin araştırılmasında ve temin edilmesinde yardımlarını eksik etmeyen Dr. Derya YALUK'a, Gökmetal San.Tic.A.Ş. ve çalışanlarına teşekkür ederim. Numune deney ve ölçümlerini gerçekleştirmeme olanak sağlayan Uzman Kataforez A.Ş. Ar-Ge ve laboratuvar sorumlusu Yüksek Kimya Mühendisi Ahmet CAN'a, numunelerin tasarlanıp üretilmesine olanak sağlayan Anka Kümes San. Ltd. Şti. ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans ve lisans eğitimim boyunca, bana inanan, güvenen, çalışma süreci boyunca moral kaynağı olan yol arkadaşım Aylin TÜRKÖĞLU'na, süreç boyunca hiçbir zaman yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen canım annem Müşerref DÜLGER'e, canım babam Sami DÜLGER'e, canım abim Cüneyt DÜLGER'e ve canım ablam Sema ERTAN'a teşekkürler.

**Balıkesir, 2024**

**Mustafa Dülger**

# 1. GİRİŞ

Sanayi devrimi ile başlayan demir ve çeliğe olan talep her geçen yıl artarak devam etmektedir. Ülkemizde 90'lı yıllardan sonra demir ve çelik kullanımı yaygınlaşmıştır. 2021 yılında 40 milyon ton demir çelik üretilirken, 3 milyon ton malzeme ise hurdaya ayrılmıştır. Hurdaya ayrılan malzemelerin %90'ına iklim koşullarına bağlı korozyon sebep olmuştur.

Her geçen yıl artış gösteren demir ve çelik kullanımı özellikle enerji, ulaştırma ve yapısal çelikte kullanılan malzemelerin uzun yıllar hizmet etmesini gerektirmektedir. Bu malzemelerin, paslanma nedeni ile hurdaya ayrılması direkt olarak çevreye zarar vermekte, ardından artan maliyetlere sebep olmaktadır. Demir çelik ürünlerinin uzun ömürlü olmaları için çevre dostu ve düşük maliyetli yöntemlerle korunmaları gerekmektedir.

Bu ürünlerin korunması için boya, bitüm kaplama gibi kimyasal ve biyolojik esaslı pek çok yöntem kullanılmaktadır. Fakat bu tür kaplamalar çevresel olumsuz etkisinin yanında uzun ömürlü çözümler sunmadığı ve düzenli bakım ihtiyacı nedeni ile de yüksek maliyetlere sebep olurlar.

Metalik bir kaplama olan sıcak daldırma galvaniz yöntemi diğer kaplamalar ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde fark yaratacak bir kaplama çeşididir. Bu kaplama 120 yıla kadar üstün bir koruma sağlar. Ülke genelinde milyonlarca tondan fazla demir çeliğin ömrünün uzamasında rol oynamaktadır ve ekonomiye milyarlarca lira katkı sağlamaktadır. Geri dönüştürülebilir yapısıyla doğa dostudur ve çevreye zararları diğer kaplamalara göre daha azdır.

Galvaniz kaplı çeliklerin olumlu yönlerinin yanı sıra olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Sıcak daldırma galvanizli çelikler, plastik şekil verme, kesme ve delme gibi üretim yöntemleri uygulanmadığında kaplama dökülmeleri, kaplamada soyulmalar gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunlar, üretilen üründe cidar incelmesine sebep olarak ürünün ömrünü azaltmaktadır.

Üretilecek ürünlerin tasarımları galvaniz kaplamaya uygun olacak şekilde yapılırsa ve ihtiyacı karşılayacak şekilde çelik kaliteleri seçilirse, üretilen çelik ürünler hem ülkemiz hem de dünyamız için daha verimli bir şekilde gelebilir.

Tez çalışmamızda DX51D+Z100, DX51D+Z275, DX52D+Z100, DX52D+Z275 kalite çelikleri kullanılarak farklı kesim, bükme ve delme işlemleriyle şekil verilerek dört farklı kalitedeki sacların hem sanayi şartları altında korozyona maruz bırakılarak, hem atmosferik korozyona maruz bırakılarak, hem de korozyon testleriyle korozyona karşı davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Elkoca, çalışmasında farklı silisyum değerlerine sahip çelikleri (%0.010, %0.115, %0.210, %0.320), farklı yüzey işlemlerinden (asitleme, zımparalama, parlatma) sonra 450°C’de 10 dakika boyunca sıcak daldırma galvanizleme işlemine tabi tutmuştur. Yüzey işlemlerinden sonra yüzey pürüzlülük değerleri doğrultusunda kaplama kalınlıklarının farklılıkları irdelenmiştir. Numuneler hazırlandıktan sonra optik mikroskop ile kesit görüntüleri alınarak toplam kaplama kalınlığı ve faz kalınlıkları ölçülmüştür. Si oranına ve yapılan yüzey işlemlerine göre kaplamanın SEM ile görsellerinin yanında, görsellerin üzerine yerleştirilen hat boyunca katmanların X-ışını analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda yüzey işlemlerinin ara faz kesitlerinin büyüme özelliklerine etkisi farklıdır. Asitleme işleminde sandalin eğrisi ile aynı özellikleri göstermektedir. Parlatma işleminde sandalin ve sandalin altı çeliklerde Fe-Zn reaksiyonunun artmasına neden olmaktadır. Zımparalama işleminde ise silisyum içeren tüm çeliklerde Fe-Zn reaksiyon hızını azaltan bir etkiye sahiptir. Gerçekleştirilen yüzey pürüzlülüğü değişkenlerinin kaplama kalınlığı ile değişimi yüzey şekillerinin farklılıklarının önemini ortaya koymuştur. Yüzeylerin keskin kenarlı veya dış bükey olması kaplama karakteristiklerini etkilemektedir. Sıcak daldırma galvanizleme işleminden önce yapılacak olan yüzey işleminin kaplama davranışına olumlu yönde bir etki yaptığı ve kritik silisyum içeren malzemelerde, yüzey işlem değişkenlerinin iyi seçilmesi sonucuna varılmıştır [1].

Güven, çalışmasında sıcak daldırma galvanizleme yönteminin sürekli proses halini incelemiştir. Proseste bulunan galvanizasyon’a hazırlık, galvanizleme galvaniz sonrası işlemler, atıklara uygulanan işlemler, inceleme ve testler, galvaniz ekipmanları, çeliğe katılan alaşım elementlerinin etkisi alt başlıklar halinde araştırılmış ve incelenmiştir. Galvaniz kaplama tabakası üzerine yapılan araştırmalara yer verilmiştir. Pilot bir firma seçilerek galvaniz tesisleri incelenmiştir. Bu bilgiler toplanarak galvanizleme işlemlerinde başarı sağlanabilmesi için ilk koşul olarak yüzeyin temiz ve düzgün olması sonucuna varılmıştır. İdeal banyo sıcaklığının 445-465°C arasında olması, kaplanan çinkonun kalınlığının malzemenin kimyasal özellikleri banyo içindeki Al miktarı, daldırma zamanı ve çekme süratine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Kaplamadaki fazların belli bir % ağırlık oranında olmasına ve bu oranların (Gama1 72-85, Gama2 0.91-83, Delta 88.5-93, Zeta 94-94.8, Eta 100) olmasına değinilmiştir. Kaplamanın yüzeyden dışarıya doğru gidildikçe çinko

oranının arttığına ve en güçlü yerin Fe-Zn bağlarında olduğu sonucu çıkarılmıştır. Çelikteki Si oranı arttıkça kaplamanın kötü ve kırılğan bir yapıya dönüşeceğinden bahsedilmiştir. Çelik yüzeyde bulunan fosforun gama fazını gelişmesini olumsuz yönde etkileyerek gama1 çekirdeklenmesine yardım edeceği sonuçlarına varılmıştır [2].

Baycık ve arkadaşları, çalışmalarında galvanizli çeliklerin çinko ile kaplanarak atmosferik korozyona karşı çinkonun bir kurban anot olarak seçilerek çelik yapıyı koruduğuna değinmişlerdir. Makaledeki asıl amaç sıcak daldırma galvaniz sürekli proseslerinde sıcak daldırma tavı yapılan ürünler ile yapılmayan ürünleri karşılaştırarak tavlama işleminin kaplamaya etkisi incelenmiştir. Galvaniz tavlama ile ara katmanlardaki değişimler incelenmiştir [3,4].

Şenyüz, çalışmasında DX51 sıcak daldırılmış çinko kaplı, kaplamadan önce yüzeyi fosfatlanmış galvanizli çeliği ve 304 kalite paslanmaz çeliği farklı iki firmadan temin etmiştir. Bu çelik saclar üzerinde Vickers sertlik deneyi haddeleme yönü, haddeleme yönüne 45° ve haddeleme yönüne dik açıda sabit, farklı hızlarda ve ani ivmelenme hızları ile çekme deneyleri, değişik ortamlar ve süratlerde Erichsen çökertme deneyleri ile derin çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kaplama kalınlığını belirlemek üzere soğuk kürlenme işlemiyle SEM mikroskobunda kaplama kalınlığı ölçülmüştür. Bu deneyler doğrultusunda hazırlanan numuneler işlemlere tabi tutulmuştur ve bazı sonuçlara ulaşılmıştır. Malzemelerin içinde bulunan alaşımların oranları direkt olarak mekanik özellikleri etkileyen unsurların başında gelmektedir. Akma mukavemetinin ve sertlik oranının artması ürünlerin şekillendirilebilirliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Elastisite modülünün az olması ise sac levhalardaki geri yaylanma oranının azalmasına sebep olmaktadır. Kromlu çeliklerin kesilme kuvveti pekleşme özelliklerinden dolayı düşük karbonlu saclara göre daha fazla kuvvet gerektirmektedir. Tane büyüklüğünün artması sacların mukavemetini düşürmektedir. Fakat şekillendirilebilirlik artmaktadır. Tane iriliğinin ASTM 5 altında bulunması ile yüzeyde pullanmalar meydana gelmektedir. Bu sonuç ile karşılaşmamak için tane büyüklüğünün ASTM 7 veya ASTM 8 değerlerinde olması gerekmektedir. Kaplama kalınlığının artması ile daha yüksek bir gerinmeye ulaşılabilir, bu sebep şekillendirilebilirliğin artmasına neden olmaktadır. Sacların üretimlerindeki bazı ısıl değişimler direkt olarak mikro yapı değişkenlerini etkilemektedir. Çelik sacdaki pekleşme oranının yüksek olması şekillendirilebilirliğin ve gerilebilirliğin artmasına sebep olmaktadır. Paslanmaz çeliklerden üretim yapılırken kullanılan kalıplar, takımlar ve ekipmanlar daha



çok deformasyona uğramaktadır ve yüzey özelliklerinin mükemmeliyeti için özen gösterilmelidir. İmal edilecek ürünler için yüzeydeki deformasyonları aza indirebilmek üzere kalıplarda bir yağlayıcı isteğe bağlı olarak kullanılabilir, kullanılmaması durumunda kuvvet ve güç ihtiyacı artarak ekipmanın ömrünü azaltacaktır. Derin Çekme işlemlerinde kompleks kesitli parçaların yüksek hızlarda çekilmesi kritik bölgelerde mukavemet düşüklüğüne ve yırtılmalara sebep olacağından dolayı düşük hızlar tercih edilmelidir. Kromlu çelikler düşük karbonlu çeliklerden farklı özellikler taşıdığı için üretim yapılırken kromlu çeliklerin her cinsi farklı olarak ele alınmalıdır bu farklı olan özellikler akma mukavemeti ve pekleşme davranışlarıdır. Paslanmaz çeliklerde derin çekme işlemleri yapılırken kalıplarda bulunan yuvarlatma yarıçapları gereğinden küçük tutulursa gerilme yığılmaları ve mukavemetsizliğe sebep olurken gereğinden fazla büyük tutulması halinde kırılma hataları ile karşılaşmaktadır. Paslanmaz çeliklerin şekillendirme işlemlerinde az karbonlu çeliklere göre yüzdesel olarak 50-60 oranında fazla güce ihtiyaç duyulmaktadır. Şekillendirme işlemleri için şekillendirme yeteneğinin yanı sıra şekillendirme verimliliğinin de üst düzey olması beklenmektedir. Farklı hızlardaki çekme deneylerinde akma ve çekme mukavemetinin ivmelenme arttıkça arttığı saptanmıştır. Korozyon dayanımı açısından karşılaştırıldığında kromlu çelikler tercih edilmektedir. Fakat düşük karbonlu galvanizli çeliklerin maliyet ve fire oranlarının düşük olması kromlu çeliklere göre daha çok tercih edilmesine olanak sağlamaktadır. DX51 galvanizli saclar paslanmaz çelik saca göre yarı yarıya daha az maliyetlidir. Bu iki sac grubu karşılaştırılması sonucu maliyet açısından paslanmaz çelik sınıfta kalsa da korozyona karşı daha güçlü dayanıma sahip olması, yüzey kalitesinin mükemmelliği, şekillendirilme ve mekanik dayanımının daha yüksek olması sebebi ile kompleks kesitli ürünlerde daha çok tercih edilmektedir [5].

Hou ve arkadaşları, sıcak daldırılmış galvanizli çelik ve tavlanmış galvanizli çeliğin bükme deneyleri sonucunda kalıp sertliğine bağlı yüzey topografyasındaki hasarları incelemiştir. Bunun için iki çelikten de numuneler hazırlanmış ve u büküm kalıplarında bükülmüştür. Deney sonucu olarak iki galvanizli çeliğin şekillendirme sayısı arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin arttığı saptanmış, tavlı galvanizli çeliğin sıcak daldırılmış galvanizli çeliğe oranla daha iyi bir hasar direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sıcak daldırılmış galvanizli çeliklerde gözle görülen oranda yüzeyde daha fazla çizikler gözlemlenmiştir. Tavlanmış galvanizli çelik çiziklere karşı daha dayanıklı olmasına rağmen yüzeylerinde pullanma ve döküntülerle karşılaşmıştır. Kalıp yüzey sertliği artırılarak yüzeydeki çiziklerin azalacağı sonucuna varılmıştır [6].

Akbaş, çalışmasında 7140K mikro alaşımlı çelik levhalara sıcak daldırma ile galvaniz kaplama işlemi uygulanmış. Farklı alaşım elementlerinin mikro yapı ve korozyon dayanımı üzerine etkilerini incelemiştir. Değiştirilmiş sıcaklıklarda uygulanan kaplamalar SEM, XRD ve tuz sisi testi ile alaşıma katılan elementlerin kaplama üzerindeki etkileri araştırılmış. Yapılan çalışmalar neticesinde banyo alaşım elementi olan Al Fe-Zn intermetalik bileşiğin oluşumunu önlemek için banyoya kayılması, sonucu ortaya atılmıştır. Cu elementinin katılması diğer çalışmalarda zeta fazının yok ettiği savunulmuş fakat bu çalışmada delta, eta, zeta ve gamma fazı olarak dört fazda görülmüştür. Şekil verilmenin dikkate alınarak kaplamanın sünek bir yapıda olması gerekmektedir. Çalışmada bu sünekliği zeta fazının sağladığı tespit edilmiş ve zetanın fazla büyük olması pullanma ve kaplamanın ana yüzeyden ayrılmasına neden olduğu açıklanmıştır. Bu sorunun önüne geçilebilmesi için zeta fazından önce ince bir gamma fazı ana bileşen olarak delta fazı olması gerekmektedir. Öneri olarak sıcak daldırma galvanizleme proseslerinde yüzeyde eşit dağılım ve heterojen olmayan fazlar olabilmesi için robotik bir sistem olması gerekmektedir. Al ilavesi çabuk oksitlendiği için kaplama koruyucu gaz altında gerçekleştirilmelidir. Sıcak daldırmada oluşan fazların hasar mekanizmaları farklı davranışlar göstermektedir bunun için nano sertlik cihazı ile katmanların ve kaplamaların sertlikleri ölçülmelidir. Sonuçlarına varılmıştır [7].

Yaluk, çalışmasında özellikle karbon, manganez, fosfor, kükürt, silisyum ve alüminyum ögeleri ile üretimi yapılan çeliklerin çinko kaplama üzerindeki etkilerini göz önüne almıştır. Farklı alaşımlardaki çelikler belirli ve çok sayıda ön işlemlerden geçirilerek, kaplama işlemleri sonucunda kaplama özelliklerindeki değişimler irdelenmiştir. Kaplama havuzlarındaki alaşım elementleri ve diğer parametrelerin kaplama üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu incelemeler için numuneler hazırlanmış ve bu numune yüzeyleri belirli yüzey işlemlerinden geçirilmiştir. Araştırma sonucunda silisyum ve fosfor elementlerinin kaplama kalınlığına ve kaplamanın görüntüsü üzerinde önemli bir etkide olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcak ve soğuk haddelenmiş saclara kaplama yapılarak şekillendirme işlemleri uygulanmış ve hangi üretim yönteminin sıcak daldırma galvanizlemeye uygun olduğu araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda soğuk haddelenmiş malzemenin sıcak malzemeye göre kırılğan bir yapıda olduğu gözlemlenmiş bu kırılğanlığın sebebinin kaplama kalınlığının daha fazla olması sonucuna bağlanmıştır. Silisyum oranının %0.0743 olan çelikte en yüksek kaplama kalınlığı elde edilmiş, daha fazla yüzdesel olarak silisyum eklendiğinde ise kalınlığın düşmeye başladığı deneylerde gözlemlenmiştir. Sandalin piki olarak adlandırılan %0.222 Si yüzdesine geldiğinde ise tekrardan kalınlık artışının olduğu

gözlemlenmiştir. Silisyumun fazla olması, kimyasal olarak demir elementinden daha hızlı çözüldüğü için Fe-Zn bileşiğinin oluşmasını engelleyerek, Si-Zn bileşiği oluşumunu artırmaktadır. Bu artış kaplamanın kırılğan ve daha kalın olmasına olanak sağlamaktadır. Ara faz oluşumların morfolojisini de etkilemektedir. Fosfor elementinin de aynı şekilde bir etki yaptığını ve silisyum fosfor oranlarının çok dikkatli ve dengeli bir şekilde ayarlanması gerektiği deney sonuçları ile desteklenmiştir. Yüzey temizleme işlemi olan flukslamada, içinde bulunan amonyum klorür ve bu bileşiğe benzeyen çözeltiler çinkonun yüzeye iyi yapışmasını desteklediği sonucuna varılmıştır. Kaplama öncesi ve sonrası sonucu akma ve çekme dayanımlarında bir değişiklik olmadığı fakat uzamanın bir miktar arttığı ortaya konulmuştur. Kaplama havuzuna kurşun ilavesi cürufları tutmaya faydalı olacağına, alüminyum ise kaplamanın yüzeyinin parlaklığını artırmasına yardımcı olacağına fakat belirli bir miktar üzerinde kullanılması kaplama reaksiyonlarını durduracağına, nikel kaplama kalınlığının kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesine, kurşun çevresel sorunlar yarattığı için yerine bizmut kullanılarak kaplamanın daha iyi yapışmasının sağlanacağı sonuçlarına varılmıştır. Islak depolamadan kaynaklanan beyaz pasların oluşumu ise kısa vadede kromlama veya fosfatlama ile çözüleceği ortaya konmuştur [8,9].

Akgün, çalışmasında St37, 1020, 1040 ve Ck45 çelikleri sıcak daldırma galvaniz ile kaplanmış ve içeriklerinin kaplama kalınlığına pozitif ve negatif yönde etkileri araştırılmış; mikro yapıları, kaplama kalınlıkları, sertlikleri ve SEM analizi yöntemleriyle irdelenmiştir. Deney ve gözlemler sonucunda sıcaklık ve bekleme süresi ile çinko kaplamanın kalınlığının arttığı, silisyumu yüzde ağırlık olarak fazla bulunduran çeliklerde daha fazla çinko metalini kaplamaya alarak kalınlığının arttığını, çelik bileşimindeki S ve P elementleri çinko kaplamada belirli yerlerde gözeneklenmeyi arttırdığını ve yüzey sertliğinin üst katmanlardan altlık malzemeye gidildikçe arttığı gözlemlenmiştir. SEM görüntülemelerin sonucu dışarıdan altlık malzemeye doğru gidildikçe çinko oranının azaldığını ve demir oranının arttığı gözlemlenmiştir [10].

Karakaş, çalışmasında galvanizli çeliklerin üretimden sonra depolanması sırasında nemden ve ıslanmalardan dolayı beyaz pas oluşumlarını incelemiştir. Bu oluşumların önüne geçilebilmesi için bazı pasivasyon ürünleri kullanılmaktadır. Çalışmada bunlardan biri olan kromlu yağlayıcıların iki farklı tipi karşılaştırılmıştır. DX51 kalite çelikten test panelleri hazırlanmış ve tuz sisi testine maruz bırakılmıştır. Karşılaştırma yöntemi olarak şablon metodu kullanılmıştır. Deney sonuçlarında  $Cr^{6+}$  pasivasyonun 264. Saate kadar koruma

sağladığı görülmüştür. Aynı şekilde  $Cr^{3+}$  'ün  $Cr^{6+}$  'e oranla 2,5 kat daha fazla kullanılması sonucunda aynı korumayı sağlayacağı deney sonuçlarıyla desteklenmiştir.  $Cr^{6+}$  pasivasyonun kanserojen bir madde olduğu vurgulanmıştır. Diğer ülkeler tarafından kullanımının sınırlandırıldığı belirtilmiştir [11].

Wang ve arkadaşları, çalışmalarında galvanizli saçların şekillendirilmesi sırasında plastik deformasyonların indüklediği etki ve temas sürtünmesinin çeliklerin yüzey topografyasını nasıl değiştirdiğini incelemişlerdir. Erichsen çukurlaşma deneyleri yapılarak farklı deformasyon bölgeleri, temassız optik profilometre kullanılarak görüntülenmiştir. Deney sonuçları, deformasyonun arttığı bölgelerde yüzey pürüzlenmelerinin arttığını göstermektedir. Pürüzlülük değerlerinin çok yüksek olduğu bölgelerde, pul pul dökülmelerin olduğu gözlemlenmiştir. Az pürüzlülüğe sahip bölgelerde ise çinko kaplamanın daha sağlam kaldığı tespit edilmiştir. Yüzey topografyasının temas sürtünmelerinden dolayı oldukça etkilendiği, deney sonuçlarıyla ortaya konulmuştur [12].

Aytan, çalışmasında düşük karbonlu DX51D, DX52D, DX54D sıcak daldırma ile galvanizlenmiş çelikler farklı yüzdelik dilimlerde (%2, %5, %8) ön deformasyonlara tabi tutmuştur. Deformasyondan sonra fırın sertleşmesi parametrelerinden fırın ısısı  $170^{\circ}C$  ve  $210^{\circ}C$ 'de 20 dakika bekletildikten sonra 30 dakika havada soğumaya bırakılarak fırın sertleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Fırın sertleştirme işlemindeki, fırın sıcaklıkları değiştirilerek mekanik özellikler üzerindeki etkiler incelenmiş ve iyileştirme yapılması amaçlanmıştır. Düşük karbonlu çeliklerde ilk olarak fırın sertleştirme işlemindeki fırın sıcaklık sabit tutulmuş, ön deformasyon değişimi ile mukavemet artışı gözlemlenmiştir. Maksimum mukavemet artışı sağlayan deformasyon şartı sabitlenerek, fırın sıcaklığı farklılaştırılarak mukavemet artışları incelenmiştir. Son olarak mikro yapı görüntüleri incelenerek parametre etkisi ile sertlik arasındaki bağlantı için değerler ölçülmüştür. Sertliğin mukavemeti doğru orantılı olarak artırdığı gözlemlenmiştir. Deformasyonun mukavemeti artırdığı, sıcaklığın ise arttıkça mukavemetsizliğe neden olduğu saptanmıştır. Fırın sertleşmesiyle akma mukavemetin en iyi artış sonuçlarına DX52D malzemesinde rastlanıldığı sonuçlarına ulaşılmıştır [13].

Akyüz Akman, çalışmasında korozyonun çelik malzemelere olan zararlarından, ülkemiz ve dünya için maliyet anlamında çevresel zararlar anlamındaki negatif yönlerinden bahsetmiştir. Çeliğin sıcak daldırma galvaniz yöntemiyle kaplanarak hem uzun süreli hem

doğa dostu olan bu seçeneğin önemine vurgu yapmıştır. Çalışmada boya ve diğer koruma yöntemlerinin yetersiz ve maliyet açısından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [14].

Ciubotariu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, deniz hizmetlerinde en çok kullanılan DX51D ve S220GD çeliklerinin NaCl, HCl ve NaOH çözeltileri kullanılarak korozyon özellikleri incelenmiştir. Korozyon hızını ve korozyon penetrasyon hızını gravimetrik yöntemle değerlendirmişlerdir. Deney için %5 NaOH çözeltisi, %5 HCl çözeltisi ve 0,5M NaCl çözeltisi hazırlanmıştır. Numuneler 28 gün boyunca 400 ml test çözeltilerine daldırılarak. Periyodik olarak 3, 7, 14, 21, 28 günde kütle kayıpları ölçülmüş, korozyon hızı ve korozyon stabilite katsayıları belirlenmiştir. DX51D ve S220D çelikler 21 günde HCl içinde tamamen korozyona uğramışlardır. 0,5M NaCl çözeltisindeki S220 GD çeliği için daha hızlı bir korozyon oranı gözlemlenmiştir. Farklı aşındırıcı çözeltilerde test edilen diğer numuneler için korozyon hızları birbirine yakındır. Korozyon Stabilite katsayısı değerlerinden DX51D ve S220GD sıcak daldırma galvanizli çeliklerin NaOH ve NaCl'de orta düzeyde bir korozyon direncinin bulunduğu sonucuna varılmıştır [15].

Geidenbacher ve arkadaşları çalışmalarında, sac metallerin şekillendirilirken oluşan galvaniz dökülmelerinin büyük bir sorun olduğunu vurgulamışlardır. Bu sorunun önüne geçebilmek amacıyla takım malzemelerinin karakterizasyonu için iki farklı takım malzemesi, gri dökme demir (EN-GJL-200/250) ve sfero dökme demir (EN-GJS-700), incelenmiştir. Projede sürtünmeyi azaltmak ve takımların tribolojik olarak avantajlı yüzeylerini tanımlayan üç boyutlu bir yüzey parametresi bulmak amaçlanmıştır. Laboratuvar koşullarında şerit çekme testleri gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak üç boyutlu yüzey parametresinin doğrudan sürtünme üzerinde etkili olduğu, kayma hızı ve sıcaklık gibi test parametrelerinin ise önemli bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir [16].

Niktin, yaptığı çalışmada galvaniz kaplanmış sacların üç farklı ark lehimleme yöntemiyle lehimlenerek korozyon davranışlarını incelemiştir. Sacların kaynatılmaması ve sadece lehimlenmesi, kaynak bölgesinde daha az çinko buharlaşmasına sebep olarak ortamın atmosferik korozyona karşı korunmasını sağlamaktadır. Lehimleme işlemlerinde daha az ısı girdisi bulunmaktadır. Üç lehimleme yöntemi olarak standart gaz ark sert lehimleme, darbeli ark sert lehimleme ve darbeli çevrimle birlikte soğuk metal transferi şeklinde kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında iklim değişikliği testleri gerçekleştirilerek lehimleme işlemlerinin galvanizli sacların korozyon davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Lehimleme sırasında

bindirme bağlantısından kaynaklanan hasar değerlendirmesi yapılmıştır. Darbeli sert lehimlemenin birleştirme prosesi için en iyi sert lehimleme yöntemi deneysel sonuçlarla kanıtlanmıştır [17].

Ünsal, yaptığı çalışmada, su kuleleri, soğutma kuleleri gibi yapıların tesisat hatlarında kullanılan galvanizli çeliklerin kesit azalmasına sebep olan mikrobiyolojik korozyon mekanizmasını deneylerle incelemiştir. Deneylerde, soğutma kulesini simüle etmek için gerçek bir model oluşturulmuş ve sistem üç ay boyunca çalıştırılmıştır. Sistemdeki numuneler 30 günde bir çıkarılarak elektrokimyasal impedans spektroskopisi yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve polarizasyon eğrileri çizilmiş, çıkan korozyon ürünleri SEM yöntemiyle incelenmiştir. Deney sonuçları, oluşan biyofilmin ve direncin maruz kalma sürelerine göre farklılık gösterdiği ve metalin korozyon davranışını farklılaştırdığı gözlemlenmiştir [18].

Şirin'in yaptığı çalışmada, ısıtma işleme tabi tutulmuş ve tutulmamış AISI 4340 çeliği kullanılmıştır. Sıcak daldırma galvanizleme sonrasında kaplamanın faz yapıları, yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertlikleri ve kalınlık değerleri incelenmiştir. Bu gözlemler sonucunda kaplamanın yorulma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Sonuçlarda ise çinkonun yüksek yüzey gerilimi sayesinde yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ancak çinko malzemesinin sünekliği sebebiyle yorulma mukavemetinde düşüşlerin gözlemlendiği belirlenmiştir. Her iki deney grubunda da yüzey sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri, kaplama kalınlıkları ve fazlar benzer çıkmıştır. Galvanizleme işlemi sonrasında, yorulma dayanımında bir düşüş meydana gelmiştir [19].

Kardeş'in yaptığı çalışmada, çinko kaplamanın sıcak daldırma yöntemiyle yapıldığı bir tesiste kaplama kalitesine süreç boyunca hangi parametrelerin etki ettiği ve yıkama, durulama havuz içi elementlerin etkileri, deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Deney sonuçlarında ise banyo daldırma ve çekme deneyinde en iyi daldırma açısının 90° olması sonucuna varılmıştır. Daldırma ve bekleme deneylerinde en iyi daldırma süresinin 1 dakika olması, daha uzun sürelerin kaplama kalınlığını artırdığını gözlemlenmiştir. Daldırma ve çekme hızı deneylerinde en iyi daldırma hızının 3.8 m/dakika, çekme hızının ise 1.17 m/dakika şeklinde olması karar verilmiştir. Daldırılan sacın yüzey temizleme işlemlerinin mutlaka yapılması gerektiğini ve yapılmaması halinde kalitesiz bir kaplama ile karşılaşılacağı vurgulanmıştır. Temizleme işlemi olmaması durumunda kaplama

banyolarında kül ve dros oluşumunun artacağı savunulmuştur. Banyoya ıslak kuru daldırma deneyinde ise ürünlerin kesinlikle kuru bir şekilde daldırılması gerektiğini aksi takdirde kaplamada koyulaşma ve kaplama kalınlığının artacağı sonucuna varılmıştır. Optimum kaplama sıcaklığının 460°C olduğunu, yüzeyde zımparalama işlemi yapılarak kaplama sonucunda zımparalanan yüzeyde daha fazla kaplama kalınlığını artırdığı ve aynı şekilde kaynaklı parçaların da kaplama kalınlığını artırdığını gözlemlenmiştir. Tasarımı yapılan kapalı kaplarda veya parçalarda havalandırma deliklerinin bulunması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır [20].

Cılız ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, sıcak daldırma galvaniz uygulamalarında yüzeysel görsellikte çıkan farklılıkların ve bu farklılığın nedeni olan silisyum elementinin kaplamadan sonrasındaki miktarının araştırılması ve çeliğin yapısında bulunan demir elementi ile silisyumun yapıdan ayrılma süreçleri bu makalede ele alınmıştır. Deneysel çalışmalarda oluşan görsel problemlerin çeliğin içeriğinde bulunan silisyum oranına dayandığı bulunmuştur [21].

Rahdiana ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, SGCC (Japonya galvanizli sac tanımı) galvanizli çelik sac malzemesi kullanılarak kinematik bükme şekillendirme prosesinde geri esneme ve yaylanma kuvvetlerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, v kalıp bükme açıklığı L (mm), zımba açısı (derece), zımba hızı (delme hızı) ve bükme kuvveti (N) gibi değişkenler ile deneysel tasarım oluşturulmuştur. Sonuçlara bakıldığında, optimum bir geri esneme 35 mm'lik bir v kalıp bükme açıklığı, 40°'lik bir zımba açısı, 30 mm/dak bir zımba hızı ve 7500 N'lik bir bükme kuvveti ile elde edilmiştir. En küçük geri esneme derecesi 0.42°'dir. Optimum yaylanma ise 30 mm'lik bir v kalıp açıklığına, 50°'lik zımba açısına, 40 mm/dak zımba hızına ve 7000 N'lik bükme kuvvetinde elde edilmiş; en küçük yaylanma derecesi ise 1° olarak belirlenmiştir [22].

Coşkun'un yaptığı çalışmada, yüksek gerilim hatlarında bulunan kaynaklı taşıyıcı ana konsol bağlantılarında sıcak daldırma galvanizleme işlemleri sonrasında oluşabilecek çatlak durumu üzerinde durulmuştur. Konsolların çalıştığı ortamda yorulma dayanımına zorlanması sebebiyle oluşan yapıdaki çatlaklara izin verilmemektedir. Deney numuneleri hazırlanırken yapı için en çok tercih edilen S355J2 kalite rulo çelikten, sistemin gerçek boyutunda bir yapı ve sistemi taklit eden numuneler çıkarılmıştır. Kaynaklama işlemi için MIG/MAG kaynağı uygulaması yapılmıştır. Galvanizleme prosesi için malzemenin sıvı

metal gevreklik oranı hesaplandığında minimum limit olan değerlerden çok yüksek çıkmıştır. Kaynaklanan ürünler ön tavlama işlemi yapılmamıştır ve kaynaklama işlemi için hemen buzlu suya sokulmuştur. Bunun sebebi çatlak oluşumunu iyice gözlemleyebilmektir. Uygulamanın devamında oluşturulan numunelere 500°C havuz sıcaklığında galvanizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış numuneler tahribatlı ve tahribatsız deneylere tabi tutulmuştur. Bazı numunelerde süreksizlik gözlenmiş ve bunun en büyük sebebinin kaynak penetrasyonu ile alakalı olduğunun farkına varılmıştır. Sonuç olarak, alaşım değerleri aynı kalmak koşuluyla, kaynaklı malzemelerin galvanizlenmesi kullanılabilir bir durum olduğu kanıtlanmıştır [23].

Can ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, üç farklı kaplama alaşımı ile bu alaşımların iki farklı alaşım kaplama prosesleri birleştirilerek yeni bir kaplama yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan kaplamayı test edebilmek amacıyla; kuru yapışma, su direnci, nem direnci, tuz sis testi, çevrimsel korozyon testi ve kimyasal direnç testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar otomotiv sektörünün beklentileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ve karşılaştırmalar sonucunda, beklentilerin üzerinde yeni bir kaplama prosesi geliştirildiği sonucuna varılmıştır [24].

Liu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, sıcak daldırılmış galvanizli çeliğin endüstriyel atmosferik ortamda korozyon davranışı hızlandırılmış tuz püskürtme testi ile incelenmiştir. Sıcak daldırılmış çeliğin yüzeyindeki çinko tabakası ve korozyon ürün tabakası mikro morfolojisi, SEM ve EDS ile gözlemlenmiştir. Sonrasında sıcak daldırma galvanizli çeliğin farklı korozyon döngülerindeki fazları XRD kırınım desenleri ve FTIR kızılötesi spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Katmanlar arasındaki korozyon farkını anlayabilmek için elektrokimyasal testler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda ise ana korozyon ürününün ZnO bileşiği olduğu açıkça saptanmıştır ve korozyon süresi devam ettikçe yüzeyde çukurlaşma korozyonunun oluştuğu gözlemlenmiştir [25].



### 3. GALVANİZLEME

Çeliğin atmosferik korozyona karşı yüzeyinde bariyer halinde bulunarak koruma görevi üstlenen kaplama işlemine "galvanizleme" denir. Galvaniz işleminde kullanılan ana madde çinkodur. Bunun sebebi, demirden daha aktif ve anodik olmasıdır. Bu şekilde çeliği korumak için kendini feda eder ve çelik yüzeyi korozyona karşı koruma sağlar.

#### 3.1 Çinko Kaplama Çeşitleri

Endüstride kullanılan çinko kaplama çeşitleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Çeşitlerine göre elde edilen kaplama kalınlıkları Tablo 3.1’de verilmiştir.

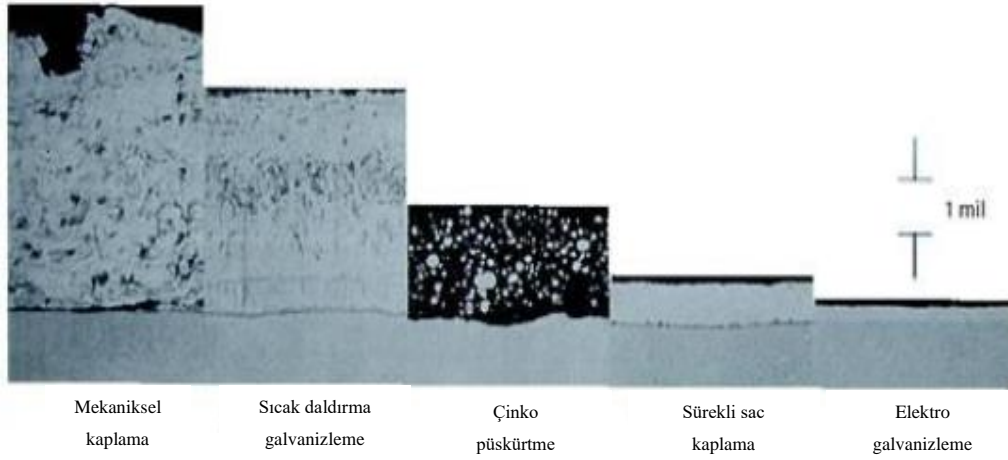
- Sıcak daldırma galvanizleme,
- Elektro galvanizleme,
- Çinko kaplama,
- Sürekli sac galvanizleme,
- Çinko boyama,
- Mekaniksel kaplama,
- Çinko püskürtme.

**Tablo 3.1:** Galvaniz işlemlerine göre kaplama kalınlıkları [8].

Üretim yöntemi	İşlem	Kaplama kalınlığı (mm)
Mekaniksel kaplama	Dövme	5.08-109.2
Çinko kaplama	Elektroliz	5.1-25.4
Elektro galvanizleme	Elektroliz	7.11
Çinko boyama	Fırça	15.2-127
Sıcak daldırma galvanizleme	Sıcak daldırma	35.6-99.1
Çinko püskürtme	Sıcak çinko püskürtme	83.8-210.8
Sürekli sac kaplama	Sıcak daldırma	0-300

Altlık çelik malzeme, farklı yöntemlerle farklı kalınlıklarda galvaniz kaplama işlemlerine tabi tutulabilir. Önemli olan ürünün çalışacağı ortamdaki korozyona uğrama oranıdır. Bu orana göre, üst kısımdaki kaplama kalınlığı seçilmelidir. Ortamın koroziyon gücü arttıkça

üründeki kaplama miktarı da doğru orantılı şekilde artar. Kaplama işlemlerine göre kaplama kalınlıklarının miktarları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.1:** Kaplama çeşitlerine göre kaplama kalınlıkları [8].

### 3.2 Sıcak Daldırma Galvanizleme

Sıcak daldırma ile galvanizleme işlemi, bir ürünün yüzey hazırlık işlemlerinden geçtikten sonra ortalama 450°C'deki erimiş çinko banyosuna daldırılarak yüzeyinin kaplanması işlemidir. Sıcak daldırma işlemi günümüzde hala geliştirilmeye devam etmektedir. Bu yöntem, toplu sıcak daldırma ve sürekli sıcak daldırma olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Toplu sıcak daldırma yöntemi ıslak ve kuru daldırma olmak üzere ikiye ayrılır. İki yöntemin en büyük farkı ise ıslak galvanizlemede ürün kurutulmadan banyoya daldırılır ve yüzeydeki yıkamadan kalan tuzların saflaştırılması için banyo üzerinde ince bir fluks tabakası oluşturulur. Bu tabaka tuzlarla etkileşime girerek ürünün çinkoya temas etmeden önce yüzeyini temizler. Kuru daldırmada ise bu tuzlar yıkamadan sonra kurutularak ürün yüzeyinden arındırılır. Islak yöntemde daha ince galvaniz tabakası elde edilebilir. Bunun sebebi, yüzeydeki ince fluks tabakasının ürün banyodan çekilirken yüzeydeki çinko tabakasını sıyrmasından kaynaklanır.

Sürekli daldırma yönteminde ise genellikle sac rulolar galvanizleneceği zaman uygulanan bir yöntemdir. Kaplı olmayan altlık malzemesi bobinlere takılarak çeneler vasıtasıyla önce yüzey temizleme işlemlerine sokulur, ardından kurutma işleminden geçer ve daldırma işlemi gerçekleşir. Sabit hızlarda banyo giriş ve çıkış işlemleri gerçekleştirilerek istenilen kaplama kalınlıkları elde edilir. Tekrardan galvaniz tabakası kuruduktan sonra istenirse bobin

şeklinde sarılır, istenilirse ürün düzleştirilerek dilme makineleri vasıtasıyla istenilen ölçülerde kesilerek kullanıcıya ulaştırılacak hale getirilerek sevk edilmeye hazır olur [8].

### 3.3 Sıcak Daldırma Galvanizlemede Kaplama Çeşitleri

Sıcak daldırma galvanizlemede kaplanan katmanın farklı elementlerle farklı özellikler kazandırılabilmesi için uygulaması yapılabilir. Günümüzde yedi farklı kaplama çeşidi uygulanmaktadır. Bunlar, ortamın korozif durumuna ve ürünün çalıştığı yerlerdeki yüzey gerilimlerine göre seçilmelidir. Bu kaplamalar ve oranları Tablo 3.2’de verilmiştir.

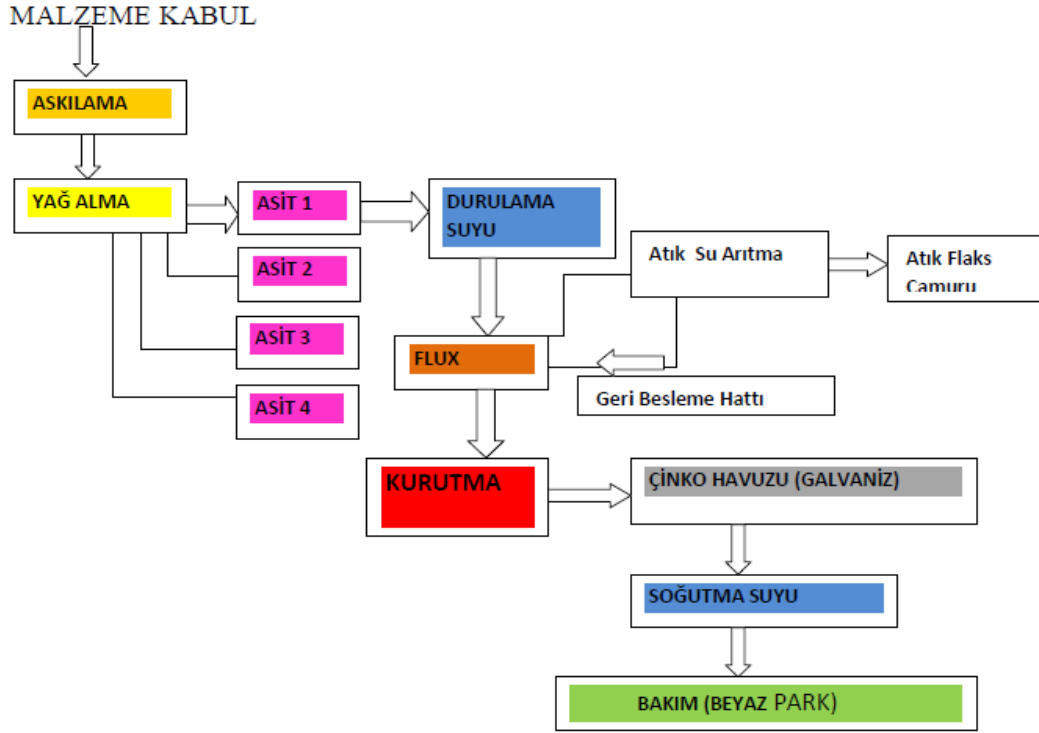
**Tablo 3.2:** Galvanizleme çeşitlerinde kaplamaya katılan bileşen oranları[8].

Kaplama çeşidi	Kaplama bileşeni	Bileşen oranları(%)
Galvaniz	Zn	100
Galvanneal	Zn/Fe	8/10
Galvalume	Al/Zn	55/45
Galfan	Zn/Al	95/5
Saf Alüminyum	Al	100
Alüminyum-Silisyum	Al/Si	95-89/5-11
Çinko Kurşun/Kalay alaşımlı kaplama	Zn/Pb-Sn	97-85/3-15

### 3.4 Galvanizleme İşlemleri

Sıcak daldırma galvaniz kaplama işlemleri Şekil 3.2 de şematik olarak gösterilmiştir. İşlemleri üç ana başlık altında inceleyebiliriz.

- Yüzey hazırlık işlemleri,
- Galvaniz kaplama,
- Kaplama sonrası işlemler.



Şekil 3.2: Galvanizleme işlemleri iş akış şeması [5].

### 3.4.1 Yüzey Hazırlık İşlemleri

Galvaniz kaplamanın mükemmel olabilmesi için altlık malzemenin yüzeyinin iyi bir hazırlık işleminden geçmesi gerekir. Bu sürecin iyi bir şekilde planlanması ve kontrol denetim mekanizmalarının olması gerekmektedir. Yüzey hazırlık süreçlerinde yağ alma, boya giderme, çelik bilye veya kum püskürtme, asitle temizleme işlemleri bulunmaktadır. Kaplanacak malzemenin yüzey durumuna göre bu aşamaların bazıları veya tamamı uygulanmaktadır.

Parça yüzeyine yetersiz bir uygulama yapılarak kaplama işlemine tabi tutulması durumunda, kaplanacak yüzeyde kaplanamayan kısımlar oluşacaktır ve bu galvanizleme hatası olarak bilinen istenmeyen bir durumdur. Kaplanacak olan altlık malzeme, yüzey hazırlık işlem sıralaması olarak ilk önce yağdan arındırılır, eğer boyalı ise boyalarından temizlenir. Arınma işleminden sonra asit havuzlarında, bileşenleri HCl veya H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> olan havuzlarda dinlendirilmeye alınır. Dinlendirme işlemi tamamlandıktan sonra asit havuzundan çıkarılan ürünün yüzeyindeki asit kalıntılarının giderilmesi için su ile yıkanır. Ürün, ikinci basamak olan galvaniz kaplama için çinko banyosuna daldırma işlemine hazır hale gelir [5].

### 3.4.1.1 Yağ Alma

Altlık malzemenin üretiminde kullanılan haddeme, derin çekme veya sıvama gibi işlemlerin uygulamasında işlem kolaylığı sağlamak amacıyla yağlama işlemi yapılmaktadır. Bu ürünler üretilirken kullanılan yağ sadece yüzeyde kalmaz, derinlere kadar işler. Yağ alma işlemi yapılmadan direkt olarak asitle temizleme yoluna başvurulursa, asit direkt olarak malzeme yüzeyine temas edemeyeceği için kaplama işleminde başarısızlıklar meydana gelir ve yüzeylerde pürüzlü görünümler oluşur. Yağ alma işleminde beş çeşit yöntem mevcuttur, bunlar yüzeyden yağ temizlenene kadar kullanılabilir. Eğer yağ filmi bir veya iki yöntemde kalkacak olursa, işlemler diğer basamağa ilerletilmelidir. Bu işlemler şu şekildedir:

**Sıcak Alkali Çözeltiler:** Üretim sırasında kullanılan yağın yüzeyde kalan kısmını çözümedeki etkileri büyüktür. Yüzeydeki boyanın cinsine göre bazılarını çözme konusunda da etkilidirler. Çözeltilerin bir avantajı ise kullanım kolaylığıdır. Bu çözeltiler genellikle 85°C'de ve ürün daldırma/kirlenme oranına bakılarak 1-20 dakika arasında değişir. Sıcak alkali çözeltilerden çıkarılan ürün öncelikle sıcak su ile daha sonra soğuk su ile durulanmalıdır; aksi takdirde daha sonra gireceği asit havuzunda yüzeyde kalan bileşiklerle tepkime oluşturarak asit oranını düşürürler ve asidin boşa kullanılmasına sebep olurlar [5,10].

**Soğuk Alkali Çözeltiler:** Sıcaklığın düşük olduğu çözeltilerin sayısı azdır. Bu çözeltilerin ana bileşenleri genellikle fosfat bazlıdır. Çözeltiler hazırlandıktan sonra basit bir donanım ile ürünün yüzeyindeki kir oranının az olduğu durumlarda kullanılır. İşlem tamamlandıktan sonra su ile temizleme yapılmalıdır.

**Isıtma İle Temizleme:** Üretilen ürünler üzerindeki yağ filmi kaldırmak için 700°C kadar ısıtılır ve yağ tabakası yakılır. Sıcaklık kontrolünü elden bırakmamak gerekir; çünkü çeliğin erime noktasına yaklaştıkça malzeme yumuşar ve şeklinin bozulmasına sebep olur.

**Ultrasonik Temizleme:** Çözeltilerle temizlenemeyen yağlar, ürün bir çözücü sıvı içerisine konularak ufak titreşimlerle temizlenip yüzeyden ayrılabilirler.

**Buharla Yağ Giderme:** Klorlu hidrokarbon buharı kullanılarak yüzeyler yağdan arındırılır. Bu yöntem özel ekipman ve donanım gerektirir. Galvanizleme işlemleri için bütçeyi yükselten bir sistemdir.

### **3.4.1.2 Boya Temizleme**

Boya temizliğinde genellikle üç çeşit yöntem kullanılmaktadır: sıcak alkali çözeltiler, yakma ve kumlama yöntemleri. Alkali kullanılarak çözme ve yakma işlemleri, yağ alma işleminde kullanılan yöntemle aynıdır. Kumlama yöntemi ise kaplanacak ürün büyük ve daha önceden boyalı veya vernikli ise kullanılır. Parçalar kumlama odalarına kapatılarak üzerlerine kum tanecikleri püskürtülür ve tanecikler belli bir hızda yüzeye temas ettiğinde boyayı yüzeyden kaldırarak ürünün boyasını kaldırmış olur.

### **3.4.1.3 Kumlama**

Kumlama işlemi, boya temizliğinde olduğu gibi, kaynak artığı temizliğinde de sıkça kullanılmaktadır. Kaynaklı parçaların galvanizleme işlemleri sonrasında kaynak noktalarının gözden geçirilmesi faydalı olacaktır. Kumlama işlemleri için özel donanım ve aletler gerekmektedir. Diğer yüzey temizleme yöntemlerine göre nispeten daha masraflı ve uzun süren bir işlemdir. Bazı ürünler, işlem sonrasında direkt kaplamaya gönderilebilir. Bu elde edilen avantaj, kaplama işlemlerinde flakslama işlemine tabi tutulmaya gerek kalmaz ve maliyetin düşmesine sebep olur. Bu avantajdan yararlanılabilmesi için ürün tasarımının kum tutmayacak bir biçimde yapılması gerekmektedir. Eğer yapılmazsa, kaplama banyosunda dros oluşumu fazla olur. Yine de işlem sonrasında flakslama yapılması, uygulamanın verimliliğini artıracaktır.

### **3.4.1.4 Asitle Temizleme**

Galvaniz kaplama sürecinin en önemli adımlarından biridir. Üretim yöntemlerinden kaynaklanan hadde pulları, tavlama oksitleri, kir ve pas partikülleri asit havuzlarında ürünlerin yüzeylerinden arındırılır.

Yüzey temizlemenin ilk adımı olan yağ almada fiziksel olarak yüzeydeki yağlar temizlenir. Daha sonra yağların altında kimyasal olarak bulunan oksit tabakası asitle temizlenerek, kaplamayla direkt temas edilecek yüzey elde edilmiş olur. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için asit banyolarına farklı asit bileşikleri kullanılır. Genelde bu banyolarda ısıtılmamış hidroklorik asit kullanılır. Bazı fabrikasyon ve yan ürünlerde sülfürik asit kullanılır. Sülfürik asit, hidroklorik asitten daha ucuzdur fakat işçi sağlığı için çok tehlikelidir ve sıcak olarak kullanılmalıdır. Sülfürik asit ile temizleme işleminin iki avantajı mevcuttur:

- HCl banyosuna göre ürünleri daha hızlı temizler, zamandan ve banyo adetlerinden kar elde edilir.
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> geri elde edilebilen bir bileşiktir ve bu sayede hem daha az atık oluşumu hem de işlemin maliyetinin düşmesi söz konusudur.

Asit banyolarında sürekli işlem yapıldığında banyolar kirlenir ve bu kirlenme asit bileşiminin etkisini azaltır. Banyo içindeki demir oranı belirlenerek daldırma süresi arttırılması gerekmektedir.

Ürünler çelik malzemeden ise banyo işlemi öncesi nemli havada bırakılması dekapaj etkisini artırır. Dekapaj sebebi ile yüzeydeki oksitlenme yüzeyin aşırı şekilde asitle etkileşime girmesine sebep verir. Bu olay hidrojen gevrekliğine sebebiyet verir. Ürünler malzemenin mekanik özelliklerini tam anlamıyla veremez, çekme mukavemetlerinin altındaki yüklere maruz bırakıldıklarında çatlamalara sebep olurlar [5,8,10].

#### **3.4.1.5 Yıkama**

Yıkama işlemi, ürün yüzeyinde asitle tepkimeye giren demir metallerin tuzlarının arındırma işlemidir. İşlem, sağlıklı bir kaplama yapılabilmesi için önem arz eder. Prosesin planlanması, iki su tankı olacak şekilde olmalıdır. İkinci tanktan birinci tanka su akacak şekilde dizayn edilmelidir. En temiz su ikinci tankta bulunmalıdır. İşlem başlangıcında ilk olarak ürünler birinci tanka girer ve çıkarılır; birinci tankta ikinci tanka göre nispeten demir tuzları daha fazla bulunmaktadır. Daha sonrasında ikinci tanka batırılarak tam arındırma işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır

#### **3.4.1.6 İnhibitör (Koruyucu) Kullanma**

Yüzeyi asitle temizleme işlemleri sırasında hadde pullanmalarının ve benzeri ürünlerin yüzeyden temizlenmesi amaçlanır. Fakat durum her zaman bu şekilde olmayabilir; asit, ana döküm malzemeye de zarar verebilir. Bunun sebebi asit konsantrasyonunun iyi ayarlanamamasından kaynaklanır veya tam bir temizleme de yapılmayabilir; bunun sebebi ise asit havuzunda biriken tuzların asit özelliklerini azaltmasıdır. Bu durumlar sonuçta asit miktarı veya çinko miktarı kullanımını arttırarak işletme için yüksek maliyetlere sebebiyet verebilir. Bu durumlardan kurtulabilmek adına asit havuzlarında bir miktar inhibitör kullanılarak bu sorunlar dengelenebilir. Rutubetli atmosferde bulunan ürünler asitle temizlenmeye başladığında, banyoda bir gaz açığa çıkar. Gazın çıkması daha fazla asit

kullanılmasına teşvik eder; inhibitör kullanılarak bu sorun da çözülebilir. İnhibitör banyoya eklendiğinde temizlenen ana malzeme asitle reaksiyona girerse, yüzeyde köpüklenme başlar ve bu durumu durdurmada da etkilidir [10].

#### **3.4.1.7 Flakslama**

Galvanizleme işlemine girilmeden önce yapılan bu üretim aşaması, çinko ve demirin birbirleri arasındaki reaksiyonları iyileştirme amacıyla uygulanmaktadır. Yüzeyi temizlenmiş ürün, flakslama işlemi gerçekleştirilmezse kaplanan çinko tabakası çabuk deforme olur, soyulmalar, pullanmalar gerçekleşir.

Flakslama işleminin bir avantajı ise galvanizleme banyosuna daldırılacak olan parçanın, işlem gerçekleşmeden önce havuzun üzerinde biraz bekletilir. Bunun sebebi, daldırma esnasında sıcaklık dengesizliği yüzünden gerçekleşen çinko sıçramalarının önüne geçilmesidir. Bu işlemin gerçekleşmesi, temiz ve korozif bir ortama açık olan ürün yüzeyine bir oksit filmi kaplanmasına sebep olur. Bu durumda önceden yapılan asitle temizleme ve diğer yüzey işlemlerinin amaçları yitirilmiş olur. Bu aşamalar tekrardan yapılması gerekir. Flakslama işlemi, bu gibi sorunlarla karşılaşmamak için galvaniz banyosundan önce yapılarak temiz yüzey üzerinde bir koruyucu tabaka görevi de yaparak oksitlenmeye karşı direnç oluşturur.

Flakslama işlemi sonucunda oluşan tabakanın görevleri şunlardır:

- Çinko ve çelik yüzeyin birbiri içinde iyi bir reaksiyon gerçekleştirmesini sağlamak ve banyoda bulunan eriyik çinkonun yüzeyini temizlemek,
- Çinko sıçraması tehlikesini azaltmak,
- Ürünü, dışarı çekme esnasında yüzeyi silerek daha ince kaplama meydana getirmek,
- Çinkonun oksitlenmesini önlemek ve kül oluşumunu engellemek,
- Büyük ürünlerin kaplanması veya ürünleri çift daldırılması esnasında yüzeylerdeki yanmaları ve aşınmaları önlemek,
- İnce kesitli düz levhalarda ısınmadan dolayı çarpılmaları engellemek.

Flakslama işlemlerinde kullanılan malzemeler genellikle amonyum klorürdür. Bunun sebebi, ürünün ucuz ve kolay bulunması, flakslama reaksiyonlarını hızlı bir şekilde



gerçekleştirmesi, ürünün kullanışlı ve kolay depolanmasıdır. Çinko havuzlarında erimiş çinko ile karşılaştığında amonyum klorür ve çinko klorür içeren dengeli bir erime gerçekleştirdiği için flakslar olarak çalışır.

Flaks koruyucu aktivitesi, amonyum klorür miktarına bağlıdır. Havuz içindeki kimyasal değişimler sonucu çinko bileşiklerinin oluşumu koruyucu tabakanın artarak koyulaştığı gözlemlenir. Bu tabaka daha çok amonyum klorür içeriye sevk edilerek korunulabilir. Bu şekilde flaks yüzeyde daha güçlü hale gelir.

Flaks tabakasının derinleştirilebilmesi için flaksa köpürtücüler ilave edilir. Bu işlemin avantajları şunlardır:

- Çinko banyosu üzerindeki kurutma işleminin süresi artar,
- Oluşan köpüklü flaks koruyucu tabakası ısısı düşük olduğundan flaksın bozulması yavaşlar,
- Dros oluşumu azalır; bunun sebebi soğuk flaks tabakasının olduğudur.

Birçok flaks köpürtücüsü bulunmaktadır. Bunlardan bazılarında talaş, kepek, donyağı, gliserin örnek verilebilir. Çinko klorür ve amonyum klorür flaksları Al kullanıldığı için etkilerini yitirirler. Çinko banyosunda Al kullanılıyorsa flaksa kriyolit takviyesinde fayda vardır [2].

### **3.4.2 Galvanizleme**

Galvanizleme kaplama işlemi, yüzey temizleme işlemlerinden geçmiş ürünün çinko banyosuna daldırılarak, korozif ortama açık olan yüzeyin çinko ile kaplanması işlemidir.

Çinko banyosu ortalama olarak 450°C sıcaklığındadır. Çinko elementinin ergime sıcaklığı ise 419.4°C'dir. Galvanizleme işlemi 440-475°C arasında düzgün bir biçimde gerçekleştirilebilir. Bu sıcaklıkların üstüne çıkıldığında, havuz tankına ciddi zararlar verilebilir. Bir diğer dezavantajı ise galvaniz kaplama tabakasında bozulmalar meydana gelir. Fazla sıcaklık oksidasyona sebebiyet verir ve çinko elementinin azalmasına neden olur, daldırma yüzeyinde de kirlenmeler artar [5,10].

Banyoya bazı elementler ve bileşikler ilave edilebilir. Bu ilaveler sonucunda kaplamada ara faz oluşumları gözlemlenmektedir. Tablo 3.3’de fazlar genelde demir ve çinko elementi içermektedirler. Kaplanacak altlık malzemedен dış yüzeye doğru çıkıldıkça demir elementi oranı azalmaktadır.

**Tablo 3.3:** Kaplama fazları ve ağırlıkça yüzdesel olarak demir içeriği [8].

Faz	Demir içeriği (%)
Gama fazı	24-28
Delta-Gama fazı	20-24
Delta fazı	7-20
Zeta fazı	1-6
Eta fazı	1-0.05

Fazların kalınlıkları, alایشım tabakası ve demir içerikleri altlık malzemenin iç bileşenlerine göre de farklılık göstermektedir. Altlık malzemenin banyoda kalma süresi uzun tutulursa, alایشım ve çinko tabakalarının kesitleri artmaktadır. Kesitleri fazla olan kaplama, dökülme, soyulma ve fazla çinko kullanımından dolayı üretim bütçesinin artışına sebebiyet vermektedir.

Kaplanan ürün üzerindeki kaplama ağırlığının bağlı olduğu faktörler:

- Çinko kalitesi,
- Banyo sıcaklığı,
- Daldırma süresi,
- Çekme hızı.

Banyo sıcaklığının 480°C ve üzerinde çıkması, altlık malzemedе bulunan demir ve çeliğin çinko içerisinde çözünme hızını artırarak bazı zararlı etkileri meydana getirecektir. Bu etkiler şu şekilde sıralanabilir:

- Eriyen çinko elementinin akışkanlığı artar,
- Banyonun atmosferle temas noktasında oksit oluşum reaksiyonları hızlanır,
- Daldırılmış ürünün sıcaklığı arttığı için banyodan çıkarıldıktan sonra kaplamanın katılışma süresi uzar,

- Banyo daldırma süresi kısaldır.

#### **3.4.2.1 Çinko Kalitesi ve Banyo Bileşimi**

Galvaniz banyosunda banyo altında kurşun tabakası oluşturulur. Bu tabaka, erimiş fazla çinko dibe çöktüğünde yakalayarak tutunması sağlar ve kaplamanın daha güvenli şekilde oluşmasına olanak sağlamaktadır. Banyoya %1 kurşun ilave edilir; daha az ilavesi galvanizasyon işlemlerini zorlaştırır. Daha fazla kullanılması reaksiyonların yavaşlamasına sebebiyet vereceği için belirli bir derecede olmalı ve sürekli analiz edilerek kontrol altında tutulması gerekmektedir.

Saf çinko cevherinde %0.005'ten fazla demir bulunmamalıdır. Demirin bu değerden fazla bulunması lapa oluşumuna olanak sağlar ve galvanizasyon işlemlerini olumsuz yönde etkiler. Kaplamanın demir ihtiyacının belirli konsantrasyonları ayarlanmalıdır. Aksi halde demir ihtiyacının karşılanması için çinko tankının erimesi veya altlık malzemeden elde etmeye başlanabilir. Bu da tehlikeli bir durumu açığa çıkarır. Banyoya kadmiyum ilavesi yapılmaya gerek yoktur; kadmiyum elementi çinko kaplamanın kıvrılabilme özelliğini azaltıcı yönde etki sağlar. Saf çinko ile bu elementin banyoya zaten katılması yeterlidir.

Alüminyum elementi saf çinko içinde bulunmaz; banyoya geri dönüştürülmüş çinko elementi kullanılırsa alüminyum elementi içinde gelir. Geri dönüştürülmüş çinko banyoda çok dikkatli kullanılmalıdır. Alüminyum ilavesi, banyodaki demir elementi kayıplarını asgariye indirir ve banyoda oluşan kirlenmenin önüne geçmiş olur. %0.005 gibi bir oranda bulunması çinkonun oksidasyon reaksiyonunun hızını azaltır ve çinko kayıplarını durdurur. Bu oran %0.007'nin üzerine çıkarsa, banyo çalışma mekaniklerini zor duruma sokabilir.

Banyo derinlikleri mümkün olduğunca fazla olmalıdır; bunun sebebi lapa oluşumu çinko-demir bileşiğidir ve sürekli dibe çökmeye zorlanmalıdır. Isı geçişinin az olması sebebiyle, dipte ve duvarlarda fazla birikirse, o bölgelerde ısı artışı fazla olur ve tanka zarar verebilir. Lapalar sürekli olarak dipten temizlenmelidir [19,20].

#### **3.4.2.2 Banyo Sıcaklığı**

Kaplanan ürün banyodan çıkarıldığında, çinkonun aşağı süzülebildiği sıcaklıkta kaplama gerçekleştirilmelidir. Kül ve dros oluşumu minimize edilmek istenirse, sıcaklık düşük tutulmalıdır. Düşük sıcaklığın olması banyo emniyetini artırırken yakıt masraflarının azalmasına sebep olur. Sanayide gerçekleşen tecrübelerden bu zamana kadar alınan bilgiler

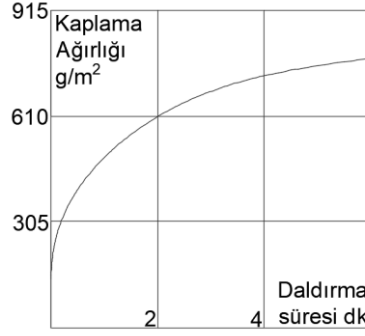
doğrultusunda, en uygun sıcaklığın 450°C olacağı kesinleştirilmiştir. Kaplamadan çıkan ürünlerin görünümünün iyi olması ve çinkonun görevinin etkin olması isteniyorsa, banyo sıcaklığının sürekli kontrolü önem arz eder. Çinko banyosunda kritik sıcaklık 480°C'dir. Bu değerin altında altlık malzeme yüzeyinde koruyucu tabaka oluşur. Bu koruyucu tabakanın görevi, çinkonun çeliğe reaksiyonunun yavaşlatılmasıdır. Sıcaklık yükseltildiğinde tabaka ortadan kaybolur ve çelik korumasız hale gelir. Sonuç olarak, lapa oranı artar ve banyoya zarar verebilir.

Çinko banyosundaki 450°C derecenin altına inildiğinde, çinkonun akışkanlığı azalır ve viskozitesi artar. Bu durum, ürün üzerindeki kaplama kalınlığının artmasına sebep olur. Kalın kaplama, kırılmalığa sebebiyet vermektedir. Ayrıca, ergime sıcaklığı 419.4°C olan çinkonun bu sıcaklık altına inilmesi kristalizasyonların başlamasına sebebiyet verir. Donmaya başlayan çinko, hacmini üç kat arttıracığı için banyo duvarlarına baskı yapacağından dolayı havuzu patlatabilir. Sıcaklık, kaplamada önemli bir faktördür ve buna dikkat edilmesi gerekmektedir [5,10].

### **3.4.2.3 Daldırma Süresi**

Banyoya daldırma işleminde, parçalar en fazla 1 ile 10 dakika arasında havuz içinde kalmalıdır. Parça tasarımları açısından, daha basit düz yüzeyli ürünler daha kısa daldırma süresine, karmaşık kompleks tasarlanmış ürünler ise daha fazla daldırma süresine tabi tutulmalıdırlar. Yüzeylerde kaplama homojenliği isteniyorsa, belli bir süre boyunca ürünler banyo içinde kalmalıdır. Fakat bu süre aşılsa, daha kalın bir kaplama ve kırılmal bir yapıyla karşılaşılacaktır. Sürenin planlanması bu yüzden önem arz etmektedir. Daldırılan havuza göre boyutları büyük malzemeler önce bir kısmı daldırılıp çıkarılırsa, daha sonra bir kısmı daldırılırsa, ilk daldırılan kısım ikinciye göre daha kalın ve gevrek kaplanacaktır. Bu durumun olmaması için parçaların boyutlarına göre havuzlar yapılmalıdır ve bir parça tüm yüzeyi kaplanacak şekilde daldırılmalıdır. Ürünler daldırılırken birbirine temas etmemelidir. Temas bölgelerinde kaplama gerçekleşmemektedir.

Kaplamanın kalınlığına etki eden faktörler tek tek etkilememektedir. Ürünün daldırıldığı anda hep birlikte etki etmektedirler. Çinko kaplamanın en hızlı olduğu zaman dilimi 1 ve 2. dakikalardadır. Daha sonrasında kaplama hızlarında bir yavaşlama görülmektedir. Bu durum Şekil 3.3'te gösterilmiştir [10].

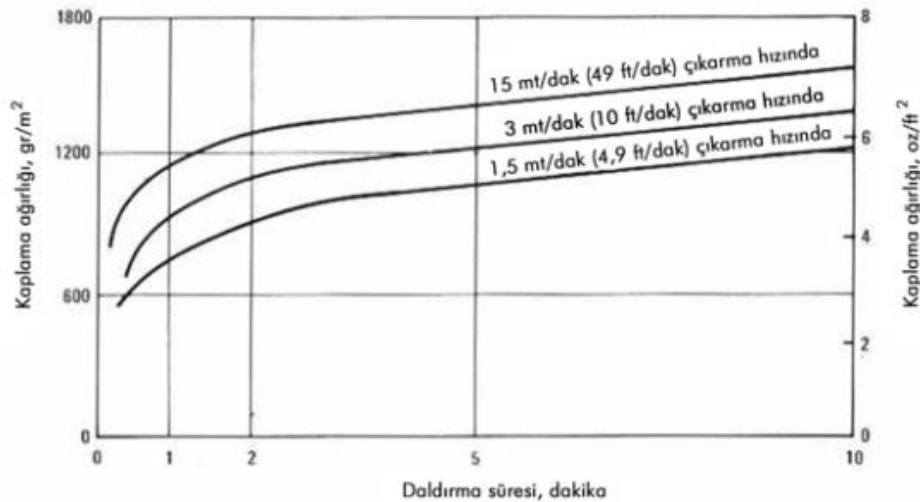


Şekil 3.3: Kaplama ağırlığının daldırma süresine göre değişimi [10].

#### 3.4.2.4 Çekme Hızı

Banyodan çekme hızı, alaşımsız olan çinkonun kalınlığını belirler ve işlemin türüne göre farklılık gösterir. Genelde optimum çıkarma hızı 1.5 m/dak'dır. Bu yavaşlığın sağlanabilmesi için iki devirli motorlar kullanılmalıdır, çünkü banyoya giriş hızlı çıkış yavaş olmalıdır.

Uzun parçaları çıkarmak zamanı uzatacağından dolayı, bu tip ürünlerin daldırılıp çıkarılmasında kümeleştirilmiş jigler kullanılmalıdır; bu sayede birçok parçada daldırma zamanı kısaltılabilir. Hızlı çıkarma işlemi gerçekleştirildiğinde, yüzeydeki kaplama süreksiz ve dağınık kalınlıklara sebebiyet verir. Bu şekilde yapılırsa parça ömrü az olur ve en az çinko kalınlığı hangi kısımdaysa, o kısımdan hesaplanır. Çıkarma hızına bağlı olarak kaplama ağırlığı ve daldırma hızının kaplama kalınlığına etkisi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Çekme hızına göre kaplama kalınlığının değişimi [10].

### **3.4.3 Galvanizasyon Sonrası İşlemler**

#### **3.4.3.1 Sıyırma**

Sıyırma işlemi, galvanizlemede önemli noktalardan biridir. Banyodan çıkarılan ürün üzerinde üniform bir tabaka elde edilmek isteniyorsa, sıyırma işlemi gerçekleştirilmelidir. Yüzey sıyırma, temiz bir banyodan sonra ürün çekilirken yüzeydeki flaks tabakası tarafından bir miktar sıyırılır. Bu şekilde sıyırmaların yeterli olduğu prosesler de vardır; daha düzgün ve daha iyi sonuç elde edilebilmesi için serbest talaş yöntemi kullanılır. Banyo yüzeyine talaş atılarak ve bu talaşlar çinko ile birleşerek hafif bir katı oluşturup, ürünün banyodan çekimi esnasında yüzeyden sıyırma işlemini gerçekleştirir. Sac levhaların üzerini sıyırmak için ise sıyırma silindirleri adı verilen makinelerden geçirilirler. Son bir yöntem olan jet bıçakları da günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jet bıçaklarının üfleçlerinden basınçlı hava yardımıyla yüzeyden fazla çinko sıyırma işlemi gerçekleştirilir.

#### **3.4.3.2 Santifürüjleme**

Santifürüjleme işlemi genellikle küçük parçalar için yapılmaktadır. Bu parçalar üzerinde fazla çinko diğer yöntemlerle giderilmeye uygun olmadığı için santifürüjleme yöntemi seçilmelidir. Santifürüjleme, ürün banyodan hemen çıkarıldıktan sonra santifürüj makinelerine atılır. Makine, merkezkaç kuvveti yaratarak ürün üzerindeki tutunamayan fazla çinkoyu üzerinden atar. Ürünler makineye girdikten genellikle 2-3 saniye içinde fazla çinkodan kurtulmuş olurlar; makinede daha uzun tutarak işlemi devam ettirmenin bir manası yoktur. Santifürüjleme tamburunun genellikle dakikada 750 devir atması istenmektedir. Santifürüj makinelerinde hızlı ivmelenen bir motor kullanılmalıdır. Bunun sebebi, çinkonun yüksek hızlara çıkarken ısınıp kaybederek donmasından dolayıdır. Daha sonra ürünler hemen suya atılarak birbirinin üzerine yapışması ve kaplamalarının zarar görmeleri engellenmelidir.

#### **3.4.3.3 Su Verme**

Galvanizasyon işlemleri tamamlandığında ürün yüzeyindeki çinko hızla soğuma yaparak katılaşmaya başlar. Bu soğuma üç şekilde gerçekleşebilir: su içinde, havada veya yağ içinde olabilir. Su içine direkt olarak daldırılma gerçekleştirildiğinde hızlı soğuma yüzünden kaplama yüzeyi pürüzlülüğü, sonuç olarak pürüzlü bir hal alır. En düzgün yüzey pürüzlülüğü havada soğutma ile alınmaktadır. Fakat havada soğutma ortamında herhangi bir toz veya kirlilik durumunda yüzey pürüzlülüğü iyi bir sonuç vermez. Bazı ürünlerin içi veya dışı parlak kaplama şeklinde istenilmektedir; bunun için ürünlerin içi soğuk su ile doldurulursa

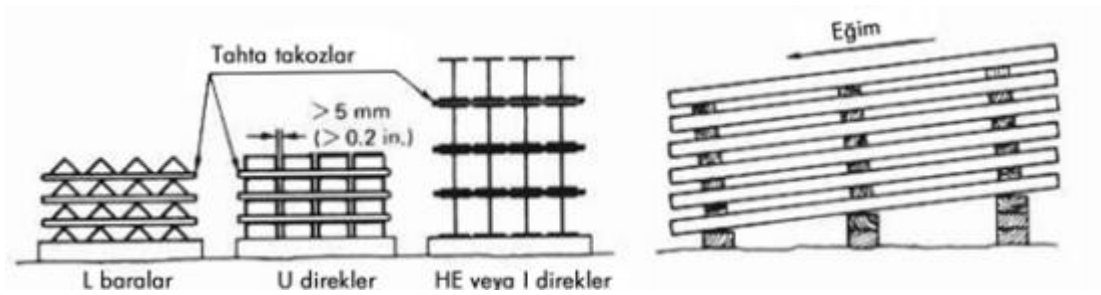
dış yüzeyi parlak kaplama olur, tam tersi istenilirse dış yüzeye soğuk su uygulaması yapılır, iç yüzey hava ile soğumaya bırakılır. Havada ve suda soğutma arasında bu şekilde bir denge vardır.

Su verme uygulaması, flakstan kalan artıkları gidermek için kullanılarak ürünün korozyona uğramasını önler ve kaplamanın düzgünce oturmasını sağlar. Kaplamanın oturtulabilmesi için suyun içine yağ ve sabun ilave edilir. Ürünlerin suda flaks artıklarından temizlendikten sonra su belirli aralıklarla temizlenmesi çok önemlidir.

#### 3.4.3.4 İstifleme Ve Depolama

Tüm işlemler bittikten sonra ürünler, sevk edilecekleri yere gitmeleri veya montaj parçası ise montajlanacakları yere ulaştırılmaları için depolarda beklemeye alınır. Bu bekleme esnasında ürünlerin şekillerine göre istiflenmesi çok önemlidir. Şekil 3.5’de doğru istifleme şekli verilmiştir. Ürünler, galvanizasyondan sonra soğumaları yavaş olursa, istifleme esnasında temas nedeniyle galvaniz kaplama tabakaları bozulabilir. Bunu önlemek amacıyla ürünler aralıklı olarak istiflenmelidir. Çok büyük istifler yapılmamalıdır.

Ulaşım sırasında hava şartlarından dolayı ürünler ıslanabilir veya depolarda beklerken ıslanma söz konusu ise, ürünler acil olarak kurutulmalıdır. Aksi takdirde, ürünlerin çinko tabakaları su ile korozyona uğrayarak yüzeyde beyaz pas oluşumuna neden olabilir. Bu da üründe kötü bir yüzey görünümüne ve korozyona daha dayanıksız hale gelmelerine sebep olur.



Şekil 3.5: Galvanizlenmiş ürün depolama şekli [10].

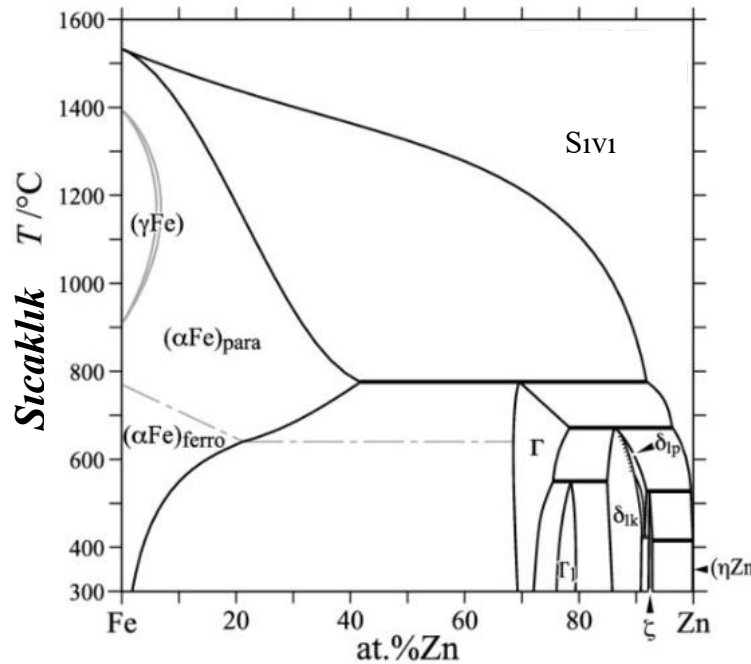
### 3.5 Galvaniz Kaplamada Çinko-Demir Dengeleri

Altlık malzeme çinko havuzuna daldırıldığında, altlık malzemenin içerisinde bulunan bileşenlerle çinko havuzunda bulunan bileşenler arasında birçok reaksiyon gerçekleşir. Bu reaksiyonlar sonucunda kesit alınıp incelendiğinde, 5 farklı bileşende 5 farklı sertlik değerine sahip kaplama fazları Tablo 3.4'de verilmiştir.

**Tablo 3.4:** Kaplama fazları ve bileşen özellikleri [8].

Faz	Kristal yapı	Bileşen	Sertlik (Hv <sub>0.025</sub> )
$\alpha$ -Fe (alfa)	HMK	Fe(Zn)	104
$\Gamma$ (gama)	HMK	Fe <sub>3</sub> Zn <sub>10</sub>	326
$\delta$ (delta)	Hegzagonal	FeZn <sub>10</sub>	358
$\zeta$ (zeta)	Monoklinik	FeZn <sub>13</sub>	208
$\eta$ (eta)	Hegzagonal	Zn(Fe)	52

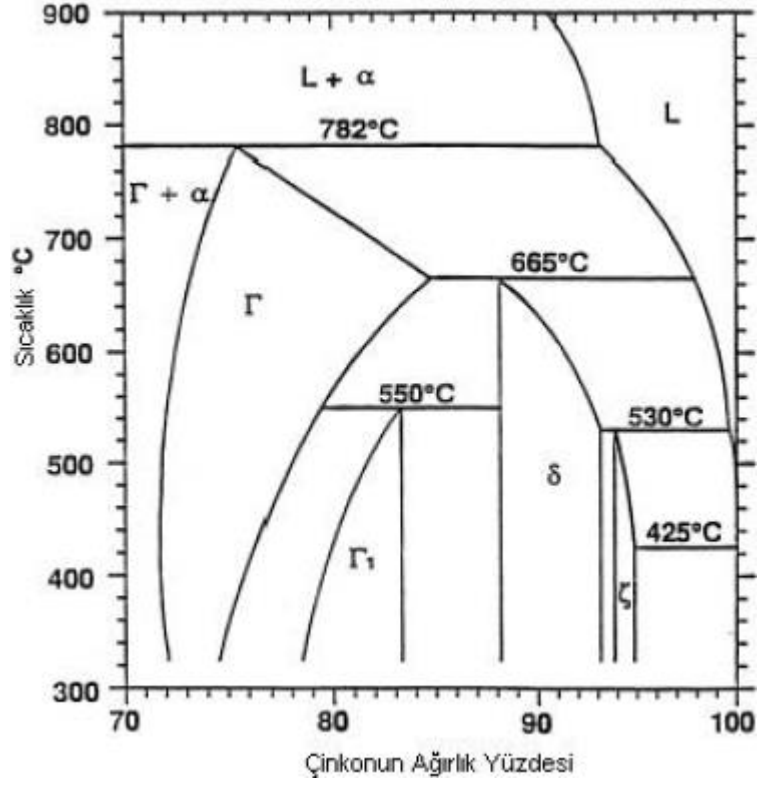
Günümüzde kabul edilmiş olan Fe-Zn denge diyagramı aşağıda Şekil 3.6'da verilmiştir.



**Şekil 3.6:** Fe-Zn denge diyagramı [8].

Çizelgede verilmiş olan fazların denge diyagramındaki konumları ayrıntılı bir şekilde aşağıdaki Şekil 3.7'de gösterilmiştir.





Şekil 3.7: Fazların bulunduğu yerlerin gösterimi [10].

Çinko yüzdesine bakılarak uzun süreli daldırmalarda gama, gama1, zeta ve delta fazlarının oluştuğu açıkça görülmektedir. Denge diyagramına bakıldığında eta fazı bulunmamaktadır. Bu faz, demir çözeltilinde %0.03 olan çinkoda bulunan demirin bir katı çözeltilisi olarak bulunur. Büyütülmüş çinko oranı yüksek olan kısımda bakıldığında gama 1 fazının oluşumu da dikkat çekicidir. Araştırmalarda bu fazın X ışınları ile incelendiğinde 670°C'ye kadar sadece gama fazı görüntülendiği saptanmıştır [2,5,8,10].

### 3.5.1 Kaplama Fazları

#### 3.5.1.1 Eta ( $\eta$ )

Eta fazı, altlık malzeme ile dışarıya doğru gidildikçe en dışta kalan atmosferle ara fazları ve altlık malzemeyi koruyan atmosferik korozyona karşı altlık malzemeyi koruyan en dış tabakadır. İçeriğinde en az ağırlıkça %0.03 demir içerir. Yumuşak ve sünek yapıdadır.

### 3.5.1.2 Zeta ( $\zeta$ )

Bu faz, ortalama olarak %5-6 ağırlık oranına sahip olan demire sahiptir. Sıvı çinko ile delta fazı arasında oluşan peritektik reaksiyon sonucu oluşur. Faz monoklinik hücre yapıdadır, demir atomunu etrafını 12 adet çinko atomu sarmıştır ve bir tane daha çinko atomuna sahip izomorf halindedir.

### 3.5.1.3 Delta ( $\delta$ )

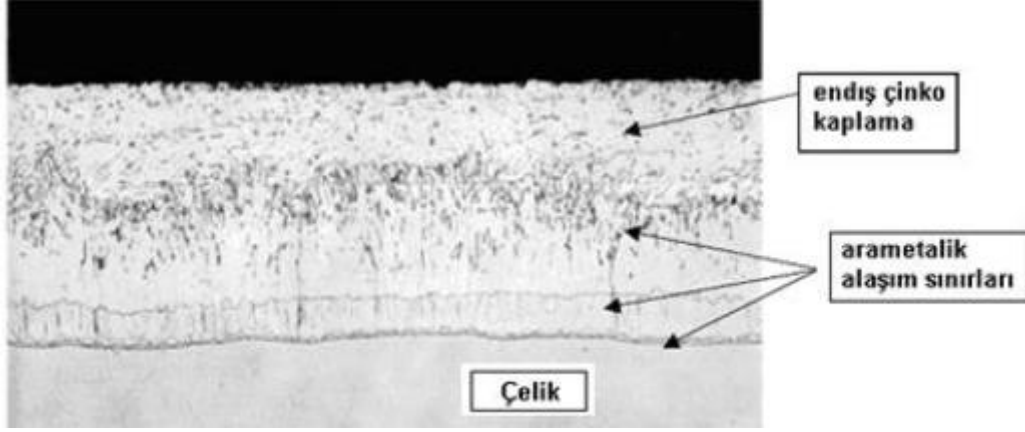
Faz, ağırlıkça %7-11.5 demir oranına sahiptir. Heksagonal birim hücre sine ve 665°C'de sıvı çinko ile gama fazı arasında oluşan peritektik reaksiyonla oluşmuştur. Uzun ve yüksek sıcak daldırmalarda delta fazı iki farklı faza ayrılır. Bu fazlar delta 1p ve delta 1k'dır. 1p çinko açısından zengindir, 1k ise demir elementi tarafından zengindir. İki oluşumun kristal yapıları farklılık göstermektedir.

### 3.5.1.4 Gama1 ( $\Gamma_1$ )

Faz, ağırlıkça %17-19.5 demir oranına sahiptir. Yüzey merkezli kübik bir yapıya sahiptir. Delta ve gama fazı arasındaki peritektik reaksiyon sonucu ortaya çıkar. Gama 1 fazı başlarda gama ve delta fazı arasında gözükmeden gizli şekilde kalır, uzun süre düşük sıcaklıklarda ısıtıldığında ortaya çıkmaktadır.

### 3.5.1.5 Gama ( $\Gamma$ )

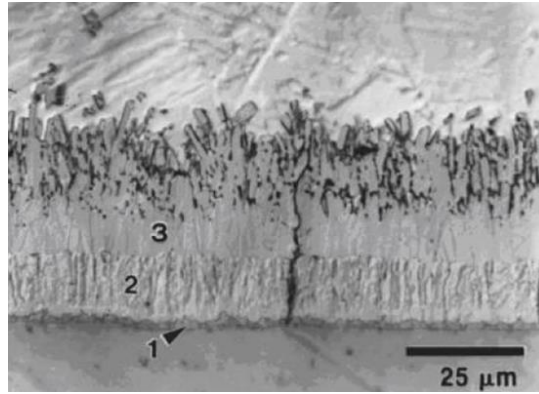
Faz, ağırlıkça %23,5-28 oranında demir içermektedir. Yapısal olarak hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Çinko ve demir arasındaki peritektik reaksiyon sonucu oluşmaktadır. Bu reaksiyon, 665°C'de delta fazında çinko ve demirin maksimum çözünürlüğünü göstermektedir.



Şekil 3.8: Kaplama kesitinde fazların gösterimi [10].

### 3.5.2 Demir Çinko Faz Oluşumu

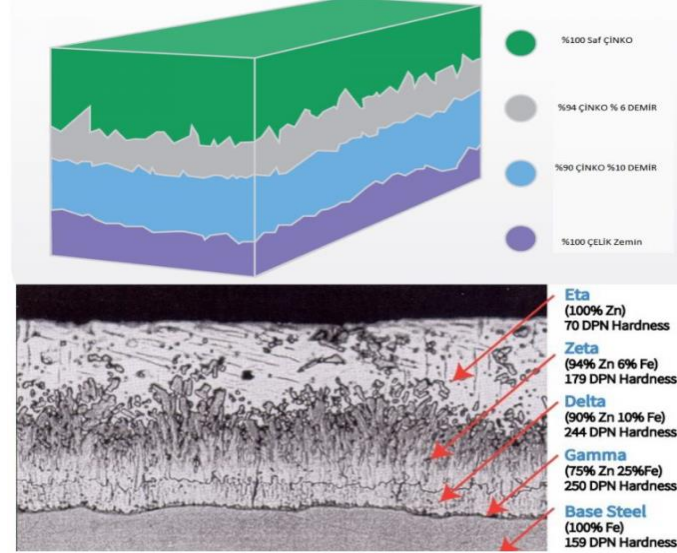
Standart bir galvanizleme işleminde, 450-470°C aralığında altlık malzeme, eriyik çinko havuzuna daldırıldığında, demir-çinko faz diyagramına bağlı kalınarak 4 farklı tabakalanmanın olduğu deneysel çalışmalarla ispatlanmıştır. Oluşumun SEM görüntüsü Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Bu tabakaları altlık malzemeden kaplamaya doğru sıralayacak olursak, gama ( $\Gamma$ ) fazı, gama1 ( $\Gamma_1$ ) fazı, delta ( $\delta$ ) fazı, zeta ( $\zeta$ ) fazı ve en dış katman olan eta ( $\eta$ ) fazıdır. Optik mikroskopisi ile fazlar incelendiğinde, gama ve gama1 fazı diğer fazların kalınlıklarına göre oldukça incedir.



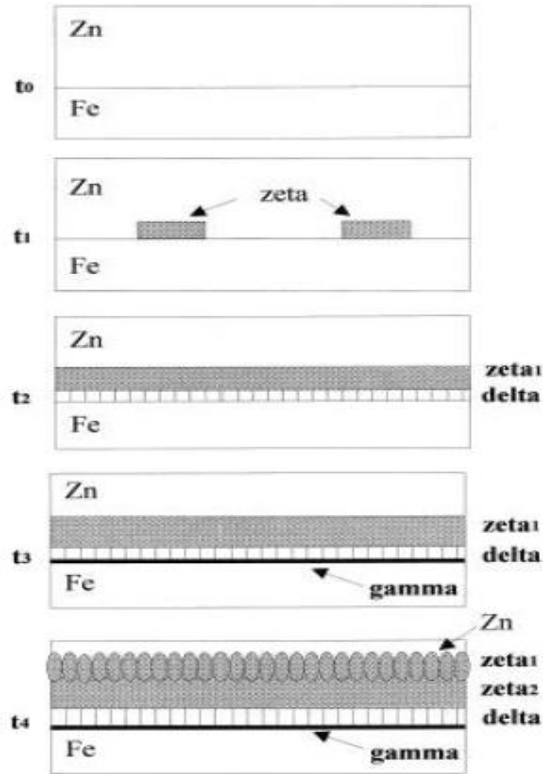
Şekil 3.9: Kaplanmış ürün kesiti [10].

Faz oluşum zamanını  $t_0$  ile simgeleyecek olursak, fazların oluşum sıralaması  $t_0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4$  şeklinde olacaktır. Saf bir çinko banyosuna daldırılmış altlık malzemenin fazlarının demir oranları EPMA ölçümleri ile kanıtlanmıştır. Ölçümlerin sonuçları ve faz tabakaları

Şekil 3.10’da verilmiştir. Gama ve gama1 fazları delta ve altlık malzeme arasında kalan ince koruyucu bir tabaka olarak bulunmaktadır. Oluşan koruyucu tabaka şematik olarak Şekil 3.11’de verilmiştir [8].



Şekil 3.10: Fazların kesitte yerleşimi ve sertlik değerlerinin gösterimi [26].



Şekil 3.11: Fazların oluşum sırlaması [8].

### **3.6 Galvanizleme İşlemi Sonrası Oluşan Artıklar**

#### **3.6.1 Lapa (Dros)**

Lapa oluşumu genellikle ağırlıkça %96 çinko, %4 demir bileşimlerinden oluşan alaşımlardır. Lapanın oluşmasına sebebiyet veren oluşum kaynakları aşağıdaki gibidir:

Demir Tuzları: Asit havuzlarında temizleme solüsyonunda oluşarak ürün ile daldırma banyosuna taşınıp saf çinko ile reaksiyona girerek; flaks ve altlık malzemenin arasında reaksiyonda oluşan demir tuzlarının saf çinko ile reaksiyonundan, saf çinko ve altlık malzeme ile reaksiyonundan, erimiş çinko ve havuzdaki sac plakaların arasındaki reaksiyonlardan oluşabilir.

Bu oluşumu azaltmak için asit havuzlarında ürünün çok bekletilmemesi, asitle mümkün olduğunca az temizleme gerçekleştirilmesi, en ideal düşük banyo sıcaklığında galvanizleme yapılması, ürünün en kısa süreli olarak ideal daldırma süresinde kaplama yapılması, banyo sıcaklığının denetçiler tarafından dar aralıkta sabit tutulması gerekmektedir. Delikli daldırma potalarında her 100 saate bir temizleme işlemi gerçekleştirilmelidir [10].

#### **3.6.2 Kül**

Çinko banyosundaki kül, ZnO ve FeZn bileşenlerinden oluşmaktadır. FeZn külün ağırlıkça %80'ini oluşturmaktadır. Bu oluşumu tetikleyen olay, çinko banyosunun yüzeyinde oksitlenmiş çinko ve donmuş çinkonun karıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Banyonun üst kısmındaki oluşan bu tabakayı dağıtmadan toplanmalı veya daldırma yapmadan önce temizlenmelidir. Banyo yüzeyinin gereksiz bozulması kül miktarını artırabilir. Kül toplama aletleri geniş olmalı ve bir seferde yüzeydeki tabaka alınmalıdır. Oksitlenme seviyesinin düşürülmesi için banyoya belirli miktarlarda Al ilavesi yapılabilir.

#### **3.6.3 Flaks Köpüğü**

Yaş galvanizleme işlemlerinde flaks tabakasının altlık malzemenin bazı kısımlarında yüzeyi iyi işleyemediği ve değiştirilmesi gerektiği bir noktaya varılır. Yapılan flaks banyodan çok dikkatli bir şekilde ayırt edilmelidir. Flaks köpüğü alınırken iç kısmında oluşan metalin banyoya düşmesi izin verilirse kaplamalarda çinko miktarları düşük olur ve ürünlerin korozyona karşı kaplamadan sonraki dirençlerinde azalmalar meydana gelir.

## **4. ALTLIK MALZEME ÇELİK**

### **4.1 Kaplanacak Çeliğin Seçimi**

Çeliklerin içinde bulunan elementler, çeliğin özelliklerine olumlu etki ederken, bazı elementler kaplama için sorun teşkil edebilirler. Kaplanacak bir malzeme geldiğinde ürünün kimyasal bileşeni mutlaka belirlenmelidir. Kaplamaya uygun olup olmadığı sonucuna varılmalı ve daha sonra kaplama işlemleri başlatılmalıdır.

Karbon, fosfor, mangan, silisyum, kükürt, krom, nikel, bakır, vanadyum vb. gibi elementler çelik yapısında bulunurlar. Bu elementler bir arada olabileceği gibi bazıları da bir araya gelebilir. Her elementin kaplama özelliklerine, görünümüne ve kalitesine önemli ölçüde etkileri vardır [8,11].

### **4.2 Çelik Alaşımındaki Elementlerin Kaplamaya Etkileri**

#### **4.2.1 Karbon(C)**

Altık malzemenin sertlik değerini belirlemede üstün bir rol oynayan elementtir. Karbon oranı arttıkça malzeme sertleşir, gevrekliğe gider. Altık malzemenin esnekliğini, kaynak edilebilirliğini ve kesilme özelliklerini azaltıcı yönde etkiler. Karbon oranı ağırlıkça %1'in üzerindeki çelik alaşımları sert çelik olarak adlandırılır. Galvaniz banyosunun içine daldırılan çeliğin karbon oranı arttıkça banyoda çözünen kaplama kalınlığı da gramaj olarak artmaktadır. Kullanılacak olan çeliğin akma mukavemeti sınırları içinde kalması şartıyla, yüksek karbonlu çeliklerin galvanizlenmesi kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir.

#### **4.2.2 Mangan (Mn)**

Çeliğin mukavemetini artırıcı yönde etkisi vardır. Bu artış yapıdaki esnekliğin azalmasına sebep olur, ama ters bir durumla dövme ve kaynak edilme özelliklerini de olumlu yönlerde etkiler. Tüm bu özelliklerin ana dayanağı yapıdaki karbon oranıdır. Yüksek karbonlu çeliklerde mangan etkisi düşük karbonlu çeliklere kıyasla daha fazladır. Mangan elementinin bileşimde olmasının artı bir özelliği de korozyon dayanımına olumlu yönde etki etmesidir. Mangan oranı ağırlıkça %1'in üstünde olan çelikler dayanıklı çeliklerdir. Bu yüksek mangan oranı, kaplama işlemleri tamamlandıktan sonra kaplamanın kolayca zarar gören ve kolay kırılan kahverengi kaplamalar oluştuğu gözlemlenmiştir.

#### **4.2.3 Molibden (Mo)**

Molibden, çelik bileşimine katıldığında çeliğin çekme dayanımına olumlu yönde etki eder. En önemli etkisi ise ürünün yüksek sıcaklık dayanımını ve kaynak edilebilirliğini artırır. Çok yüksek oranlarda kullanılması ise dövülebilirliğini zorlayıcı yönde etki eder. Molibden alaşımı genellikle krom ile birlikte katılır. Bileşen olarak da krom-nikelle birlikte kullanıldığında akma ve çekme dayanımlarında artış gözlemlenir. Isıya dayanıklı çeliklerin üretiminde daha çok kullanılır. Alaşımda molibden bulunması, çelik ve çinko banyosu arasındaki kaplama reaksiyonlarının hızını artırır. Molibden miktarının %1 den fazla olması reaksiyon hızlarının önce artmasına, daha sonrasında ise molibden bulundurmayan yumuşak çeliklerin reaksiyon hızından daha düşük seviyelere inmesine sebep olur.

#### **4.2.4 Vanadyum (V)**

Vanadyumun, galvaniz kaplamaya doğrudan bir etkisi bulunmamaktadır. Çelik bileşimi içinde az miktarda kullanılmaktadır. Vanadyumun kullanımı çeliğin ısıya karşı dayanımını artırır. Yapının tane sınırlarının ince olmasını ve fiziksel özelliklerinin gelişmesini sağlar.

Genellikle yapıda bulunan vanadyum miktarı %0.03 ile %0.25 arasındadır. Yapının akma ve çekme mukavemet özelliklerini pozitif yönde etkiler. Krom, volfram gibi elementlerle birlikte yapıda yaygın olarak kullanılır.

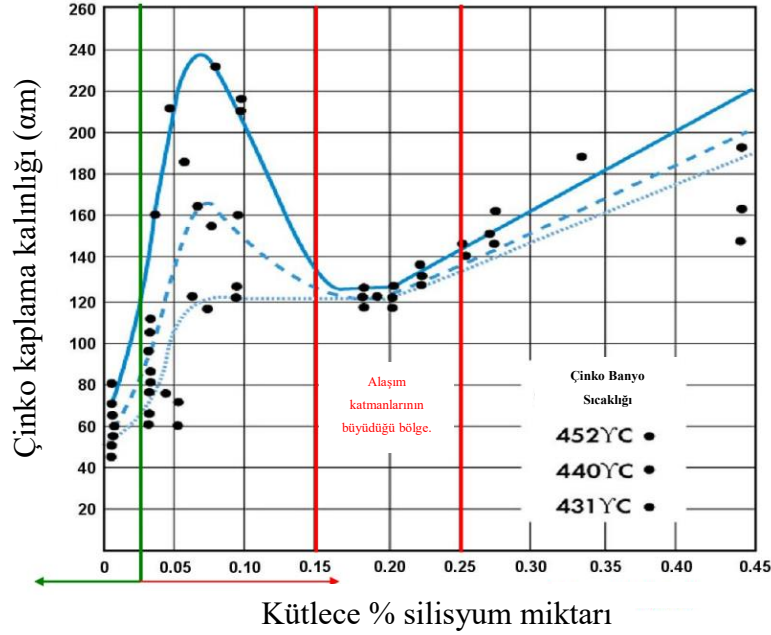
#### **4.2.5 Volfram (W)**

Çeliğin mukavemetini artıran bir elementtir. Kesici takımlarda kesici kenar sertliğini artırmak için kullanılmaktadır. Alaşımın içine belirli oranlarda eklenmesi kaynaklanabilme özelliğini artıracaktır. Karbür oluşumuna karşı eğilimli olduğundan yüksek sıcaklara dayanıklı çeliklerin yapımında kullanılır.

#### **4.2.6 Silisyum (Si)**

Silisyumun ilavesi, yapıdaki fiziksel dayanımı ve yoğunluğu artırır. Silisyum ve mangan, tüm çeliklerde bulunan bir alaşım elementidir. Çelik üretimi sırasında demir cevherinden veya fırın duvarındaki tuğlalardan çeliğin yapısına bir miktar silis kendiliğinden geçer. Silisyumun bulunması, esnekliği azaltır, %1-4 arasındaki yüksek miktarda bulunan silisyum içeriği, metalin sertleşmesine sebebiyet vermektedir. Sertleşmenin artması dövülebilirliği ve şekil verilebilme kabiliyetlerini azaltırken, çekme ve akma dayanımlarını olumlu yönde etkiler.

Silisyumun yüksek olması, galvaniz kaplamaya olumsuz yönde etki eder. Havuza daldırma işlemi gerçekleştiğinde çinko ile silisyum arasında hızlı tepkimler oluşur ve kırılğan mat, kalın bir kaplama oluşumu gözlemlenir. Bunun için daldırmanın en hızlı şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir. Alaşımında silisyumun %0.003 ile 0.12 arasında olması, sandalin etkisi yaratarak sıcak galvanizlemede kalın bir kaplama tabakası oluşturur. Sandalin etkisinin silisyum içeriğine göre kaplama kalınlığına etkisi Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Sandalin pikinin kaplama kalınlığına etkisi [27].

#### 4.2.7 Fosfor (P)

Fosfor elementi, hem çelik yapısı için hem de kaplama için zararlı bir elementtir. Fosfor ağırlıkça yüzdesi en fazla %0.030 ile 0.050 arasındadır.

Yüksek fosfor içeren çelikler galvaniz kaplamada çok fazla kullanılmaz. Bu çelikler galvanizleme için uygun değildir. Bu çeliklerin galvanizlenmemesinin en büyük sebebi çinko ile hızlı bir şekilde reaksiyona girerler ve kaplama çok kalın, kırılğan gri bir yapıda oluşur. Kaplama çok kolay bir şekilde zarar görüp dökülebilir. Bu sebeplerden dolayı fosfor oranı %0.04'ten küçük olan çeliklerde kaplama yapılabilir.



#### **4.2.8 Kükürt (S)**

Kükürt elementi, fosfor gibi çeliğin yapısında çok bulunması istenmez. Altlık malzemenin kırılğan ve haddelenmesini zorlaştıran bir yapıya dönüşmesini sağlar. Genellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılan makine parçalarında kullanılır. Yapıda kullanım sınırları ağırlıkça %0.025 ile 0.050 arasındadır.

Kükürt oranları fazla olan çeliklerin galvanizleme işlemlerine tabi tutulmaması gerekir. Kükürt, çinko ile bileşik oluşturarak yapıdan ayrılır ve üretilen ürünün parçalanmasına sebep olabilir. Buna maruz kalan ürünler işlevselliğini kaybederler ve kullanılamaz hale gelirler.

#### **4.2.9 Krom (Cr)**

Çeliğin yapısında bulunması, mukavemet özelliklerini artırıcı yönde etki yapar fakat bir miktar esnekliği azaltabilir. Isıya karşı yapının dayanımını artırırken dış kısımda soğuma esnasında kabuk yapmayı önler ve kromun yüksek oranlarda bulunması, yapının korozyon direncini artırıcı yönde etki eder.

Yapısal olarak yüksek krom ve nikel içeren içerikler galvanizleme işlemlerine başlandığında çinko banyosu içinde gevreklikten dolayı kolayca etkilenebilirler. Çıkarıldıktan sonra istiflenme sırasında yapılarında çatlamlar ve kırılmalar gözlemlenmektedir.

#### **4.2.10 Nikel (Ni)**

Nikel, yapıya katıldığında silisyum ve mangana kıyasla kaplama kalınlığını daha az artırır. Çelikte nikel, kromla birlikte kullanıldığında yapısal sertliğin kesitte daha derinlere inmesine olanak sağlar. Nikel, kabuklanmayı önleyerek ısıya dayanımını artırıcı özelliklere sahiptir. Korozyon direncini de artırıcı etkisi vardır.

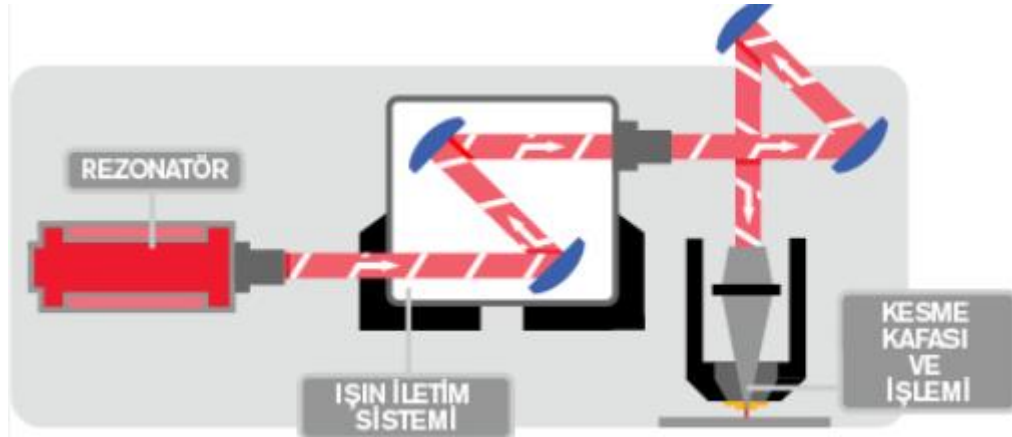
## 5. SAC METAL ŞEKİLLENDİRMEDE MEKANİK İŞLEMLER

### 5.1 Lazer ile Kesim Yöntemi

Lazer ile kesim, ürünlerin istenilen ölçülerde yüksek hassasiyet, verimlilik ve hız ile üretilmesini sağlayan bir üretim yöntemidir. Endüstriyel üretim alanlarında çok yaygın bir biçimde kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Ahşap, plastik, metal ve benzeri malzemelerin yüksek hassasiyetle üretilmesinde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Üretimde çok hassas ürünlerin kesimi ve spesifik parçaların kesim gereksinimlerinde üstün bir üretim yöntemidir. Lazer makinesinin ışın üretimi Şekil 5.1’de verilmiştir.

Lazer ile kesim çalışma prensibi başlıklar şeklinde incelendiğinde şu şekildedir:

- Lazer ışının oluşturulması,
- Lazer ışınının yönlendirilmesi,
- Işın odaklama sistemi,
- Ürünün kesimi,
- Kesim hareket kontrolü.



Şekil 5.1: Lazer ışının üretim şeması [28].

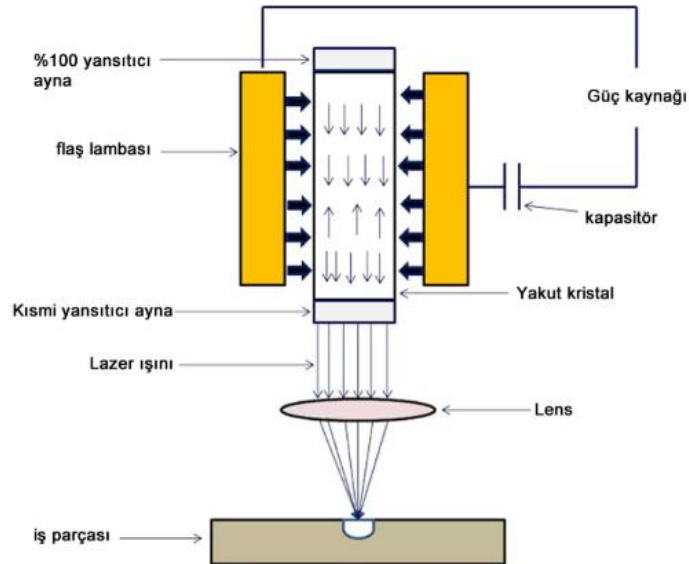
İlk olarak, kesim işlemi makinede bulunan rezonatörler ile lazer ışınının yüksek bir enerji vasıtası ile üretilmesiyle başlar. Bu ışın makinedeki rezonatörlerin içinde bulunan diyotlar ile oluşturulur. Diyottan elektrik akımı geçirilerek ışın yayını elde edilmiş olur.

Oluşan yüksek enerjili ışın, fiber optik cam kablolar ile taşınır. Fiber optik kablo çok dar bir kesite sahiptir ve içinde optik camlar bulundurarak ışığın yansıtılarak taşınmasını sağlar. Kablo boyunca hareketi sağlanan ışın odaklama merkezine bu sayede ulaşmış olur.

Kesim işlemi, üretilen lazer ışınının bir noktaya odaklanması ile gerçekleştirilir. Yüksek enerjili ışını odaklamak için bir veya birden fazla optik mercekler kullanılır. Odaklanan ışın bir noktada toplandığı için toplanılan noktada yüksek yoğunluklu bir ışın noktası oluşur. Odaklama sistemi Şekil 5.2’de verilmiştir.

Işın bir noktaya yoğun bir şekilde odaklandıktan sonra, kesilecek malzemenin molekülleri bu yüksek enerjiye dayanamaz ve parçalanmaya başlayarak kesim işleminin gerçekleşmesi sağlanır. Yüksek enerjili lazer ışınının kesilecek malzeme ile etkileşime girmesi sonucunda malzemenin odaklanılan kısmında buharlaşmasıyla, yanmasıyla veya erimesiyle kesim gerçekleşir.

Bu kesme işleminin kontrolü için genellikle bir CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) sistemi kullanılır. Kullanılan bu sistem, üretim için tasarlanan parçanın deseninin veya şeklini oluşturmak için lazerin servo motorlarının hareketini kontrol eder. Tasarımda belirlenen desenler, entegre CNC sistemi ile lazer hareketlerine dönüştürülür.



Şekil 5.2: Lazer kesim kafasının şematik gösterimi [29].

Lazer ile kesim, farklı malzemelerde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Sanayide yaygın olarak kullanılan malzemeler ve lazer ile kesim uygulamaları şunlardır:

Otomotiv Endüstrisi: Şasi parçaları, gövde parçaları, iç aksam ürünleri, egzoz ürün bileşenlerinde ve hassas kesimlerde kullanılmaktadır.

Makine İmalatı: Özel makine parçalarının üretiminde, spesifik geometriye sahip parçaların üretiminde, özel kesme ve şekillendirme işlemlerinde, hassas makine parçalarının kesimlerinde kullanılır.

Elektronik Endüstrisi: Devrelerde kullanılan kartların kesimlerinde, elektrikli bağlantılarda, sensörlerin hassas parçalarında yüksek hassasiyetle kesimleri gerçekleştirilir.

Reklam ve tabela sektöründe: Reklam panoları, reklam tabelaları, dekoratif kesim işlemlerinde bu üretim yöntemi kullanılır.

Havacılık ve uzay sektöründe: Alüminyum ve titanyum gibi malzemelerden üretilen hassas ölçekli parçaların üretiminde kullanılır.

Lazer ile kesim yöntemi, bu örneklerde ve kullanılan malzemeler dışında, farklı malzemelerle de kullanılabilir. Sanayide kullanılan üretimlerde ve proje bazlı üretimlerde lazer ile kesimin çeşitli malzemelerdeki uygulamaları gelişmektedir.

Lazer ile kesim yönteminin avantajları şunlardır:

- Lazer ile kesim, diğer kesim yöntemlerine göre yüksek kesim hızlarına sahiptir ve bu özellik, üretim yönteminin verimliliğini artırarak iş parçalarının hızlı bir şekilde işlenmesini sağlar.
- Lazer ile kesim, kesim sırasında yüksek hassasiyetle kesim yapılmasını sağlar. Bu özellik, spesifik, karmaşık yapıdaki tasarımların düzgün bir biçimde kesilmesini sağlar.
- Lazer ile kesim, kesilen üründe pürüzsüz ve temiz yüzeylerin oluşmasını sağlar. Ürün kesimleri bittikten sonra ek işlemlere gerek kalmaz ve üretim sürecinin basitleştirilmesini sağlar.

- Lazer ile kesim, kesim sırasında kesilen ürünlerin termal etkileşimlerini minimumda tutarak kesim işlemini tamamlar. Bu durum, hassas ürünler için önemlidir.
- Lazer ile kesim, farklı malzemeler ve farklı kalınlıklarda kesimler yapılabilir. Kesim skalası geniştir ve kesim parametreleri hafızada saklanabilir.
- Lazer ile kesim, diğer kesim yöntemlerinde oluşan atık ve fire oranları karşılaştırıldığında daha düşüktür ve daha çevreci bir yöntemdir.
- Lazer ile kesim makineleri işçi müdahalesini azaltır ve operatörlerin iş yükünü hafifleterek daha verimli bir üretim süreci geçirilmesini sağlar.

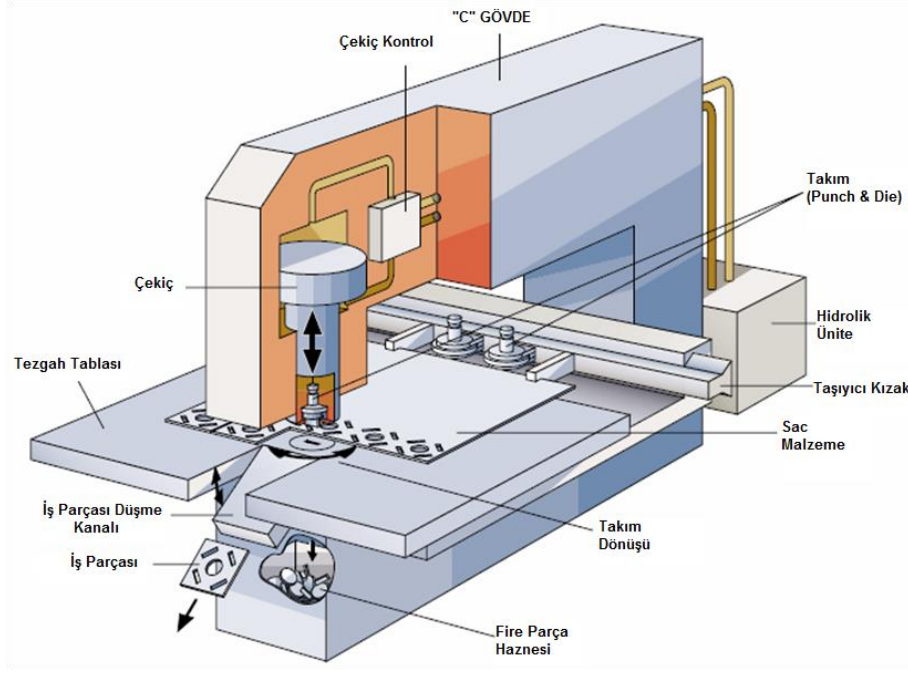
Açıklanan avantajlar, lazer ile kesimin endüstriyel üretimde kullanılmasının temel nedenlerini oluşturur. Yüksek hız, hassasiyet, temiz kesim yüzeyleri ve çevre dostu yaklaşım gibi özellikler, fiber lazerin birçok uygulamada tercih edilmesini sağlar.

## **5.2 Punch ile Kesim Yöntemi**

Metalden veya plastik malzemelerden oluşturulan levhaların kesilerek veya delinerek şekillendirilmesiyle oluşturulan bir kesim yöntemidir. Çoğunlukla mekanik veya hidrolik olarak güç kullanan sistem levhalara oluşturulan desenleri işlemek ve delik açmak için kullanılır.

Kesim işleminin başlatılmasının ilk adımı, kesilecek levhanın hazırlık işlemidir. Levha istenilen boyutlara indirgenir ve punch makinesinin kısıkaçlarına takılır. Takılma işleminden önce yüzey ile bir işlem yapılacak ise levha yüzey temizleme işlemleri uygulanabilir.

Kesimin gerçekleşmesi için kesici takım olarak istenilen zımba ve matris seçilir. Zımba ve matris, delme işleminin gerçekleşmesi için gerekli olan kesici takımlardır. Zımba ve matris, punch makinesinde bulunan taretlere takılır. Zımba kesim veya delim işlemi için kesilecek plakanın yüzeyine doğru ilerletilir. Matris, zımbadan gelen kuvveti karşılayarak kesim işleminin gerçekleşmesini sağlar. Punch makinesi ve kesim işlemi Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3: Punch makinesi kesim işleminin şematik gösterimi [30].

Bu şekilde zımba, sabit bir kuvvet etkisi ile ürünün delme veya kesme işlemi uygular. Oluşturulan süreç, kesilen ürünün istenilen şekilde delinmesini veya kesilmesini sağlayarak tekrar edilir.

Punch makinesi kesimi, ürünlerin seri ve yüksek verimli işlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Sanayide ürünlerin işlenmesinde sıklıkla kullanılır ve yüksek hacimli üretimlerde maliyet açısından iyi bir sonuç sağlar.

Punch ile kesim farklı malzemelerde uygulanabilir, bu uygulamalar şu şekildedir:

- Otomotivde, araç şasilerinde parçaların delinmesinde ve şekillendirilmesinde,
- Alüminyum plakalardan uçak şasilerinin üretiminde,
- Paslanmaz çelik malzemelerden mutfak ve ev aletlerinin parçalarının yapımında kullanılır.

Aynı şekilde, endüstrilerde ahşap, ABS, PVC, polikarbonat, kauçuk, kağıt gibi malzemelerle de kesim ve delme işlemleriyle ürünlerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu geniş yelpaze, punch kesiminin etkin bir üretim yöntemi olarak kullanıldığının bir göstergesidir.

Punch ile kesim yapmanın avantajları ve üretimde kullanılmasının temel sebepleri şu şekildedir:

- Punch ile kesim, seri bir şekilde ürün işleme kabiliyeti sağlar. Delinecek ürünler hızla delinir veya şekillendirilir. Üretim süresinin kısalmasına sebep olur ve verimliliği artırır.
- Punch ile kesim, farklı kesim yöntemlerine göre maliyet açısından daha düşüktür. Hacimsel olarak büyük üretim kapasitelerinde maliyet düşüşlerine sebep olur ve genel üretim maliyetlerini azaltır.
- Punch ile kesim, hassasiyeti yüksek bir kesim yöntemidir. Bu sayede kesim ve delme sırasında tekrar edilebilir sonuçlar elde edilir.
- Punch ile kesim, geniş ürün yelpazesi ile farklı malzemelerde kesim işlemi gerçekleştirilebilir. Farklı desenler ve şekillendirme işlemleri yapılabilir, bu özellik çeşitli uygulamalarda kullanımını sağlar.
- Punch ile kesim, büyük işlem hacmine sahip işletmeler için iyi bir çözüm yöntemidir. Kesintisiz ve sürekli üretim sağlayarak toplam üretim kapasitesini artırır.
- Punch ile kesim, bakım maliyetleri çok düşüktür ve az bakım içeren makinelerdir. İşletmedeki bakım maliyetlerinin düşmesine sebep olurlar.
- Punch ile kesim, düzgün ve temiz kesilmiş yüzeyler sağlar ve sonraki işlemler için hazır olmasını sağlar.

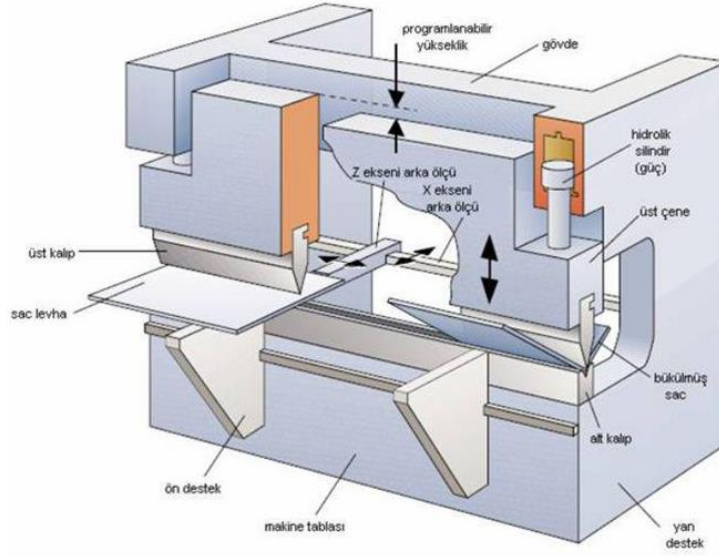
Bu maddeler, punch makinesi ile üretimin sanayide yaygın olarak kullanılmasının nedenlerini oluşturur. Bu özelliklerle birlikte punch ile kesimin birçok alandaki uygulamada tercih edilmesini sağlar.

### **5.3 Abkant Büküm**

Abkant, metal sac levhaların bükülerek soğuk şekillendirilmesinde kullanılan bir üretim yöntemidir. Yöntem, sac levhaların istenilen açılarda ve istenilen noktalardan bükülmesiyle parçaların üretiminde kullanılır.

Abkant ile üretim yöntemi inşaat, mobilya, elektronik ve otomotiv gibi sektörlerinde metal parçaların şekillendirilmesinde kullanılır. Abkant büküm işlemleri levhaların şekillendirilmesi ve bükülmesini gerektirdiğinde, diğer yöntemlere göre maliyet ve

verimlilik açısından iyi sonuçlar verir. Abkant makinesi ve çalışma prensibi Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.4:** Abkant makinesi çalışma prensibinin şematik gösterimi [31].

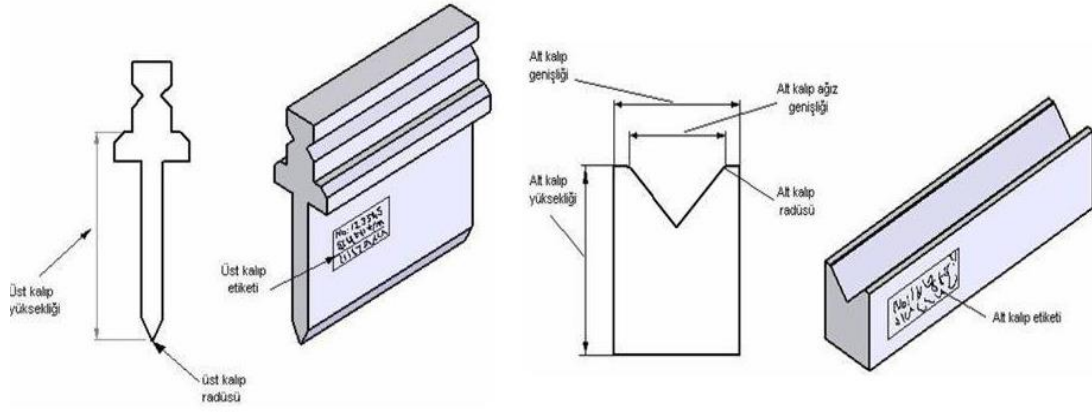
Abkant makinesinin temel işleyişi ve bileşenleri şu şekildedir:

**Üst ve alt kollar:** Abkant makinelerinde bulunan üst kollar hidrolik silindirlere olmaktadır. Bu silindirler bükme işlemi için istenilen gücü oluşturmak amacıyla kullanılır. Alt kollar ise bu silindirlerin kuvvetlerine karşılık büküm kalıbını tutmak ve silindir kuvvetlerini karşılamak görevini üstlenirler.

**Büküm kalıpları:** Abkant makinesinde, sac levhayı şekillendirmek amacıyla büküm kalıpları kullanılır. Kullanılan bu kalıplar Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Büküm sırasında sac levha istenilen şeklini alır ve sac levha yüzeyini korur.

**Basınç sistemi:** Abkant makinesinde büküm için oluşturulması gereken kuvvetlerin oluşumunu sağlayan sistemdir. Bu sistemler hem hidrolik hem de mekanik sistemler kullanılarak basınç oluşumunu sağlar.



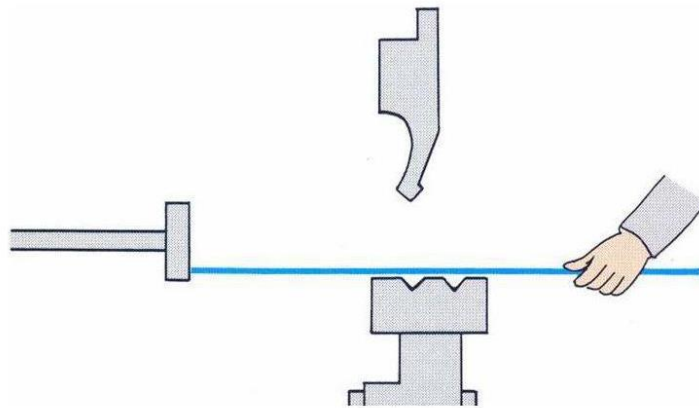


**Şekil 5.5:** Abkant şekillendirme kalıpları [32].

**Kontrol paneli:** Kontrol paneli, büküm işlemlerinde istenilen şartların sağlanması için girilen bilgileri kapsar. Panele basınç gücü, büküm açısı ve dayama stop noktaları girilerek istenilen bükümlerin gerçekleştirilmesini sağlar.

**Güvenlik sistemleri:** Makine kullanımında operatörün güvenliği için kullanılan sistemlerdir. Bunlar koruma kalkanları, acil stop düğmeleri ve lazer sensörlerini içerir.

**Destek ve stoplar:** Abkant makinelerinde doğru noktalardan büküm yapılabilmesi için destek tablaları ve stoplar kullanılmaktadır. Bu sistemler, bükülecek olan sac levhanın sabitlenmesini sağlar. Şekil 5.6'da stop sistemi gösterilmiştir. Bu sistemler, hidrolik veya mekanik uygulamalar ile makineye entegre edilerek hassas ve tekrarlanabilir sonuçların elde edilmesini sağlar.



**Şekil 5.6:** Abkant destek tablasına ürünün dayanması [33].

Abkant makinesinde bir büküm işleminin gerçekleşme süreci şu şekildedir:

- Sac levhanın istenilen boyutlarda ve istenilen deliklerin açılmasıyla büküm boyutlarına getirilmesiyle başlar.
- İstenilen büküm için üst ve alt kalıplar seçilerek makineye takılır. Takım seçiminde büküm açısı dikkate alınarak takım seçimi yapılır.
- Sac levha abkant makinesinin üst ve alt kolları arasına yerleştirilerek hizalama işlemi gerçekleştirilir.
- Kontrol panelinden istenilen değerlerdeki büküm için parametreler girilir. Bu parametreler her istenilen farklı büküm açısı için değişmektedir.
- Makine çalıştırılarak büküm işlemi başlatılır. Üst kollar istenilen açıyı vermek için sac levha üzerine baskı uygularken, alt kollarda bu kuvvete karşılık alt kalıbı tutarak istenilen açı oluşturulur.
- Yapılan büküm açıları kontrol edilir ve düzeltme gerekiyorsa, tekrar parametre ayarları değiştirilerek büküm işlemi tekrarlanıp düzeltilir.
- Büküm tamamlandıktan sonra ürünün diğer işlemlerinin yapılması için ürün işleneceği yere gönderilir.

Abkant makinesinde, bir sac levhanın büküm adımları bu şekildedir. Ürün için ayarlar yapıldıktan sonra seri ve tekrarlanabilir basımlar elde edilir.

Abkant makinesi ile büküm işleminin avantajları şu şekildedir:

- Abkant ile büküm farklı malzemelere ve farklı kalınlıklara uygulanabilir. Metal sac levhaların yanı sıra plastik, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi malzemelere uygulanabilir.
- Abkant makinesi tekrarlanabilir ve yüksek hassasiyetli parçaların üretimini gerçekleştirebilir. Üretim sürecinde güvenilir verilerin alınmasını sağlar.
- Otomobil, mobilya, inşaat ve metal işleme gibi birçok sektörde geniş bir uygulama alanına sahiptir.
- Yüksek verimli makinelerdir, otomasyon sistemleri sayesinde seri ve sürekli üretim yapılabilir. Üretim sürelerinin azalması ve maliyet düşümünde rol oynarlar.

- Sac levhaların düzgün ve estetik bükülmesini sağlayarak görünüş ve kalitede önemli bir adım atılmasına olanak tanır. Müşteri memnuniyetini artırır.

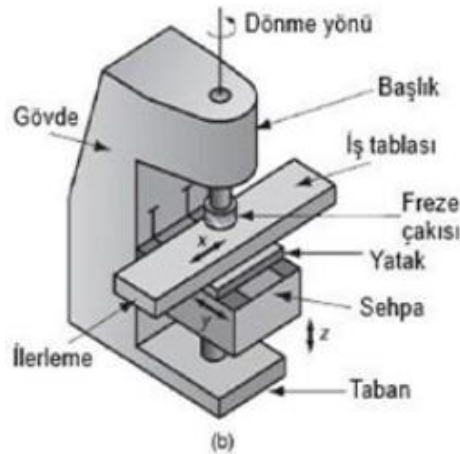
Bu özellikler ve avantajlar, abkant makinesi ile üretimi diğer yöntemlere göre önemli ölçüde artırır. Öncelikli olması, sanayide çok geniş alanlarda kullanılmasını sağlamaktadır.

#### 5.4 Frezeleme

Frezeleme işlemi, işlem görecektürün üzerinde delme, oyma, kesme ve yüzey şekillendirme işlemlerinin talaş kaldırılarak yapıldığı metal işleme yöntemidir. Döner bir kesici takım ile malzeme üzerinde istenilen şekillendirme işlemi yapılır.

Freze ucundaki kesici takım belirli bir hız ile dönerken malzeme üzerinde ilerleme hareketi yaparak kesim işlemini gerçekleştirir. İşlem görecektür malzeme freze tablasında sabitlenmiş bir şekilde ve kesici takım, istenilen kesme hareketini yaparken malzeme üzerinde hareket eder. Freze makinesi şeması Şekil 5.7’de verilmiştir. Bu üretim süreci istenilen şekil, boyut ve yüzey kalitesine sahip parçaların üretilmesini sağlar.

Frezeleme işlemi farklı malzeme türlerine uygulanabilir; bunlar ahşap, plastik, kompozit malzemeler ve daha fazlasını içerir. Farklı malzemeler işlem görürken kesici uçlar malzeme türüne göre değişiklik gösterebilir.



Şekil 5.7: Freze makinesinin şematik gösterimi [34].

Frezeleme işlemindeki avantajlar şu şekildedir:

- Parçaların tekrarlanabilir işlemlerinin yapılmasını mümkün kılar ve aynı zamanda yüksek hassasiyetle işlem yapılabilir.
- Birçok yüzey işleminin kesme, delme, oyuk açma ve diğer işlemlerin tek bir makinede yapılmasına olanak sağlar.
- Farklı türdeki malzeme ve ölçülerde uygulamalar için çeşitli freze uçları ve parametreleri kullanılır. Bu durum işlem yelpazesini genişletir.
- Frezeleme yüksek verimlilik sağlayan bir işlemdir. Tek bir işlem ile çok sayıda işlem yapılabilir, bu da üretim sürecini hızlandırarak toplam verimliliği artırır.
- Yeni işlenecek işlem parçasının ayarlanma gereksinimi azdır. Bu da işleme süresini azaltarak üretkenliğin artmasına sebep olur.

Freze kullanımı, sanayideki üretimlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir ve birçok sektörde parça üretimlerinde önemli bir işleme yöntemidir.

## 6. GALVANİZLİ SAÇLARDA KOROZYON OLUŞUMU

### 6.1 Korozyon

Dünya atmosferinde bulunan serbest bileşenlerin, metal yapılı ürünlerin kimyasal ya da elektrokimyasal olarak tepkimelere girmesiyle yapısında eksilmeler meydana gelmesine korozyon denir. Kimyasal yapılı korozyonlarda ortamda nem yoktur. Tepkime sonucu ortaya çıkan tabaka oksit tabakasıdır ve elektriksel iletkenliği sıfırdır. Elektrokimyasal korozyonda ortamda nem ve ıslaklık mevcuttur. Bu tepkimenin gerçekleşebilmesi için, ana mekanizması olan anot ve katottan oluşan iki elektrot, iletken ve sıvı bir ortam ve elektron geçişinin sağlanabilmesi için iki elektrot arasında akımın oluşabilmesi gerekmektedir. Oluşan bu sistemin adı galvanik hücre veya korozyon hücresidir.

Metallerin etrafındaki iyonlarla etkileşim haline girerek enerjilerinin fazlasını vermeleri ve kararlı bir hale gelmek istemeleri doğal bir olaydır. Metallerin bu şekilde doğal yollarla kararlı hale dönmek istemeleri, onların üretilirken harcanan emek ve enerjinin boşa gitmesine sebebiyet vermektedir. Ülkelerin sanayilerinde bu durum çok sık gözlenmektedir ve ülke bazında korozyon giderleri oldukça büyük miktarlardadır [8,14].

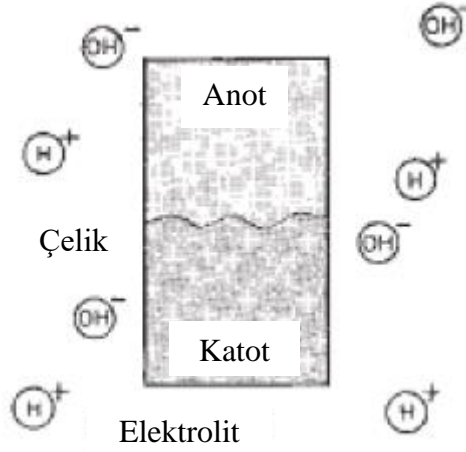
Bazı elementler ve alaşımlar, elektrokimyasal korozyona daha yatkındırlar. Bu tip elementler, korunmak istenen ürünün yüzeyini kaplayarak ana ürünün korunmasında rol oynarlar. Bu yöntem kurban anot seçimi adı verilir. Bu seçim, Tablo 6.1'deki metallerin elektrokimyasal dizilişlerine göre yapılır.

**Tablo 6.1:** Elementlerin elektrokimyasal potansiyelleri [8].

Metaller	Reaksiyonlar	Standart elektrot potansiyeli (volt)(redüksiyon)
Lityum	$\text{Li}^{+1} + e^{-} \leftrightarrow \text{Li}$	-3.03
Potasyum	$\text{K}^{+1} + e^{-} \leftrightarrow \text{K}$	-2.925
Sodyum	$\text{Na}^{+1} + e^{-} \leftrightarrow \text{Na}$	-2.713
Magnezyum	$\text{Mg}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Mg}$	-2.371
Alüminyum	$\text{Al}^{+3} + 3e^{-} \leftrightarrow \text{Al}$	-1.66
Çinko	$\text{Zn}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Zn}$	-0.763
Krom	$\text{Cr}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Cr}$	-0.74
Demir	$\text{Fe}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Fe}$	-0.44
Kadmiyum	$\text{Cd}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Cd}$	-0.402
Nikel	$\text{Ni}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Ni}$	-0.23
Kalay	$\text{Sn}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Sn}$	-0.14
Kurşun	$\text{Pb}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Pb}$	-0.126
Hidrojen	$2\text{H}^{+1} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{H}_2$	0
Bakır	$\text{Cu}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Cu}$	+0.33
Cıva	$\text{Hg}^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow \text{Hg}$	+0.792
Gümüş	$\text{Ag}^{+1} + e^{-} \leftrightarrow \text{Ag}$	+0.799
Platin	$\text{Pt}^{+3} + 3e^{-} \leftrightarrow \text{Pt}$	+1.2
Altın	$\text{Au}^{+3} + 3e^{-} \leftrightarrow \text{Au}$	+1.45

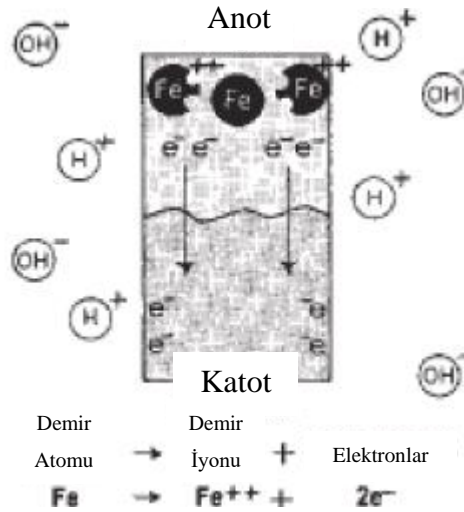
## 6.2 Çeliğin Korozyon Mekanizması

Çelikten üretilen ürün, yüzeyde bulunan nemden, ortamda bulunan elektrotlardan veya yüzeyde düzensiz olan kompozisyonundan dolayı elektriksel potansiyel farklılığı oluşur. Korozyon ortamındaki çeliğin görseli Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



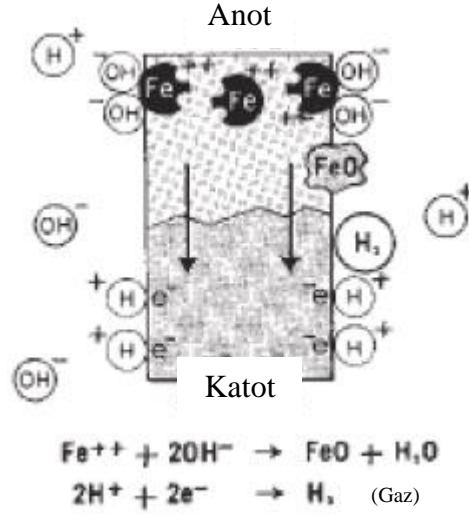
**Şekil 6.1:** Korozyon ortamında çelik [8].

Bu potansiyel farklılıktan dolayı elektron toplulukları, anottan katoda doğru yol alırlar ve anot bölgedeki demir elementi atomları pozitif yüklü iyonlar haline dönüşmeye başlarlar. Oluşum Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



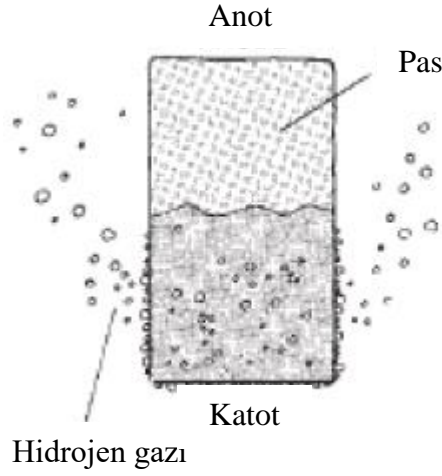
**Şekil 6.2:** Anot ve katot oluşumu [8].

Sıvı elektrolit ortamında pozitif yükle yüklenmeye başlayan demir iyonları, negatif hidroksil iyonları ile tepkimeye girerek demir oksit veya pas oluşumunu başlatır. Katotta birikmiş olan negatif elektron iyonları, pozitif yüklü hidrojen iyonları ile birleşerek hidrojen gazı oluşumuna destek sağlarlar. Oluşumun şematik gösterimi Şekil 6.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.3:** Korozyon ürünlerinin oluşumu [8].

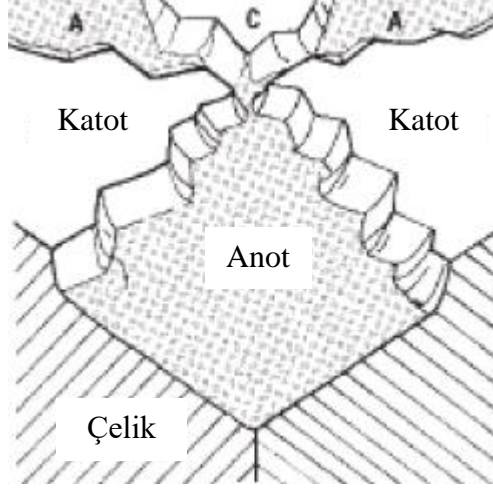
Bu korozyon sistemi şartlarında saniyede trilyonlarca reaksiyon gerçekleşir ve sonuç olarak anot bölgesinde pas tabakası gözle görülmeye başlar. Görünüm Şekil 6.4’de verilmiştir.



**Şekil 6.4:** Korozyona uğrayan metalin ortam görüntüsü [8].

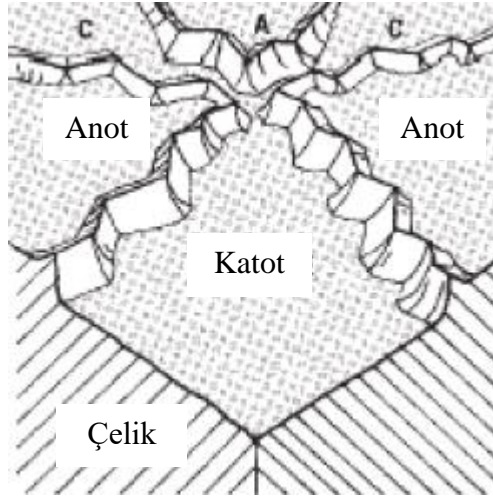
Çelik ürün üzerinde anot-katod elektrotlarının boyutları Şekil 6.5’de gözle görülebilir ölçüde gösterilmiştir. Yüzey, hafif bir büyütme ile çeliğin tabanına bağlı olarak anot ve katot girintileri ile çıkıntıları görülebilir. Korozyon, anottan katoda doğrudur.





**Şekil 6.5:** Korozyona uğrayan bölgelerin görünümü [8].

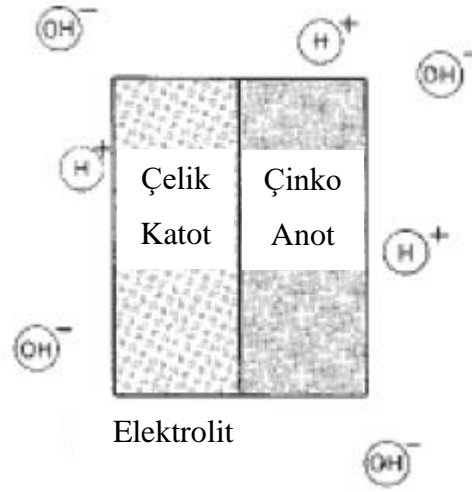
Anot tamamen paslandığında, diğer farklı yapıdaki ürünlerde paslanmaya başlar. Bunun sebebi, elektriksel potansiyel değişimlerinden dolayı anot ile katot arasındaki rol değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Rol değişimi Şekil 6.6'da gösterilmiştir. İşlem birden bire gerçekleşmez, korozyon oluşturmamayan bölgelerde gerçekleşir. Reaksiyonlar, çelik olan ürün tamamen bitene kadar devam eder.



**Şekil 6.6:** Katotların anoda dönüp korozyona uğradıklarının görünümü [8].

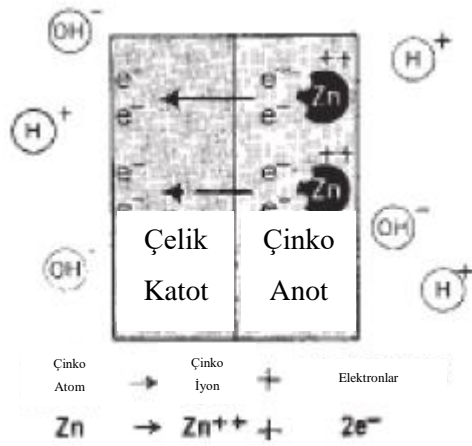
Çelik ve çinko birleşimli ürünlerde elektriksel potansiyel farklılığı bulunmaktadır. Çinko elementi, çeliği oluşturan elementlerden daha fazla elektriksel aktivasyonluğa sahiptir. Bu sebepten dolayı çinko, çelik için anot yapısı oluşturur. Yüzeyde anodik ve katodik yapıların

oluşumunu önleyerek çeliği korozyona karşı korur. Çinko kaplamanın çeliği koruması Şekil 6.7’de gösterilmiştir.



Şekil 6.7: Çinko kaplanmış çeliğin korozyon ortamı [8].

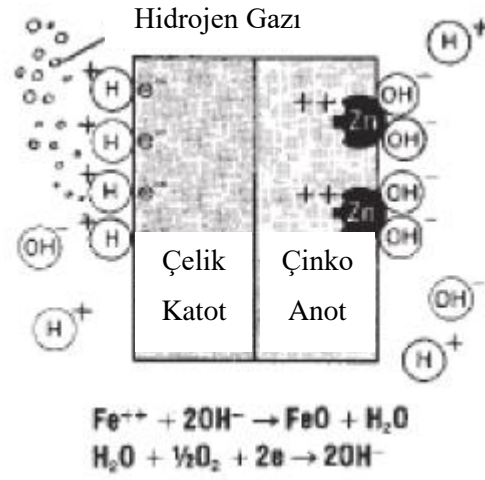
Çinko kaplamada bulunan elektronlar, anot olan çinkodan altlık malzeme olan çeliğe doğru, katoda doğru transfer olur ve kaplama olan çinko pozitif yüklenerek anot olur. Transfer işleminin gösterimi Şekil 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8: Kaplamadan çeliğe doğru elektron geçişi [8].

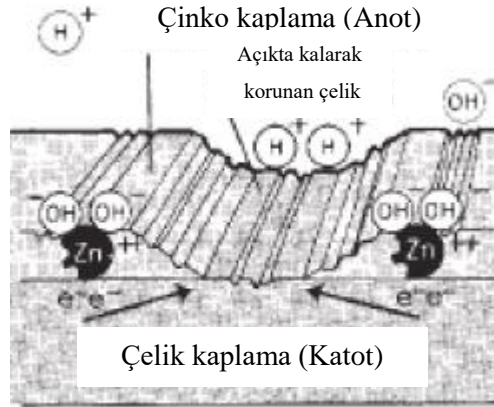
Ortamda bulunan negatif yüklü hidroksil iyonları, pozitif çinko iyonları ile reaksiyona girerler. Hidrojen iyonları katodik tarafa giderler ve çekilirler, ancak reaksiyon oluşturmazlar. Bu şekilde oluşan oluşumla birlikte çinko yüzeyden azalmaya başlar, fakat

çelik tarafında herhangi bir azalma gözükmez. Bu koruma yöntemi katodik koruma olarak tanımlanır. Katodik korumanın yapısı Şekil 6.9’da gösterilmiştir.



**Şekil 6.9:** Kaplamada oluşan korozyon mekanizması [8].

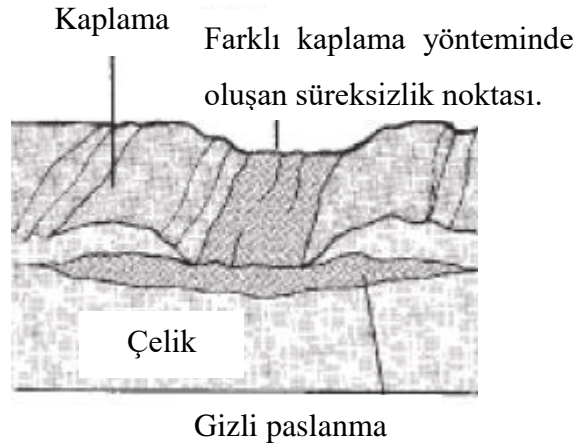
Çelik üzerinde kaplı olan çinkoda bozulma veya süreksizlik varsa, çinko tekrar harekete geçerek bölgede katodik korumasını gerçekleştirir ve çeliğin korozyona uğramasına izin vermez. Çinkonun bu hareketi Şekil 6.10’da gösterilmiştir.



**Şekil 6.10:** Galvaniz kaplamada düzensiz kaplama olan kısmın kaplama tarafından korunması [8].

Çinko ile kaplama yöntemi, boyama veya diğer organik kaplama yöntemlerine göre daha avantajlıdır. Diğer yöntemlerde oluşabilecek süreksizlikler çeliğin tümünün paslanmasına

sebepe olabilirken, çinko kaplamada oluşan süreksizliklerde böyle bir durum söz konusu değildir. Farklı kaplamalardaki gizli paslanma şekil 6.11’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.11:** Diğer kaplama yöntemlerinde oluşan süreksizlik [8].

### 6.3 Korozyona Karşı Alınması Gereken Önlemler

Korozyon, çelik yapıların bir hastalığıdır. Bu hastalıktan dolayı her yıl milyarlarca ton çelik hurdaya dönüşmektedir ve tekrar geri dönüşüm için yüksek miktarlarda enerji harcanmaktadır. Bunun önüne geçebilmek için korozyonun daha çok geciktirilmesi için bazı önlemler alınması, hem ülkemiz için hem de sürdürülebilir bir gelecek için önem arz etmektedir.

Bu önlemler şunlardır:

- Ürün tasarımlarının korozyon ortamına yol açıcı durumlardan kaçınarak yapılması,
- Ortamların korozif özelliklerini en aza indirmeye,
- Ürünlerin çinko gibi elementlerle yüzeyini kaplayarak korunmasını sağlama,
- Ürünleri katodik korumaya maruz bırakma,
- Korozyona karşı dirençli malzemeler kullanma.

Bu tarz önlemler alınarak hem geleceğimiz için hem de sürdürülebilir, yaşanabilir bir çevre için dünyamıza katkı sağlayabilir

#### 6.4 Korozyonun Hızı ve Önemi

Günümüzde artarak devam eden insani ihtiyaçlar ve sanayi ihtiyaçları enerji talebinin de artmasına sebep olmaktadır. Enerji talebinin karşılanabilmesi için kullanılan fosil yakıtlar vb. ürünler ciddi bir şekilde hava kirliliğinin de artmasına neden olmaktadır. Bu artışların olması, metal yapılar üzerindeki korozyon hızını da artırarak yapılar üzerinde hasarlara neden olmaktadır. Bu artışlar ise yapılar üzerindeki onarım ve bakım gibi iş gücü gerektiren faaliyetlerin artışına neden olmaktadır.

Atmosferde bulunan korozyon hızı, endüstriyel kirlenme derecesi ve meteorolojik olaylara bağlıdır. Korozyon şiddetlerine göre dört grup şeklinde sıralanabilirler. Hafif korozif atmosfer; nemsiz kırsal hava şartları bu sınıfta yer alır. Bu atmosferlerin karakteristik özellikleri şu şekildedir: yılda düşen yağış miktarı 300 mm'den az, bağıl rutubet oranı %50'den az, deniz çevresinden uzaklıkları en az 50 km ve çevresinde endüstriyel kirletici bulunmayan ortamlardır.

Orta korozif atmosfer; küçük miktarda endüstriyel kirletici bulunduğu yerleşim alanları bu sınıftadır. Bu ortamların karakteristik özellikleri şu şekildedir: yılda düşen yağış miktarı 300-1000 mm arasında, bağıl rutubet %50-65 aralığında, deniz çevresinden uzaklığı 15 km ve çevresinde ağır endüstriyel kirleticiler bulunmayan ortamlardır.

Korozif atmosfer; endüstriyel olarak kirlenmenin olduğu rutubet oranı yüksek atmosferlerdir. Bu ortamların karakteristik özellikleri şu şekildedir: yağış miktarı yıllık bazda 1000 mm'den fazla, bağıl rutubet oranı %50-80 bandında, ortamda yüksek oranda kükürt dioksit mevcuttur.

Şiddetli korozif atmosfer; endüstriyel olarak şiddetli şekilde kirlenmiş ve aşırı rutubetli ortamlardır. Bu sınıfın karakteristik özellikleri; denizden gelen rüzgarların etkisinde kalacak şekilde denize yakındırlar, bağıl rutubet oranları çok yüksektir, endüstriyel kirlenme oranları aşırı şekilde yüksektir. Atmosferlerdeki karakteristik özellikler sürekli olarak değişimlere uğrarlar. Bu özellikleri belirli sınırlar içinde tutmak sonuçlar için yanıltıcı olabilir. Hava olayları kısa zaman içinde değişiklik gösterebilir. Ortamı kirleten bileşenler ve cinsleri, yüzeyde bulunan tuzlar, kirlilikler ve bunların değişimleri çok önemlidir. Pratikte korozyonu önlemek amacıyla alınması gereken tedbirler için belirli kriterlerin olması gerekmektedir. Tablo 6.2'de farklı atmosfer için korozyon dereceleri ve korozyon hızları verilmiştir.

**Tablo 6.2:** Çeliğin farklı atmosferler içinde yıllık korozyon hızı [11].

Atmosfer cinsi	Koroziflik derecesi	Korozyon hızı (mm/y)
Kuru kırsal atmosfer, kuru endüstriyel atmosfer	Hafif korozif	1-5
Kırsal rutubetli atmosfer, şehir atmosferi	Orta korozif	10
Endüstriyel olarak kirlenmiş, rutubetli atmosfer	Korozif	20
Yoğun şekilde kirlenmiş deniz atmosferi	Şiddetli korozif	35

Oluşan atmosferik korozyon etkileri bir anda oluşan etkiler değildir. Yavaşça gerçekleşir ve sonucunda bakım giderleri gibi maliyetli sonuçlara yol açar. Atmosferik korozyonun hızı ürünlerin tasarımlarına, seçilen üretim malzemelerine, üretim yöntemlerine ve kalitesine bağlı olduğu gibi çevresel faktörlere de bağlıdır [11].

#### 6.4.1 Hava Rutubeti

Atmosferde bulunan hava içerisinde metallerin korozyonuna yol açacak tek bileşen su buharıdır. Su buharı doymun olmadığı halde bulursa bile, yine de korozyon oluşumu gerçekleşir ancak hızında bir düşüş meydana gelir. Bağıl nemin %70'in üzerinde olduğu durumlarda, gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkından dolayı metal yüzeyde yoğuşma gerçekleşir ve ince bir su filmi oluşur. %70-80 arası bağıl nemde korozyon hızında kesin bir artış gözlemlenir. Metal yüzeyinde toz veya çamur gibi bileşenler varsa, yoğuşan su buharının tutunmasını artırır ve korozyon hızının artmasında önemli bir rol oynar.

#### 6.4.2 Endüstriyel Kirlenme

Sanayileşme sonucunda, atmosfere üretim hatlarından birçok zehirli gaz salınmaktadır. Bu gazların bazıları atmosfere karışarak yok olmakta, bazıları ise havada su buharı ile birleşerek asit oluşturur ve asit yağmuru olarak yeryüzüne inerler. Asitleri oluşturan bileşik ise kükürt dioksittir. Özellikle deniz rüzgarları ile taşınan mikroskobik tuz parçacıklarının amonyak ve klorür metal yüzeylere çökmesi sonucu korozyon hızında artış gözlenir. Tablo 6.3'te atmosferik kirlenmeler ve yaz ve kış ayları için konsantrasyonları verilmiştir.

**Tablo 6.3:** Atmosferik kirleticiler ve tipik konsantrasyonları [11].

Kirleticiler	Yer	Konsantrasyon (mg/m <sup>3</sup> )	
Kükürt dioksit	Endüstriyel bölge	Kış	350
		Yaz	100
	Kırsal bölge	Kış	100
		Yaz	40
Amonyak	Endüstriyel bölge	Kış	4,8
	Kırsal bölge	Yaz	2,1
Klorür	Endüstriyel iç bölge	Kış	7,9
		Yaz	5,3
	Kırsal deniz kıyısı	Kış	57
		Yaz	18
Katı tanecikler	Endüstriyel bölge	Kış	250
		Yaz	100
	Kırsal bölge	Kış	60
		Yaz	15

#### 6.4.3 Sıcaklığın Etkisi

Bilindiği üzere, atmosferik korozyonun gerçekleşmesi için ortamda sıvı film bulunması gerekmektedir. Bu film ne kadar çok yüzeyde bulunursa, korozyon hızı o kadar yüksek olur. Bu filmi ortadan kaldıracak tek şey sıcaklıktır. Sıcaklığın varlığı ortamdaki su filminin buharlaşmasına sebep olur. Ortadan su filmi kalktıktan sonra ise korozyon yapısı bozulur ve yavaşlar. Korozyon en hızlı ılıman iklimlerde gerçekleşir.

Sürekli olarak değişen sıcaklık yoğunlaşmalara sebep olduğu için korozyon hızını olumlu yönde etkiler. Sıcaklığın aşırı yükselmesi korozyonu artırır, fakat bağıl nemi düşüreceği için korozyon hızında yavaşlama söz konusudur. Sıcaklık dengesi 30°C olarak belirlenebilir. Bu sıcaklık değeri korozyonun 10 kat arttığını gösterir.

#### 6.4.4 Yağışın ve Rüzgarın Etkisi

Atmosferik korozyonun gerçekleşebilmesi için suya kesinlikle ihtiyaç vardır. Yağan yağmurlar, havadaki nem miktarını artıracığından dolayı yağışların korozyon hızı ile doğru

orantılı bir grafiği vardır. Rüzgarlar, yüzeyde oluşan kirlerin ve su damlacıklarının kurumasına olanak sağlayacağından, rüzgar korozyon hızını ters yönde etkilemektedir.

## 6.5 Galvanizli Saclarda Korozyon

Galvanizli saclar korozyona uğradıklarında genellikle iki tip korozyon ürünü ortaya çıkar. Bu ürünler beyaz pas ve kırmızı pas olarak adlandırılır. Beyaz pas korozyon ürünleri tam olarak bilinmemektedir. Korozyon ürünleri genellikle çinko kaplamanın oksit, hidroksit, karbonat ve diğer bileşenlerinden oluşmaktadır. Kırmızı pas ürünleri ise altlık malzemenin oksitlenmesi sonucunda çıkan korozyon ürünüdür [11,17].

### 6.5.1 Beyaz pas

Sıcak daldırma galvanizleme sonucunda ürün soğumaya bırakıldığında, ürün üzerinde çinko elementinden kaynaklı ince bir oksit tabakası, hidroksit ve diğer bileşikler oluşur. Bu oluşumlar, korozyona karşı doğal bir bariyer görevi üstlenerek ürünü ve kaplamayı atmosferik korozyondan kısmen korur. Beyaz pas oluşumu Şekil 6.12’de gösterilmiştir.

Galvanizli saclar stoklanmadan önce dahi yüzeylerinde beyaz pas oluşumu gözlemlenebilir. Bunun sebebi, stok alanındaki veya sevk edilen yere kadar olan süreçte ani ısı değişimlerinden kaynaklanan yoğuşmanın sonucudur. Yüzeyde beyaz ufak lekeler oluşur ve bu oluşum, çinkonun oksitlenmesinden kaynaklanmaktadır. Gemi sevkiyatlarında maruz kaldıkları tuzlu su veya tuzlu su buharı, bu oluşuma olanak sağlar ve bu tip çevresel faktörler beyaz pas oluşumunda etkilidir.



**Şekil 6.12:** Galvanizli saclarda atmosferik koşullara bağlı beyaz pas oluşumu [35].



Galvanizli sacların kullanımı, galvaniz üzerine boyama işlemi yapılarak da gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin yapılmasından önce yüzeyde beyaz pas olup olmadığına çok dikkat edilmelidir. Aksi takdirde, beyaz pas varken boyanması halinde, yüzeyde bulunan beyaz pasın olduğu yerlerdeki boya katmanları gevşek bir zeminde olduğu için hızla atacaktır ve galvaniz tabakası açığa çıkacaktır.

### 6.5.2 Kırmızı Pas

Galvanizli saclarda kırmızı pasın oluşumunun gözlemlenebilmesi için korozyonun ya çinko tabakasını tamamen eritip bitirmesi ya da üretim sırasında noktasal veya çizikler halinde çinko tabakasının oluşmaması gerekmektedir. Bu kısımlardan korozyon ajanları altlık malzeme ile etkileşime geçerek demir oksit yani kırmızı pası oluşturarak altlık malzemenin korozyona uğramasına neden olurlar. Kaplama kalınlığı ne kadar fazla ise, kırmızı pas oluşma direnci de o kadar yüksek olmaktadır. Kırmızı pas oluşumu Şekil 6.13'de gösterilmiştir.



**Şekil 6.13:** Kırmızı pas oluşumu gözlemlenen galvanizli sac [36].

## 7. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 7.1 Numunelerin Hazırlanması

Numunelerin üretileceği DX51D ve DX52D sac levhalar 100 ve 275 g/m<sup>2</sup> olarak iki farklı galvaniz kaplama gramajında, Gökmetal Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ'den temin edilmiştir. Sac levhalar, 70x70 mm ebatlarında punch makinesi, lazer makinesi ve freze makinesinde kesilmiş, kesilen parçaların bazılarında dairesel ve kare şekilli delikler açılmıştır. Ayrıca bazı numunelere çeşitli açılarda bükme ile şekil verme işlemi abkant makinesi ile yapılmıştır. Kesme, delme ve bükme ile endüstride karşılığı olan geometrilerde üretilen numunelerin hepsi tuz sisi testine alınmıştır. Ayrıca, sadece kritik kesim ve büküm içeren numuneler yeniden hazırlanarak bunların atmosfer ve tavuk gübresindeki (gerçek dünya koşulları) korozyon davranışları incelenmiştir.

#### 7.1.1 Numunelerin Üretim Standartları, Kimyasal Bileşimleri ve Mekanik Özellikleri

Gökmetal Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ. tarafından temin edilen ürünler, Karadeniz Ereğli Demir Çelik Fabrikası'nda düşük karbonlu çeliklerden haddelenerek TS EN 10346 standartlarına göre sürekli sıcak daldırma prosesinde yüzeyleri çinko kaplama ile galvanizlenmiştir.

Test numunesinin hazırlanması için temin edilen test plakaları 1×500×1350 mm ölçülerinde DX51D+Z100, DX51D+Z275, DX52D+Z100, DX52D+Z275 kalite sac bobinlerinden kesilmiştir. Kaplama işlemleri sırasında banyo sıcaklıkları 455°C değerinde tutulmuştur. Sac bobinleri kaplama işlemi hızı 100 gr/m<sup>2</sup> için 180m/dakika iken 275 gr/m<sup>2</sup> için 150 m/dakikadır. Kaplama öncesinde yüzey temizleme işlemleri için sac bobinler %2'lik konsantrasyonda ki sodyum hidroksit püskürtme ve fırçalama ünitesinden geçirilmiştir. Daha sonrasında durulamaya girmişlerdir. Temizleme işlemleri sonrasında çelik levha yeniden kristalleşme sıcaklığının üstüne kadar tavlama fırınlarında 700°C'ye kadar ısıtılmış ve sonrasında soğutucular vasıtasıyla sıcaklığı 50°C/saat soğutma hızı ile 460°C indirgenerek çinko havuzuna daldırılmıştır.

Temin edilen dört farklı özellikteki çelik levha numunelerin mekanik işlemlerle üretilmesi için üretim sürecine alınmıştır. Bu ürünlerin kimyasal bileşimlerinin % ağırlık

ortalamalarının tespiti Gökmetal Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ. tarafından yapılarak Tablo 7.1’de, mekanik özellikleri Tablo 7.2’de verilmiştir.

**Tablo 7.1:** Deney numunelerinin kimyasal bileşimleri (% ağırlık).

Çelik	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Cu	Zn	Kalan
51/ 100	0.0451	0.0226	0.172	0.0180	0.0069	0.0284	0.0466	0.0290	0.0022	Fe
51/ 275	0.0454	0.0034	0.189	0.0133	0.0020	0.0146	0.0282	0.0119	0.0058	Fe
52/ 100	0.0394	0.1542	0.159	0.0917	0.0125	0.0332	0.0668	0.0403	0.0214	Fe
52/ 275	0.0397	0.135	0.176	0.087	0.0076	0.0194	0.0534	0.0232	0.0250	Fe

**Tablo 7.2:** Numune çeliklerin mekanik özellikleri.

Çelik kaliteleri	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama
DX51D+Z100	394	300	27.5
DX51D+Z275	372	300	30
DX52D+Z100	355	285	35
DX52D+Z275	335	280	37.5

### 7.1.2 Numunelerin Tasarlanması

Tuz sisi testi numuneleri, farklı bileşim ve kaplama çeşitliliğinden dolayı dört farklı gruba ayrılmıştır. Bu dört farklı grup içinde üretim yöntemi, delik çeşitliliği, büküm çeşitliliği gibi özellikleri değiştirilerek her gruptan 32 adet numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Gerçek dünya deneyinde ise bir takım kritik delik ve büküm koşullarında şartlar seçilerek bir grup için 9 adet numune üretimi gerçekleştirilecektir. Bu numuneler, atmosferik koşullara maruz bırakılacak, aynı numunelerden bir grup daha yapılarak ürünlerin sanayi koşullarında çalıştığı ortama (tavuk gübresine) maruz bırakılacaktır. Tek bir grupta 9 adet numune bulunacaktır. Üretilen numune gruplarının özellikleri, grup kodları tuz sisi deneyi ve gerçek dünya koşulları testi için Tablo 7.3’de verilmiştir.

**Tablo 7.3:** Tuz sisi deneyi ve Gerçek dünya koşulları deneyi numune grupları.

Deney grupları		Tuz sisi testi numunelerinin grup kodu	Atmosfere bırakılan numunelerin grup kodu	Ürünlerin çalışacağı ortama bırakılan grup kodu	
Kaplama kalitesine göre	DX51	Kaplama 100 gram	A	M	X
		gramajına göre 275 gram	B	N	Y
	DX52	Kaplama 100 gram	C	P	T
		gramajına göre 275 gram	D	R	Z

Numunelerin üretim yöntemleri, delik ve büküm şartlarının kodlanması Tablo 7.4'de belirtilmiştir.

**Tablo 7.4:** Numunelere uygulanacak üretim işlemlerinin sembolleri.

Mekanik işlemler		
İşlemin yapılacağı makine	Üretim işlemi	İşlem sembolü
Abkant	“L” Büküm	A <sub>0</sub>
	“U” Büküm	A <sub>1</sub>
	“Z” Büküm	A <sub>2</sub>
	“V” 60 ° Büküm	A <sub>3</sub>
	“V” 40 ° Büküm	A <sub>4</sub>
	Katlamalı Büküm	A <sub>5</sub>
	Çoklu büküm	A <sub>6</sub>
Freze	Yuvarlak delik delme	F <sub>0</sub>
	Slotlu delik delme	F <sub>1</sub>
	Çerçeve Kesim	L <sub>0</sub>
Fiber Lazer	Yuvarlak Delik Kesim	L <sub>1</sub>
	Kare Delik Kesim	L <sub>2</sub>
	Çerçeve Kesim	P <sub>0</sub>
Punch	Yuvarlak Delik Kesim	P <sub>1</sub>
	Kare Delik Kesim	P <sub>2</sub>

Üretim yöntemlerinin kodlanmasından sonra, 32 adet numuneye tek tek uygulanacak şekillendirme yöntemleri belirlenmiştir. Belirlenen bu yöntemler, sanayide kullanılan ürünlerin tasarımlarına benzerlik göstermesi amacıyla özellikle seçilmiştir. A grubunda bulunan tuz sisi testi için üretilecek 32 adet numuneye uygulanacak işlemler Tablo 7.5'de, B grubu numunelerinin işlemleri Tablo 7.6'da, C grubu numunelerinin işlemleri Tablo 7.7'de, ve D grubunun işlemleri Tablo 7.8'de verilmiştir.

**Tablo 7.5:** A grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.

Üretim yön.	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Numune kod.															
M <sub>1</sub>										X					
M <sub>2</sub>													X		
M <sub>3</sub>										X	X				
M <sub>4</sub>													X	X	
M <sub>5</sub>										X	X				
M <sub>6</sub>													X	X	
M <sub>7</sub>										X		X			
M <sub>8</sub>													X		X
M <sub>9</sub>	X									X					
M <sub>10</sub>	X									X	X				
M <sub>11</sub>	X									X	X				
M <sub>12</sub>	X												X	X	
M <sub>13</sub>	X									X		X			
M <sub>14</sub>	X												X		X
M <sub>15</sub>		X								X					
M <sub>16</sub>		X								X	X				
M <sub>17</sub>		X								X		X			
M <sub>18</sub>		X								X	X				
M <sub>19</sub>		X								X		X			
M <sub>20</sub>			X							X					
M <sub>21</sub>			X							X	X				
M <sub>22</sub>			X							X		X			
M <sub>23</sub>			X							X	X				
M <sub>24</sub>			X							X		X			
M <sub>25</sub>							X			X					
M <sub>26</sub>				X						X					
M <sub>27</sub>					X					X					
M <sub>28</sub>						X				X					
M <sub>29</sub>		X				X				X					
M <sub>30</sub>								X		X					
M <sub>31</sub>									X	X					
M <sub>32</sub>								X		X					

**Tablo 7.6:** B grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.

Üretim yön.	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Numune kod.															
M <sub>33</sub>										X					
M <sub>34</sub>													X		
M <sub>35</sub>										X	X				
M <sub>36</sub>													X	X	
M <sub>37</sub>										X	X				
M <sub>38</sub>													X	X	
M <sub>39</sub>										X		X			
M <sub>40</sub>													X		X
M <sub>41</sub>	X									X					
M <sub>42</sub>	X									X	X				
M <sub>43</sub>	X									X	X				
M <sub>44</sub>	X												X	X	
M <sub>45</sub>	X									X		X			
M <sub>46</sub>	X												X		X
M <sub>47</sub>		X								X					
M <sub>48</sub>		X								X	X				
M <sub>49</sub>		X								X		X			
M <sub>50</sub>		X								X	X				
M <sub>51</sub>		X								X		X			
M <sub>52</sub>			X							X					
M <sub>53</sub>			X							X	X				
M <sub>54</sub>			X							X		X			
M <sub>55</sub>			X							X	X				
M <sub>56</sub>			X							X		X			
M <sub>57</sub>							X			X					
M <sub>58</sub>				X						X					
M <sub>59</sub>					X					X					
M <sub>60</sub>						X				X					
M <sub>61</sub>		X				X				X					
M <sub>62</sub>								X		X					
M <sub>63</sub>									X	X					
M <sub>64</sub>								X		X					

**Tablo 7.7:** C grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.

Üretim yön.	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Numune kod.															
M <sub>65</sub>										X					
M <sub>66</sub>													X		
M <sub>67</sub>										X	X				
M <sub>68</sub>													X	X	
M <sub>69</sub>										X	X				
M <sub>70</sub>													X	X	
M <sub>71</sub>										X		X			
M <sub>72</sub>													X		X
M <sub>73</sub>	X									X					
M <sub>74</sub>	X									X	X				
M <sub>75</sub>	X									X	X				
M <sub>76</sub>	X												X	X	
M <sub>77</sub>	X									X		X			
M <sub>78</sub>	X												X		X
M <sub>79</sub>		X								X					
M <sub>80</sub>		X								X	X				
M <sub>81</sub>		X								X		X			
M <sub>82</sub>		X								X	X				
M <sub>83</sub>		X								X		X			
M <sub>84</sub>			X							X					
M <sub>85</sub>			X							X	X				
M <sub>86</sub>			X							X		X			
M <sub>87</sub>			X							X	X				
M <sub>88</sub>			X							X		X			
M <sub>89</sub>							X			X					
M <sub>90</sub>				X						X					
M <sub>91</sub>					X					X					
M <sub>92</sub>						X				X					
M <sub>93</sub>		X				X				X					
M <sub>94</sub>								X		X					
M <sub>95</sub>									X	X					
M <sub>96</sub>								X		X					



**Tablo 7.8:** D grubuna uygulanan mekanik işlemler ve numune kodlaması.

Üretim yön.	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	F <sub>0</sub>	F <sub>1</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Numune kod.															
M <sub>97</sub>										X					
M <sub>98</sub>													X		
M <sub>99</sub>										X	X				
M <sub>100</sub>													X	X	
M <sub>101</sub>										X	X				
M <sub>102</sub>													X	X	
M <sub>103</sub>										X		X			
M <sub>104</sub>													X		X
M <sub>105</sub>	X									X					
M <sub>106</sub>	X									X	X				
M <sub>107</sub>	X									X	X				
M <sub>108</sub>	X												X	X	
M <sub>109</sub>	X									X		X			
M <sub>110</sub>	X												X		X
M <sub>111</sub>		X								X					
M <sub>112</sub>		X								X	X				
M <sub>113</sub>		X								X		X			
M <sub>114</sub>		X								X	X				
M <sub>115</sub>		X								X		X			
M <sub>116</sub>			X							X					
M <sub>117</sub>			X							X	X				
M <sub>118</sub>			X							X		X			
M <sub>119</sub>			X							X	X				
M <sub>120</sub>			X							X		X			
M <sub>121</sub>							X			X					
M <sub>122</sub>				X						X					
M <sub>123</sub>					X					X					
M <sub>124</sub>						X				X					
M <sub>125</sub>		X				X				X					
M <sub>126</sub>								X		X					
M <sub>127</sub>									X	X					
M <sub>128</sub>								X		X					

Gerçek dünya testi numunelerinin hazırlanmasında izlenen yol, tuz sisi testi numunelerinin hazırlanmasıyla aynıdır. 32 adet hazırlanan numune içerisinde en kritik ve spesifik olan parçalar seçilmiştir. Bu parçalar bir grup için toplamda 9 adettir. Gerçek dünya testi için dört farklı kaplama çeşidinde, her kaplama için iki ayrı ortam seçilmiş ve her ortam için 9 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin her grup için mekanik işlemleri ve numunelerin kodlaması Tablo 7.9-7.16 arasında verilmiştir.

**Tablo 7.9:** M grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Üretim yön.											
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
Numune kod.											
H <sub>1</sub>								X			
H <sub>2</sub>								X	X		
H <sub>3</sub>	X							X	X		
H <sub>4</sub>	X							X	X		
H <sub>5</sub>					X			X			
H <sub>6</sub>				X				X			
H <sub>7</sub>			X					X		X	
H <sub>8</sub>						X		X			
H <sub>9</sub>							X	X			

**Tablo 7.10:** N grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Üretim yön.											
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
Numune kod.											
H <sub>10</sub>								X			
H <sub>11</sub>								X	X		
H <sub>12</sub>	X							X	X		
H <sub>13</sub>	X							X	X		
H <sub>14</sub>					X			X			
H <sub>15</sub>				X				X			
H <sub>16</sub>			X					X		X	
H <sub>17</sub>						X		X			
H <sub>18</sub>							X	X			

**Tablo 7.11:** P grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Numune kod.	Üretim yön.										
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
H <sub>19</sub>								X			
H <sub>20</sub>								X	X		
H <sub>21</sub>	X							X	X		
H <sub>22</sub>	X							X	X		
H <sub>23</sub>					X			X			
H <sub>24</sub>				X				X			
H <sub>25</sub>			X					X		X	
H <sub>26</sub>						X		X			
H <sub>27</sub>							X	X			

**Tablo 7.12:** R grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Numune kod.	Üretim yön.										
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
H <sub>28</sub>								X			
H <sub>29</sub>								X	X		
H <sub>30</sub>	X							X	X		
H <sub>31</sub>	X							X	X		
H <sub>32</sub>					X			X			
H <sub>33</sub>				X				X			
H <sub>34</sub>			X					X		X	
H <sub>35</sub>						X		X			
H <sub>36</sub>							X	X			

**Tablo 7.13:** X grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Numune Kod.	Üretim yön.										
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
H <sub>37</sub>								X			
H <sub>38</sub>								X	X		
H <sub>39</sub>	X							X	X		
H <sub>40</sub>	X							X	X		
H <sub>41</sub>				X				X			
H <sub>42</sub>					X			X			
H <sub>43</sub>			X					X		X	
H <sub>44</sub>						X		X			
H <sub>45</sub>							X	X			

**Tablo 7.14:** Y grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Numune kod.	Üretim yön.										
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
H <sub>46</sub>								X			
H <sub>47</sub>								X	X		
H <sub>48</sub>	X							X	X		
H <sub>49</sub>	X							X	X		
H <sub>50</sub>					X			X			
H <sub>51</sub>				X				X			
H <sub>52</sub>			X					X		X	
H <sub>53</sub>						X		X			
H <sub>54</sub>							X	X			

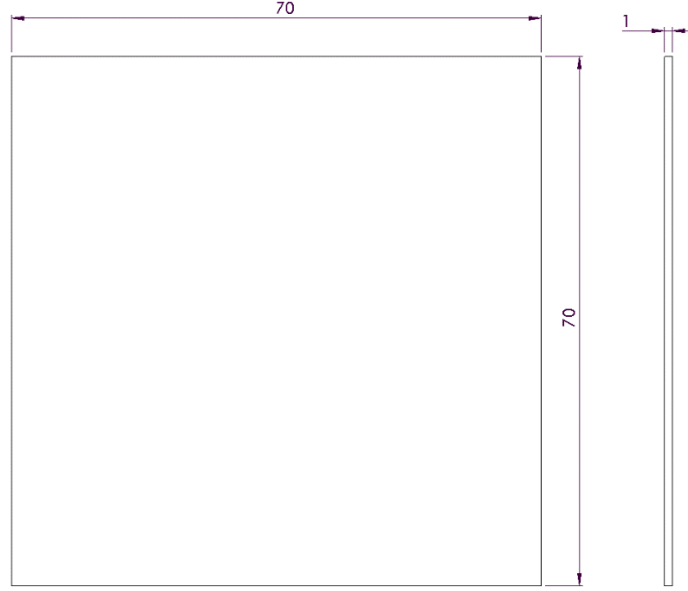
**Tablo 7.15:** T grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Numune kod.	Üretim yön.										
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
H <sub>55</sub>								X			
H <sub>56</sub>								X	X		
H <sub>57</sub>	X							X	X		
H <sub>58</sub>	X							X	X		
H <sub>59</sub>					X			X			
H <sub>60</sub>				X				X			
H <sub>61</sub>			X					X		X	
H <sub>62</sub>						X		X			
H <sub>63</sub>							X	X			

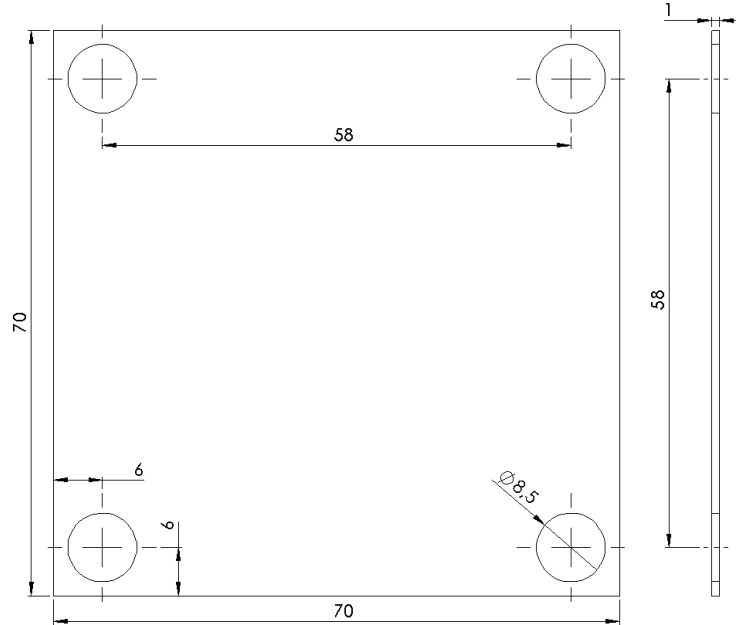
**Tablo 7.16:** Z grubuna uygulanan işlemler ve numune kodlaması.

Numune kod.	Üretim yön.										
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	L <sub>0</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	
H <sub>64</sub>								X			
H <sub>65</sub>								X	X		
H <sub>66</sub>	X							X	X		
H <sub>67</sub>	X							X	X		
H <sub>68</sub>					X			X			
H <sub>69</sub>				X				X			
H <sub>70</sub>			X					X		X	
H <sub>71</sub>						X		X			
H <sub>72</sub>							X	X			

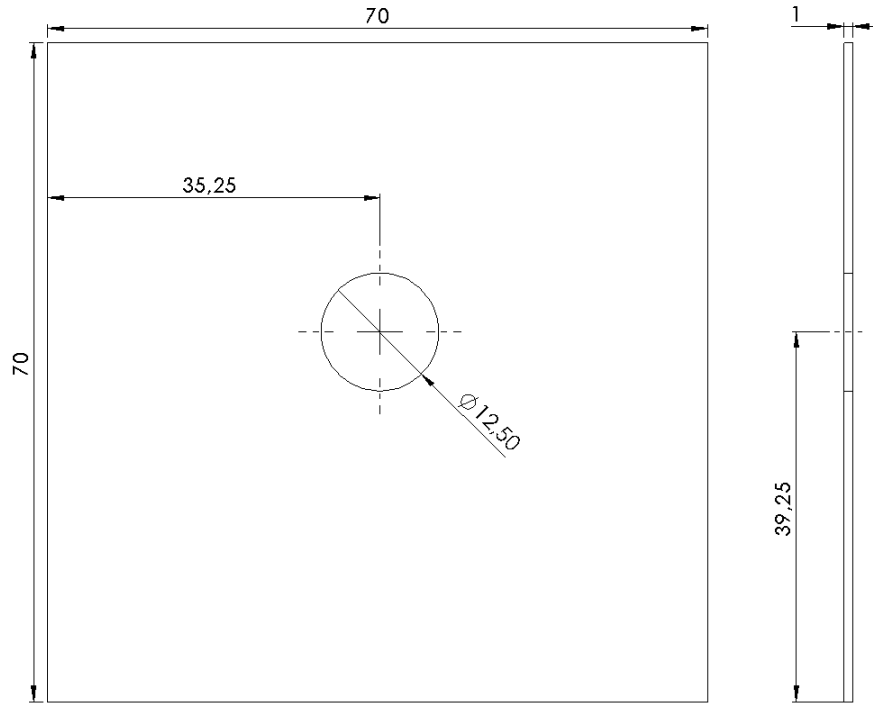
Tuz sisi ve gerçek koşullarda deneyler için belirlenen numuneler, Solidworks programında sac metal özelliği kullanılarak 3D katı model olarak modellenmiştir. Modellenen rnler, teknik resim kurallarına göre llendirilmiř ve şekil 7.1-7.24 arasında numunelerin teknik resimleri verilmiştir.



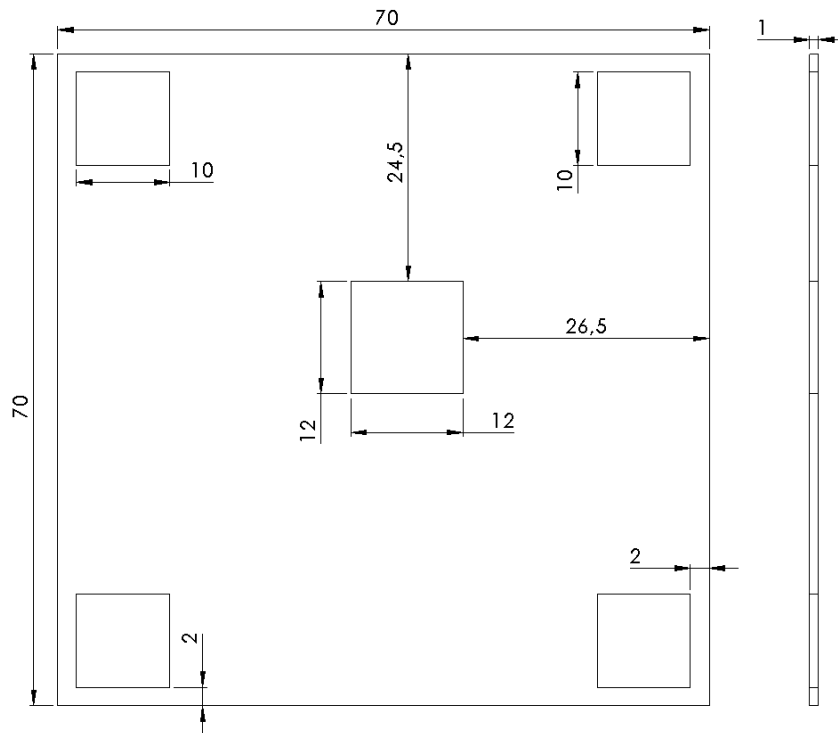
**şekil 7.1:** H<sub>1</sub>, H<sub>10</sub>, H<sub>19</sub>, H<sub>28</sub>, H<sub>37</sub>, H<sub>46</sub>, H<sub>55</sub>, H<sub>64</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>33</sub>, M<sub>34</sub>, M<sub>65</sub>, M<sub>66</sub>, M<sub>97</sub>, M<sub>98</sub> numunelerin teknik resmi.



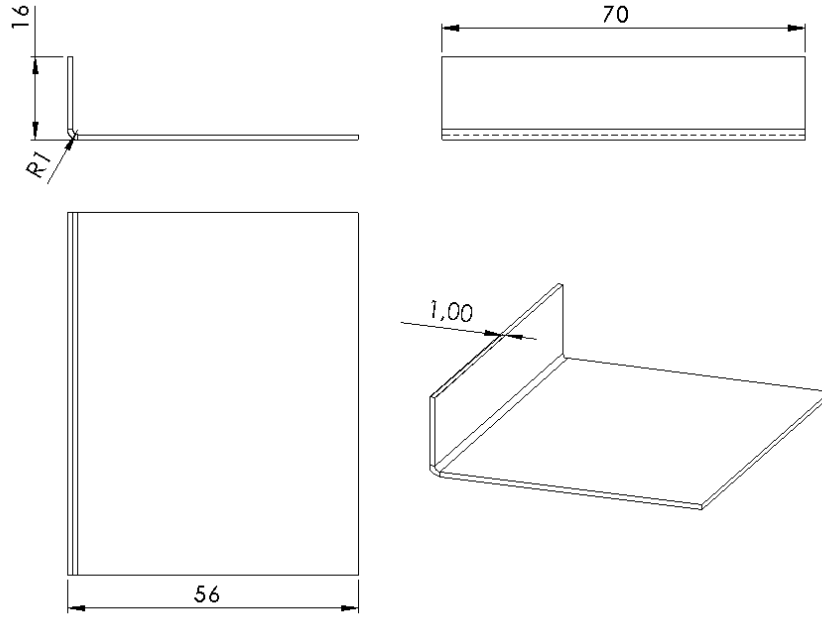
**şekil 7.2:** M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>32</sub>, M<sub>35</sub>, M<sub>36</sub>, M<sub>64</sub>, M<sub>67</sub>, M<sub>68</sub>, M<sub>96</sub>, M<sub>99</sub>, M<sub>100</sub>, M<sub>128</sub> numunelerinin teknik resmi.



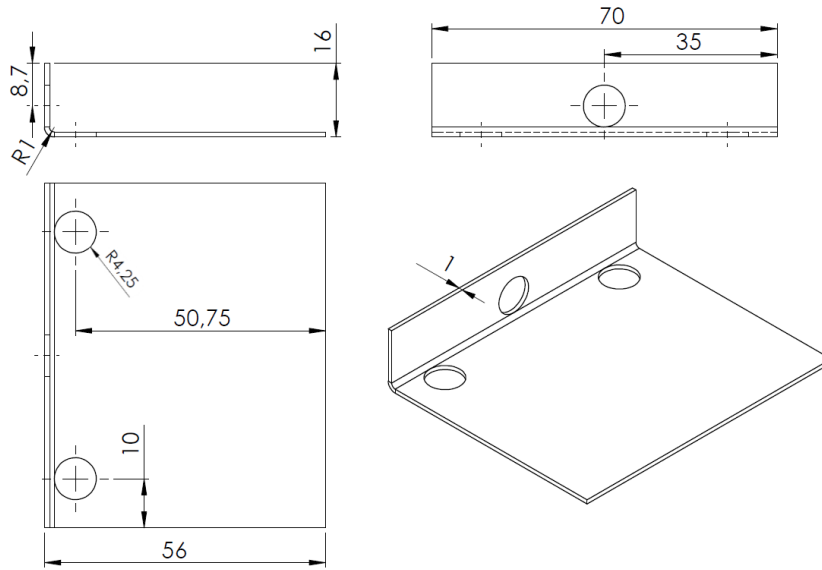
**Şekil 7.3:** H<sub>2</sub>, H<sub>11</sub>, H<sub>20</sub>, H<sub>29</sub>, H<sub>38</sub>, H<sub>47</sub>, H<sub>56</sub>, H<sub>65</sub>, M<sub>5</sub>, M<sub>6</sub>, M<sub>30</sub>, M<sub>37</sub>, M<sub>38</sub>, M<sub>62</sub>, M<sub>69</sub>, M<sub>70</sub>, M<sub>94</sub>, M<sub>101</sub>, M<sub>102</sub>, M<sub>126</sub> numunelerinin teknik resmi.



**Şekil 7.4:** M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub>, M<sub>39</sub>, M<sub>40</sub>, M<sub>71</sub>, M<sub>72</sub>, M<sub>103</sub>, M<sub>104</sub> numunelerinin teknik resmi.

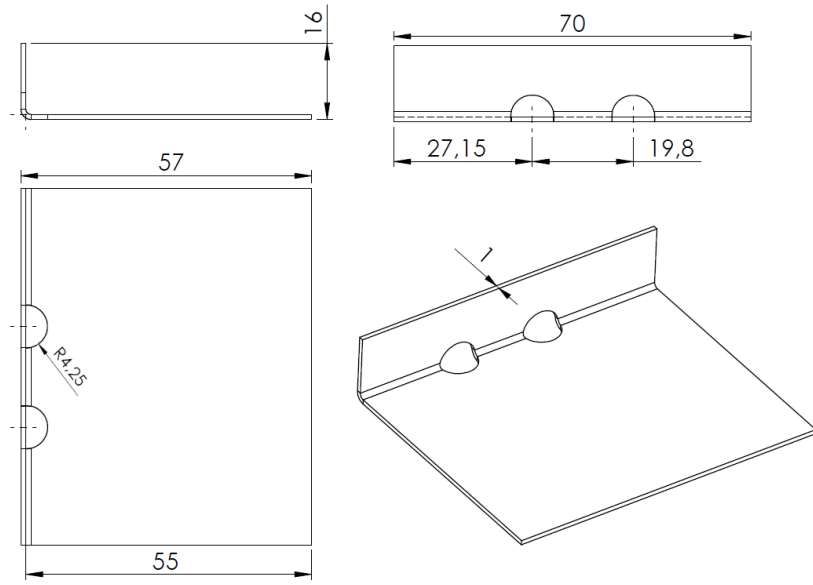


Şekil 7.5: M<sub>9</sub>, M<sub>41</sub>, M<sub>73</sub>, M<sub>105</sub> numunelerinin teknik resmi.

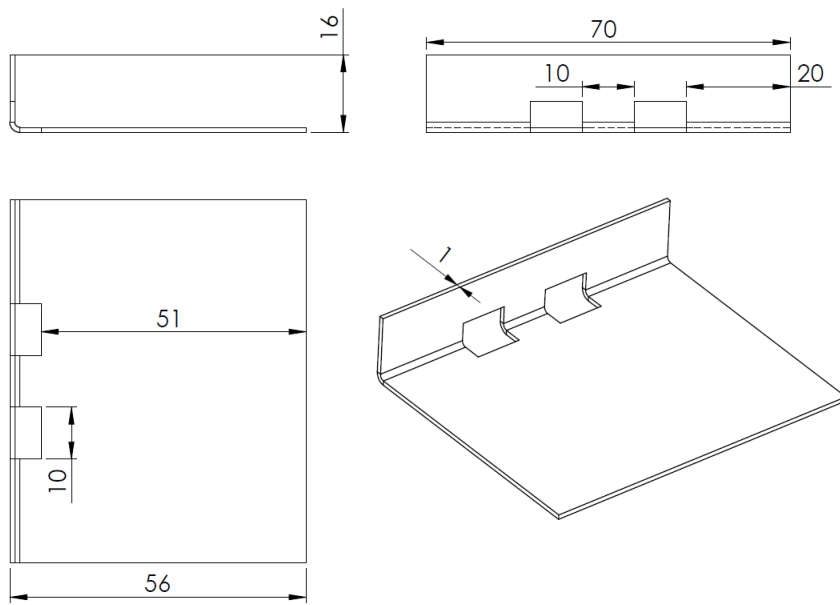


Şekil 7.6: H<sub>4</sub>, H<sub>13</sub>, H<sub>22</sub>, H<sub>31</sub>, H<sub>40</sub>, H<sub>49</sub>, H<sub>58</sub>, H<sub>67</sub>, M<sub>10</sub>, M<sub>42</sub>, M<sub>74</sub>, M<sub>106</sub> numunelerinin teknik resmi.

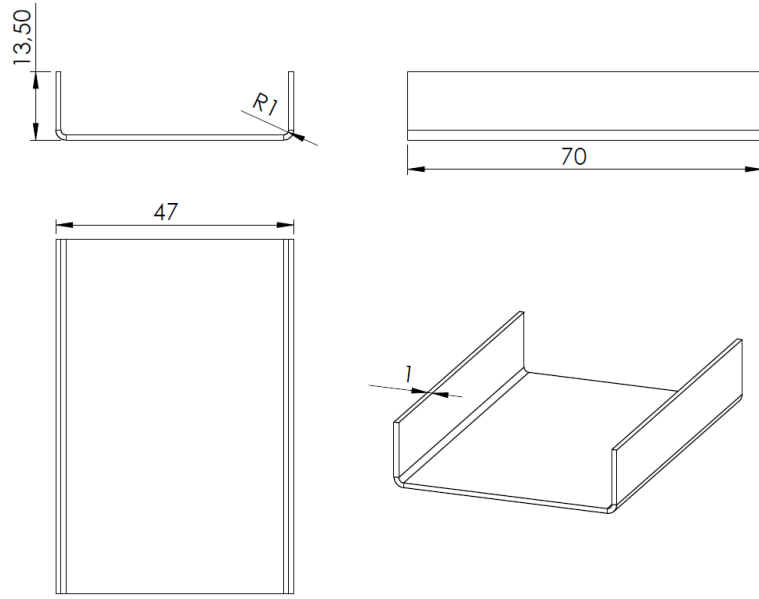




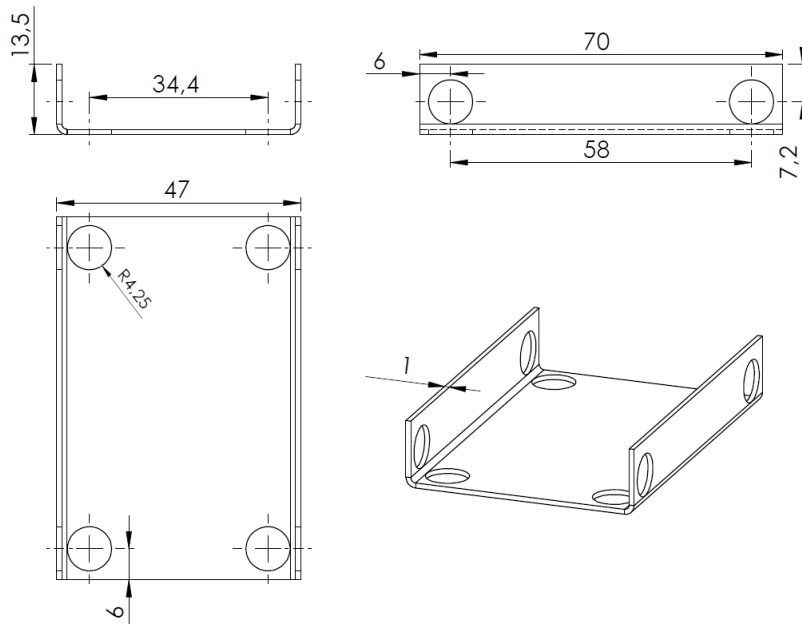
**Şekil 7.7:** H<sub>3</sub>, H<sub>12</sub>, H<sub>21</sub>, H<sub>30</sub>, H<sub>39</sub>, H<sub>48</sub>, H<sub>57</sub>, H<sub>66</sub>, M<sub>11</sub>, M<sub>12</sub>, M<sub>43</sub>, M<sub>44</sub>, M<sub>75</sub>, M<sub>76</sub>, M<sub>107</sub>, M<sub>108</sub> numunelerinin teknik resmi.



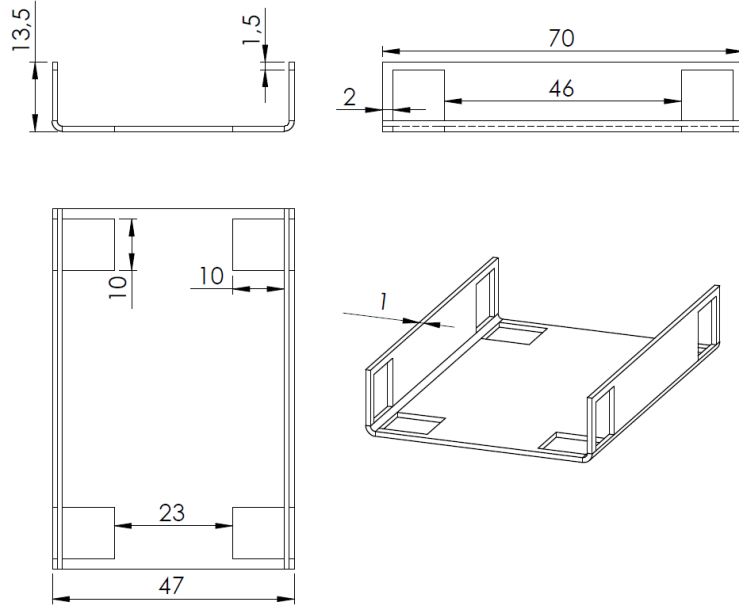
**Şekil 7.8:** M<sub>13</sub>, M<sub>14</sub>, M<sub>45</sub>, M<sub>46</sub>, M<sub>77</sub>, M<sub>78</sub>, M<sub>109</sub>, M<sub>110</sub> numunelerinin teknik resmi.



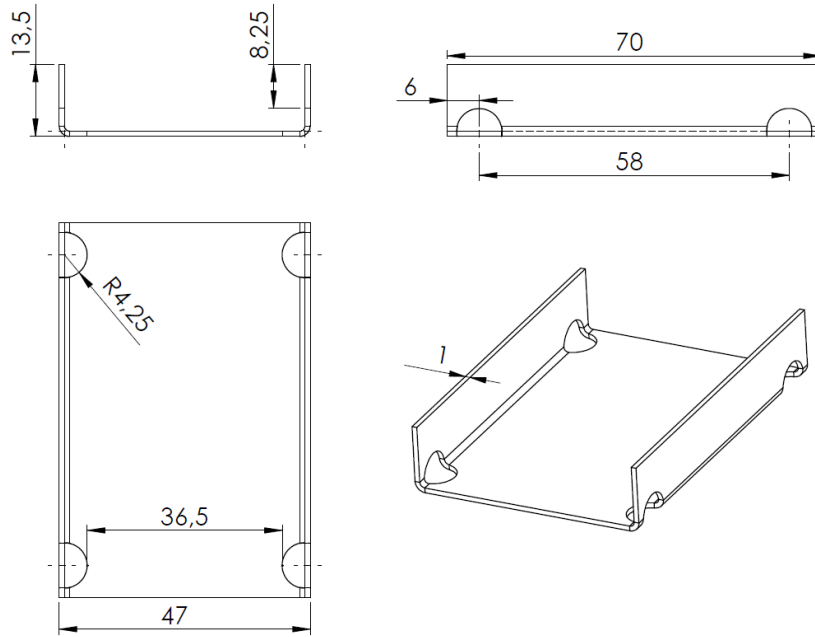
Şekil 7.9: M<sub>15</sub>, M<sub>47</sub>, M<sub>79</sub>, M<sub>111</sub> numunelerinin teknik resmi.



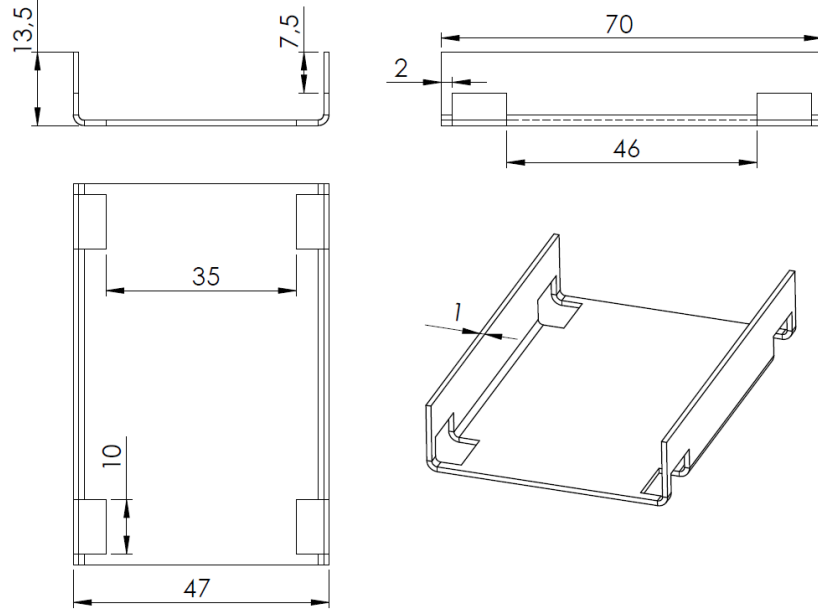
Şekil 7.10: M<sub>16</sub>, M<sub>48</sub>, M<sub>80</sub>, M<sub>112</sub> numunelerinin teknik resmi.



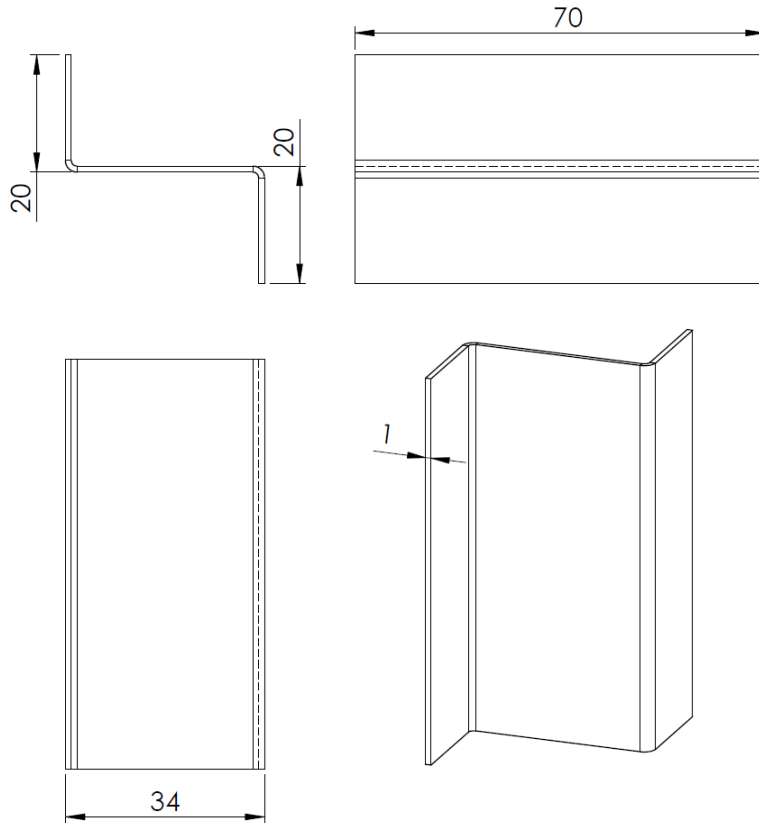
Şekil 7.11: M<sub>17</sub>, M<sub>49</sub>, M<sub>81</sub>, M<sub>113</sub> numunelerinin teknik resmi.



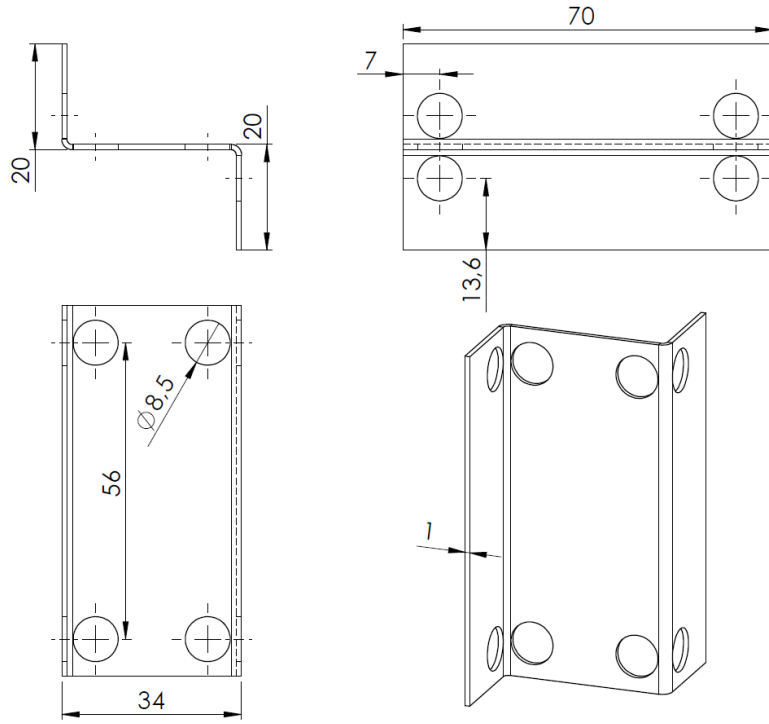
Şekil 7.12: M<sub>18</sub>, M<sub>50</sub>, M<sub>82</sub>, M<sub>114</sub> numunelerinin teknik resmi.



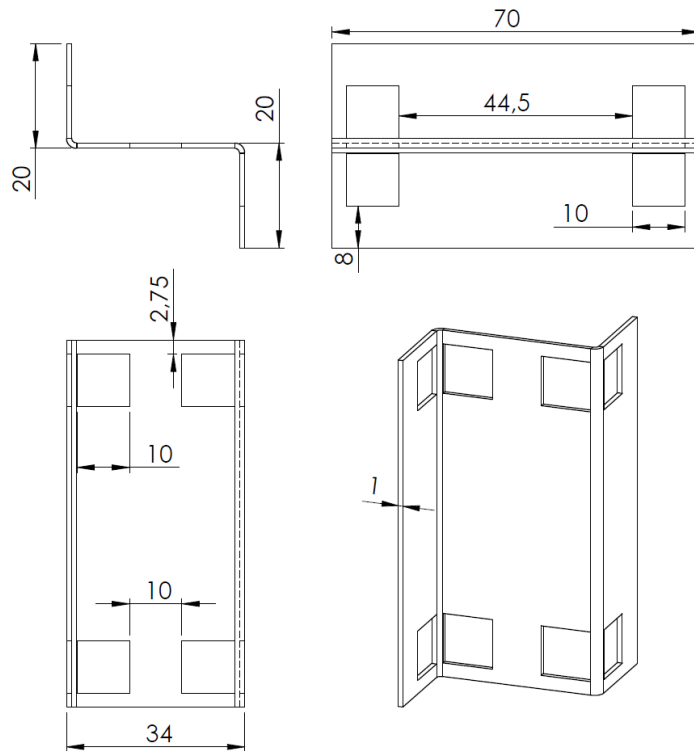
Şekil 7.13: M<sub>19</sub>, M<sub>51</sub>, M<sub>83</sub>, M<sub>115</sub> numunelerinin teknik resmi.



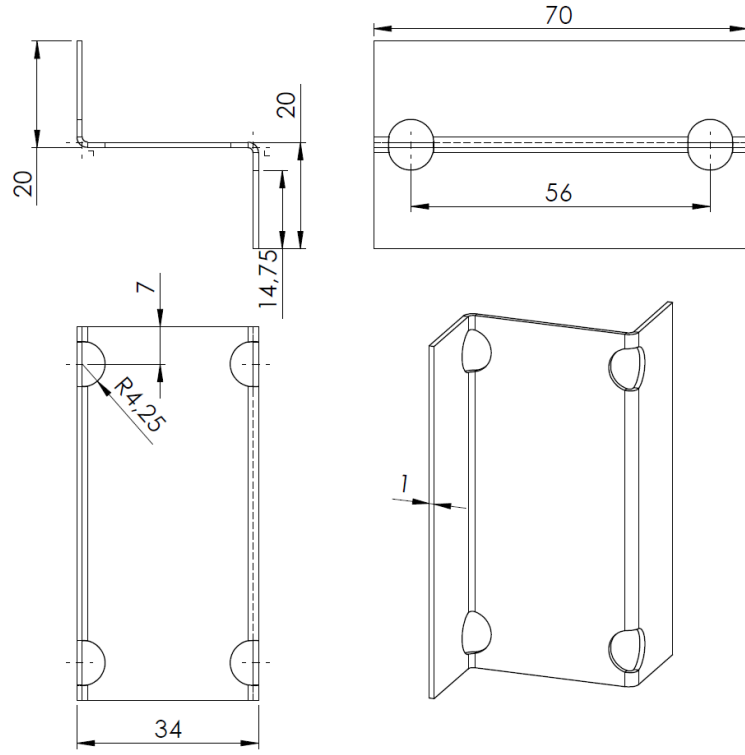
Şekil 7.14: M<sub>20</sub>, M<sub>52</sub>, M<sub>84</sub>, M<sub>116</sub> numunelerinin teknik resmi.



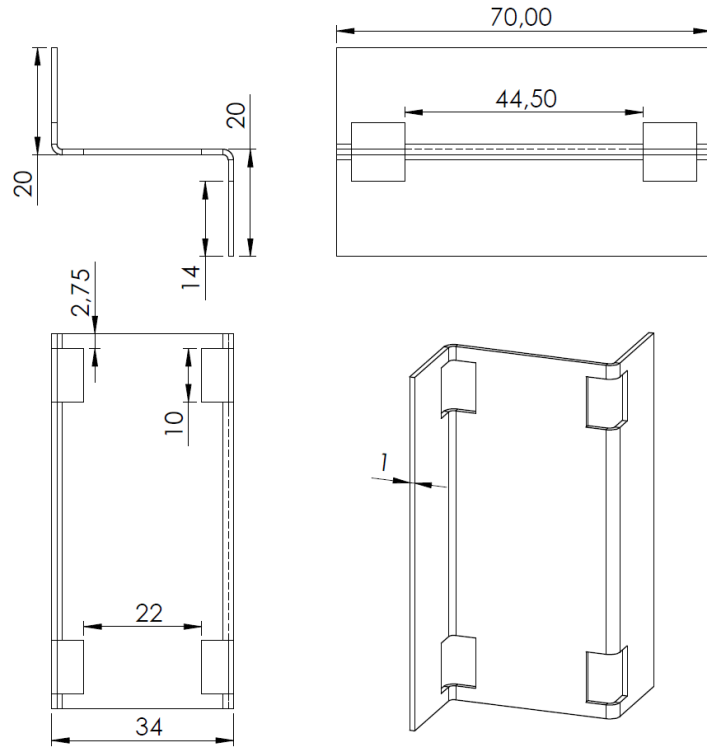
Şekil 7.15: M<sub>21</sub>, M<sub>53</sub>, M<sub>85</sub>, M<sub>117</sub> numunelerinin teknik resmi.



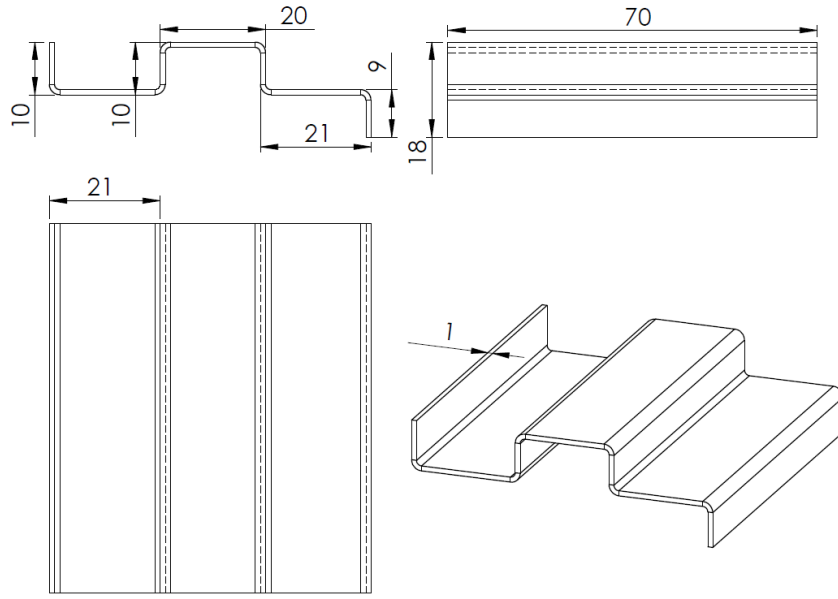
Şekil 7.16: H<sub>7</sub>, H<sub>16</sub>, H<sub>25</sub>, H<sub>34</sub>, H<sub>43</sub>, H<sub>52</sub>, H<sub>61</sub>, H<sub>70</sub>, M<sub>22</sub>, M<sub>54</sub>, M<sub>86</sub>, M<sub>118</sub> numunelerinin teknik resmi.



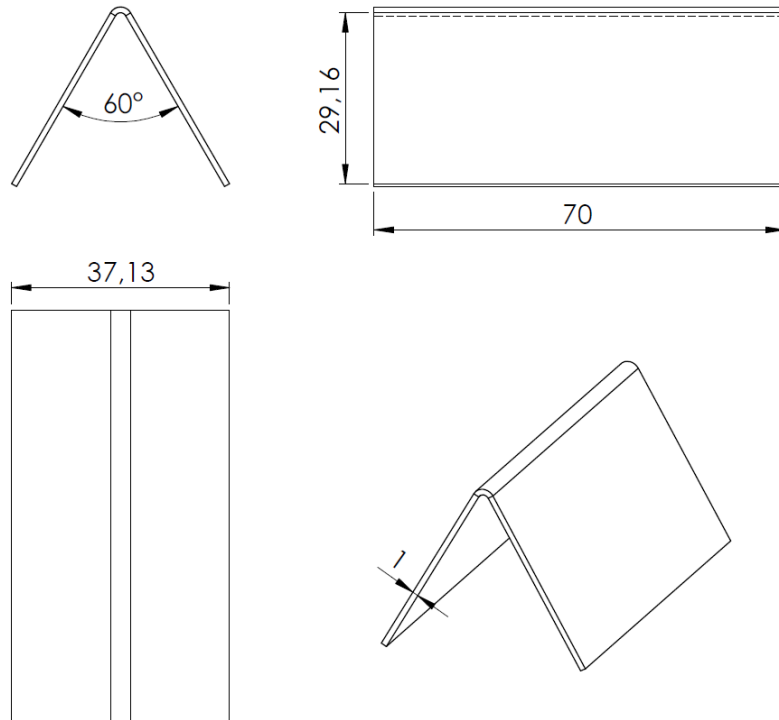
**Şekil 7.17:** M<sub>23</sub>, M<sub>55</sub>, M<sub>87</sub>, M<sub>119</sub> numunelerinin teknik resmi.



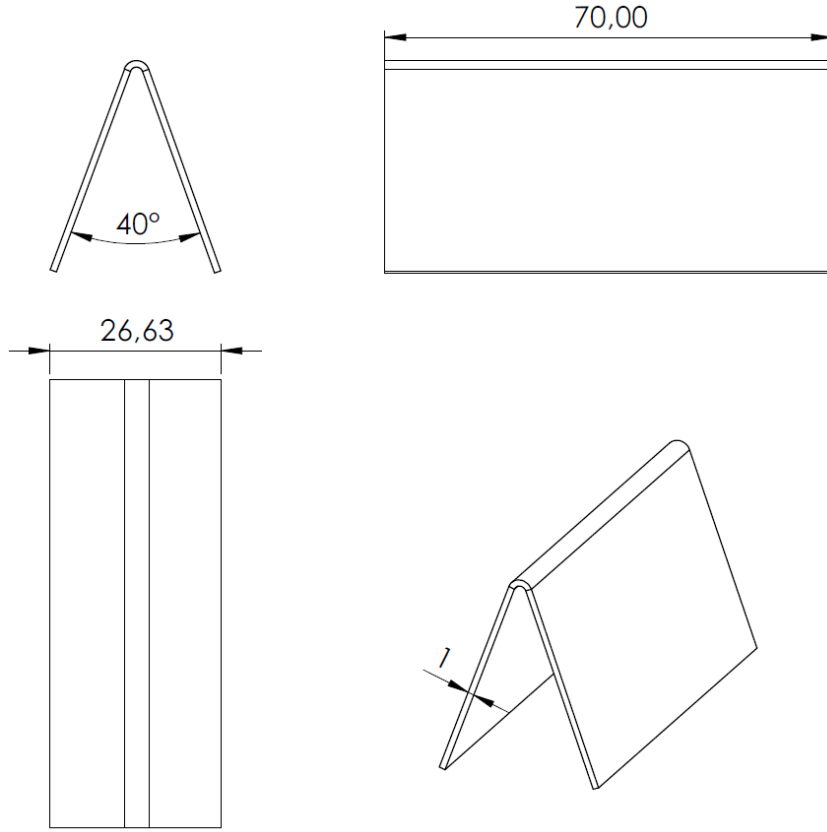
**Şekil 7.18:** M<sub>24</sub>, M<sub>56</sub>, M<sub>88</sub>, M<sub>120</sub> numunelerinin teknik resmi.



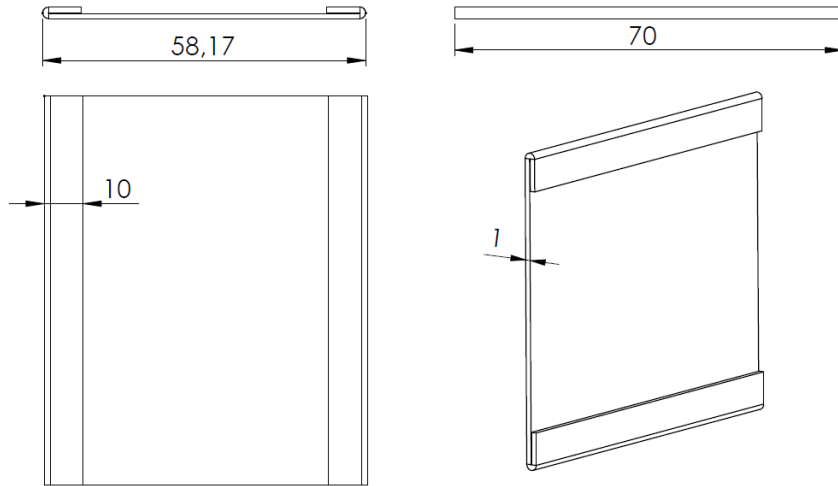
**Şekil 7.19:** H<sub>9</sub>, H<sub>18</sub>, H<sub>27</sub>, H<sub>36</sub>, H<sub>45</sub>, H<sub>54</sub>, H<sub>63</sub>, H<sub>72</sub>, M<sub>25</sub>, M<sub>57</sub>, M<sub>89</sub>, M<sub>121</sub> numunelerinin teknik resmi.



**Şekil 7.20:** H<sub>5</sub>, H<sub>14</sub>, H<sub>23</sub>, H<sub>32</sub>, H<sub>41</sub>, H<sub>50</sub>, H<sub>59</sub>, H<sub>68</sub>, M<sub>26</sub>, M<sub>58</sub>, M<sub>90</sub>, M<sub>122</sub> numunelerinin teknik resmi.

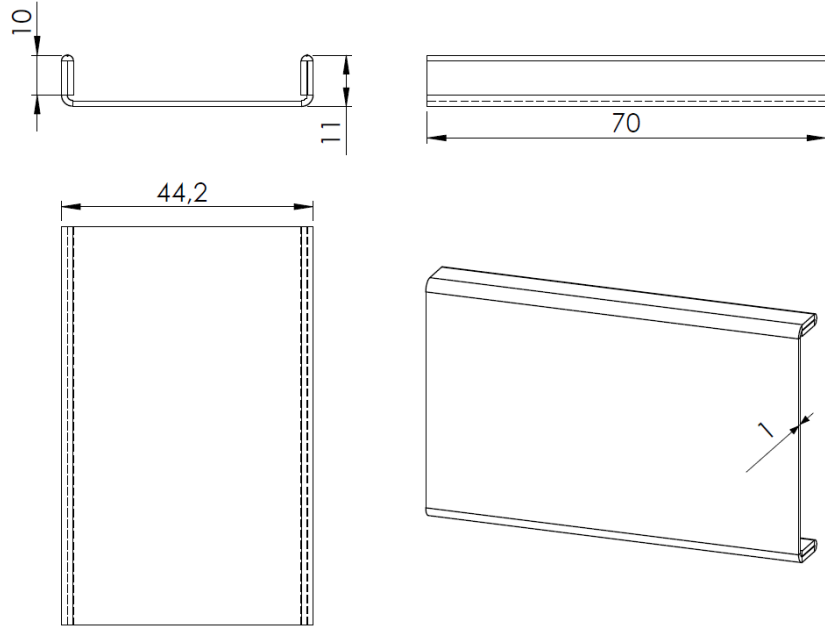


**Şekil 7.21:** H<sub>6</sub>, H<sub>15</sub>, H<sub>24</sub>, H<sub>33</sub>, H<sub>42</sub>, H<sub>51</sub>, H<sub>60</sub>, H<sub>69</sub>, M<sub>27</sub>, M<sub>59</sub>, M<sub>91</sub>, M<sub>123</sub> numunelerinin teknik resmi.

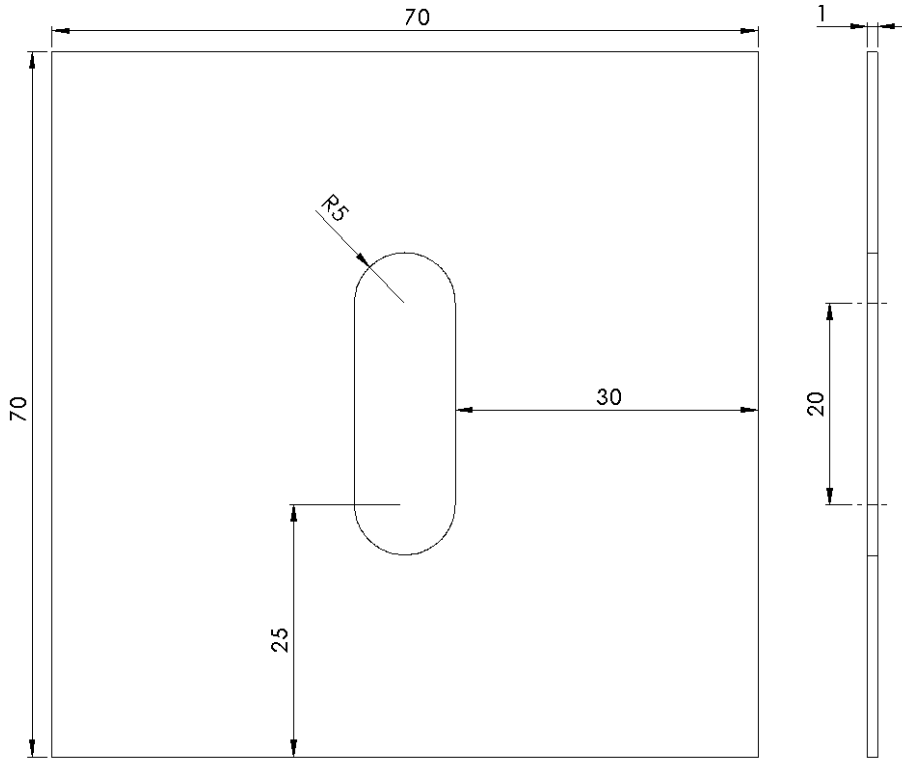


**Şekil 7.22:** H<sub>8</sub>, H<sub>17</sub>, H<sub>26</sub>, H<sub>35</sub>, H<sub>44</sub>, H<sub>53</sub>, H<sub>62</sub>, H<sub>71</sub>, M<sub>28</sub>, M<sub>60</sub>, M<sub>92</sub>, M<sub>124</sub> numunelerinin teknik resmi.





**Şekil 7.23:** M<sub>29</sub>, M<sub>61</sub>, M<sub>93</sub>, M<sub>125</sub> numunelerinin teknik resmi.



**Şekil 7.24:** M<sub>31</sub>, M<sub>63</sub>, M<sub>95</sub>, M<sub>127</sub> numunelerinin teknik resmi.

### 7.1.3 Üretim Makineleri ve Üretim Parametreleri

Numunelerin üretiminde, dört farklı üretim makinesi kullanılmıştır. Bunlar fiber lazer kesim makinesi, punch kesim makinesi, abkant büküm makinesi ve freze makineleridir. Lazer, punch ve abkant makineleri CNC kontrollü makinelerdir. Freze ise manuel kontrollü bir makinedir.

#### 7.1.3.1 Fiber Lazer Makinesi ve Kesim Parametreleri

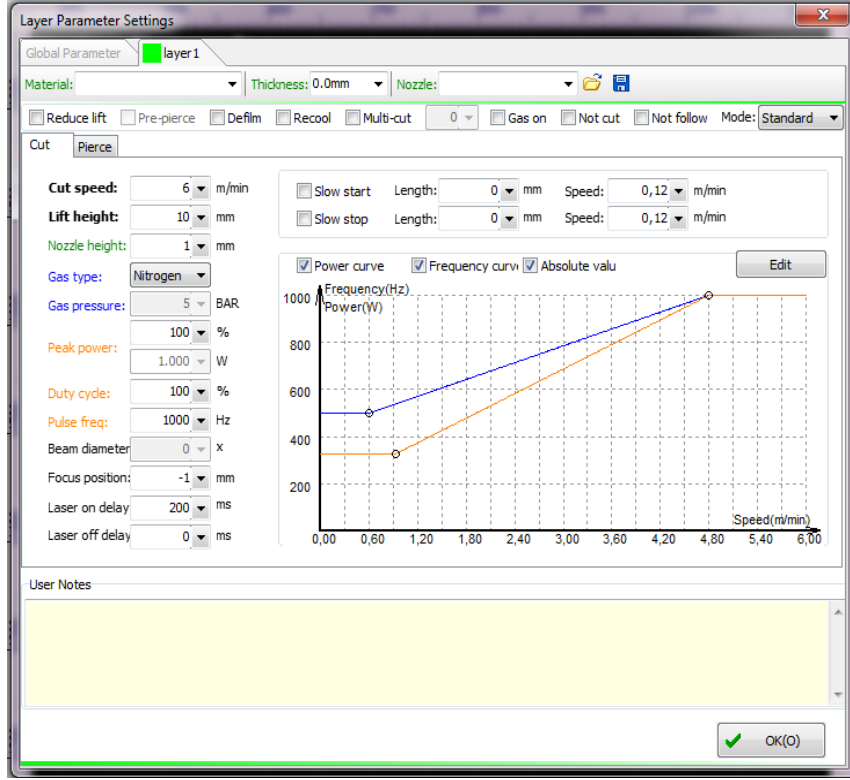
Lazerde işlem görecektür numuneler, Mekotek marka FLO-1530 model fiber lazer kesim makinesinde gerçekleştirilmiştir. Kesim parametreleri; kesim hızı 6 m/dak, kesim sonrası kesim kafasının kalkma mesafesi 10 mm, kesim ucunun kesilecek plakaya olan yüksekliği 1 mm olarak ayarlanmıştır. Kesim işlemi gerçekleştirirken kullanılan basınçlı gaz atmosferik hava, makine gücü %100, kesim odağı -1 mm, lazer diyot açık kalma süresi 200 ms olarak seçilmiştir. Darbe frekansı 1000 Hz olarak ayarlanmıştır. Makine künyesi Şekil 7.25’de kesim parametreleri Şekil 7.26’da, ve kesim sırasındaki görüntü Şekil 7.27’de verilmiştir.



MEKOTEK			
TEKNİK BİLGİ TECHNICAL INFORMATION	FIBER LAZER KESİM MAKİNASI	MODEL TYPE	FLO-1530
VOLTAGE-POWER	380 V	LAZER GÜCÜ LASER POWER	1 kw
FREKANS FREQUENCY	50 HZ	MAX. YÜKLEME	800 Kg
AKIM NOMİNAL CURRENT	23 A	AĞIRLIK	2600 KG
ÇALIŞMA ALANI WORKING SIZE	1500X3000 MM	İMALAT YILI MANU. YEAR	2021
DİŞ ÖLÇÜLER DIMENSIONS	2355X4302X1980 MM	SERİ NO SERIAL NUMBER	8690120040063

MEKOTEK MAKİNE SAN.VE TİC.AŞ.  
Gölpazarı Mah. 8009 Sok. No 11 Çaltıpasazı-SİĞIRCI İSTANBUL TÜRKİYE  
+90 212 716 52 88 info@mekotek.com.tr  
www.mekotek.com.tr

Şekil 7.25: Lazer makinesi künyesi.



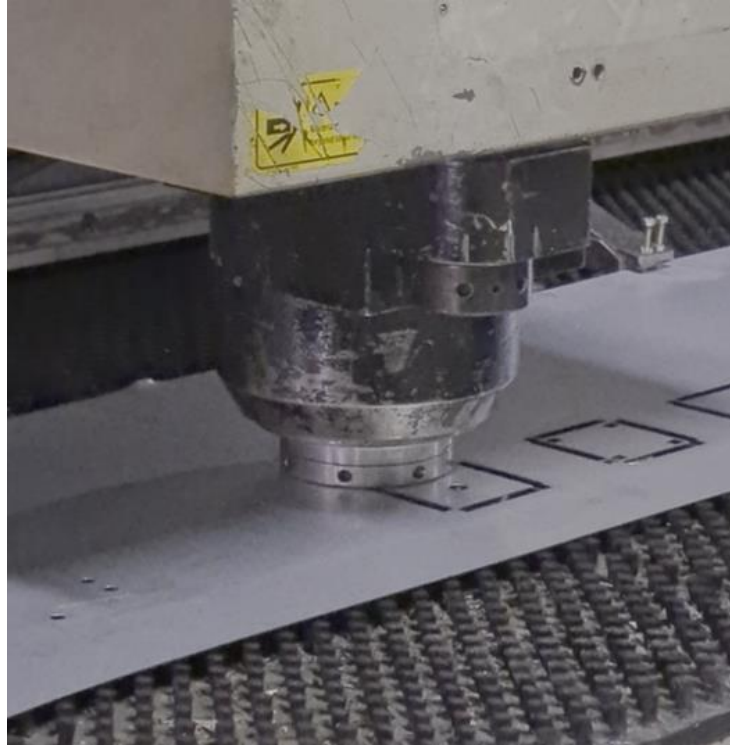
Şekil 7.26: Kesim parametreleri.



Şekil 7.27: Kesim sırasında alınan görüntü 1.

### 7.1.3.2 Punch Makinesi ve Üretim Parametreleri

Numuneler Durmazlar marka PP7 modeli olan punch makinesinde kesim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kesim işlemi için seçilen takımlar; yuvarlak delikler için R08.5 mm ve R012.5 mm, kare delikler ve parçaların kenarlarının kemirilmesi için SQ10 mm takım seçilmiştir. Parametreler her vuruş 30 tonluk güce ve vuruş hızı dakikada 700 vuruşa denk gelecek şekilde ayarlanmıştır. Parametre ayarları ve takım yerleştirme işlemleri tamamlandıktan sonra kesilecek levha bağlanılarak kesim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kesim esnasındaki görüntü Şekil 7.28’de verilmiştir.



Şekil 7.28: Sac plakanın kesimi.

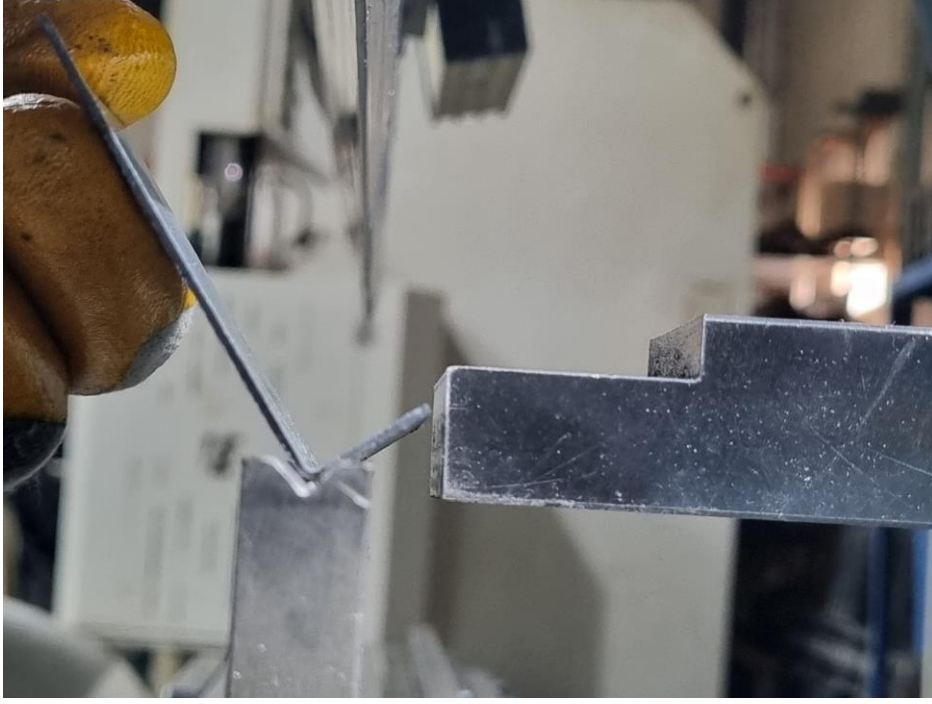
### 7.1.3.3 Abkant Makinesi ve Üretim Parametreleri

Numune parçalarının kesim işlemleri bittikten sonra, bazı numunelerin büküm yoluyla L büküm, U büküm, Z büküm, V büküm, katlamalı büküm işlemleri yapılarak numuneler soğuk şekillendirme yöntemiyle şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemi için Durmazlar marka abkant büküm makinesi kullanılmıştır. İlk olarak 90° olan bükümler için makinede program ayarları yapılmıştır. Program ayarlanırken malzeme seçimi alanına çelik malzeme seçilir. Çelik malzemelere standart olarak mm<sup>2</sup> başına 42 kg yük gelecek şekilde ayarlanmıştır. Bıçak EURAM markasının 1012/A35/1 model tipidir. Bu bıçak maksimum

35°'e kadar büküm gerçekleştirmektedir. Metre başına çekeceği yük kapasitesi 70 ton dur. Alt kalıp olarak CKB markasının D2088/88/V6/H80 model tipidir. Bu kalıp maksimum 88°'ye kadar büküm işlemi gerçekleştirebilmektedir ve metre başına maksimum 95 ton yüke maruz bırakılabilir.

Program ayarlamaları tamamlandıktan sonra bir deneme parçası ile açının tam 90° yakalanabilmesi için bir büküm yapılıır. Bunun sebebi, metallerde büküm esnasında geri yaylanma olayından kaynaklanmaktadır. Deneme parçası bükümü yapıldıktan sonra düzeltme parametreleri  $Y_1$  için +0.20,  $Y_2$  için +0.25 dir. Numuneler üretilirken tüm bükümler tek büküm darbesiyle yapılmıştır. 90° bükümler için büküm kuvveti 70 mm'ye 800 kg olarak yapılmıştır. 90° olarak bükülmesi gereken numunelerin hepsi bu parametrelerde bükülmüştür. Diğer 40°, 60° ve katlamalı büküm olan numunelerin büküm parametreleri şu şekildedir: Kullanılan kalıplar 40° ve 60° için aynı bıçak kullanılmıştır. Alt kalıp olarak ise CKB marka D2030/30/V8/H80 modeli kullanılmıştır. Kalıp metre başına 30 ton yük çekme kapasitesine sahiptir ve maksimum 30° kadar büküm açısı verebilmektedir. Katlamalı büküm için ise bıçak aynı kalacak şekilde alt kalıp değiştirilmiştir. CKB markasının D3001/35/6/H90 modeli kullanılmıştır. Kalıp metre başına 60 ton yük kapasitesine sahiptir ve büküm kanalında maksimum 30° kadar büküm yapılabilir. Düzeltme parametreleri 40° ve 60° için  $Y_1$  -0.10,  $Y_2$  -0.15 dir. Katlamalı büküm için  $Y_1$  -0.50,  $Y_2$  -0.55 dir.

Ürünler, abkant makinesindeki bükümleri tamamlandıktan sonra, tuz sisi testi için numuneler dört gruba ayrılarak koruma amaçlı streç filmle sarılarak tuz sisi testinin yapılacağı Uzman Katoferez A.Ş.'ye gitmek üzere hazırlanmıştır. Ürünlerin üretiminin gerçekleştirildiği makine künyesi Şekil 7.29'da verilmiştir



**Şekil 7.29:** Numune büküm işlemi sırasında görüntüsü.

#### **7.1.3.4 Freze Makinesi ve Kesim parametreleri**

İşlemler için kullanılan freze, 1997 yılında üretilen First firmasına LC20 VGN ait kalıpcı frezedir. Frezede delik delinmesi için alt tablaya zarar verilmemesi ve matkap ucu parçayı deldikten sonra çapak yapmaması amacıyla parçaların altına, polioksümetalinden (POM) üretilmiş olan yumuşak plastik bir parça yerleştirilmiştir. Bu parçanın üstüne sac numune yerleştirilmiş ve yerleştirildikten sonra iki tarafından karşılıklı olarak tablaya pabuçlar ile sıkılarak numunenin sabitleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Freze CNC kontrollü değildir. Tüm ayar parametreleri manuel olarak ayarlanmaktadır. Dönme hızı 250 d/dak, ilerleme hızı ise yaklaşık olarak 1.5 mm/dak olarak belirlenmiştir. Slotlu delikler için çapı 12mm parmak freze, diğer delikler için ise 12.5mm ve 8.5mm matkap uçları kullanılmıştır. Freze Şekil 7.30'da verilmiştir.





**Şekil 7.30:** İşlem yapılan freze makinesi.

## 7.2 Yapılan Deneysel Çalışmalar

Galvaniz kaplama kalınlıklarının ve korozyon davranışlarının belirlenmesi için hazırlanan numunelere aşağıda maddeler halinde verilen deneyler uygulanmıştır.

- XRD ölçüm yöntemi ile kaplama kalınlığı ölçülümü
- Tuz sisi testi
- ICP-OES Pas analizi
- Gerçek dünya koşulları testi

### 7.2.1 XRD Yöntemi ile Kaplama Kalınlığı Ölçümleri

X ray kaplama kalınlığı ölçümünde FISCHERSCOPE X-RAY XDL VE XDLM cihazında dört farklı sac numunesi için gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler ISO 3497 ve ASTM B 568 e göre tahribatsız bir şekilde X-ışını floresan spektrometresi ile yapılmıştır. 100 gr ve 275 gr kaplı numuneler için üç9 kez ölçümler yapılmıştır. Ölçüm süresi her numune için 5 saniye sürmüştür.

## 7.2.2 Tuz Sisi Testi

Tuz sisi testi BS EN ISO 9227:2006 standartlarındaki şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Standartta göre %5'lik tuz çözeltisinin hazırlanmasında 50 g/l konsantrasyonu elde etmek için 25°C'de iletkenliği 0.2 µS/cm olan deiyonize suda sodyum klorür çözdürülmüştür. Çözeltinin özgül ağırlığı 25 °C'de 1.032gr/cm<sup>3</sup> tür. Tuz sisi testi kabin pH değeri 6.9 olarak ayarlanmıştır. Ayarlama tuz çözeltisi içerisine sodyum hidroksit katılarak pH düzenlemesi gerçekleştirilmiştir. Kabin içi sıcaklık 35°C ±3 °C'de ısıtıcılar vasıtası ile sabit tutulmuştur. Tuzlu su sisi püskürtme pompası kabin içerisine tuz sisini 1.5 ±0.188 bar aralığında püskürtme işlemini gerçekleştirmiştir. Kabin içine numuneleri yerleştirmek için konulan aparatlar yüzeyleri fosfatlanmış ve daha sonrasında elektro statik toz boya ile boyanıp fırınlanmış ürünlerdir. Test kabini içerisinde bu aparatların herhangi bir korozyona uğrama durumları gerçekleşmemiştir.

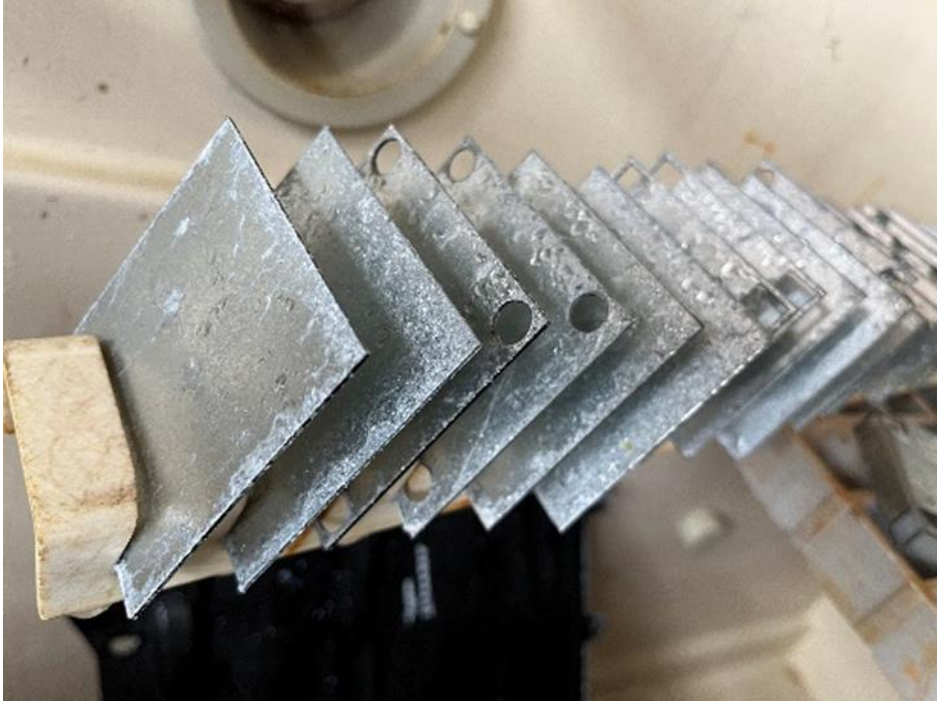
Kabin içine asılan her numune 70X70 mm ölçülerinden oluşturulmuştur. Oluşturulan numuneler asma aparatları ile 35°'lik bir açı ile test kabinine yerleştirilmiştir. Test kabini içerisine yüzey alanı 90 cm<sup>2</sup>'lik bir huni ile beraber volümetrik mezür konulmuştur. Bu sayede içeriye püskürtülen basınç sabitliği kontrol edilmiştir. Tüm numunelere uygulanan sis basınç yoğunluğu homojenize edilmiştir. Kabinde oluşturulan bağıl nem %100 dür.

Numuneler tuz sisi testi kabini içerisinde tek bir numunede kırmızı pas görülene dek kabin içerisinde tutulmuştur. Numuneler görsel olarak fotoğraflanmıştır. Kullanılan tuz sisi test cihazı kalibrasyon ayarları ve makine görseli Şekil 7.31'de verilmiştir. 24. Saat görseli Şekil 7.32'de, 48. Saat görseli Şekil 7.33'de ve 72. saat görseli Şekil 7.34'de gösterilmiştir.



Şekil 7.31: Tuz sisi test cihazı ve kalibrasyon ayarlarının yapıldığı kabul şartları.

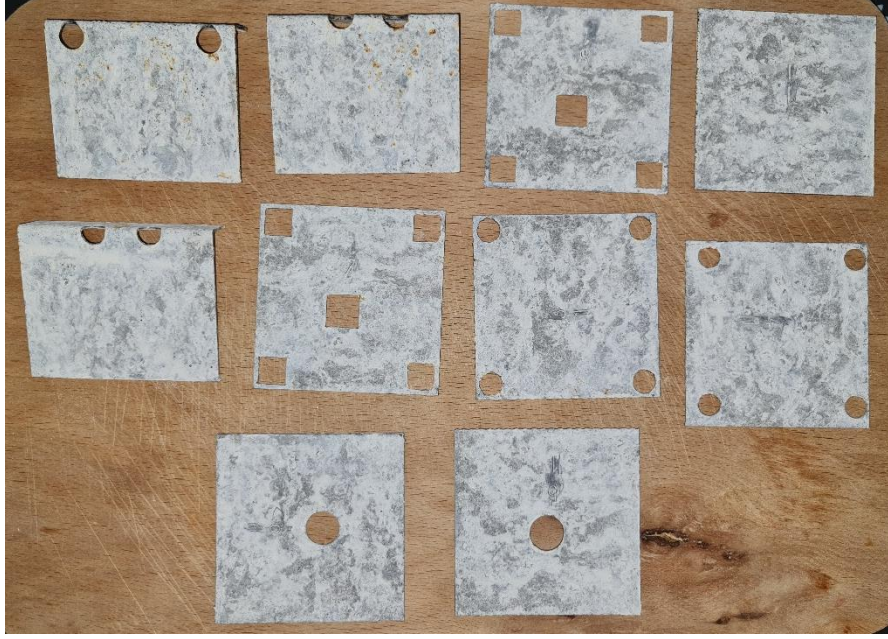




**Şekil 7.32:** Tuz sisi testi 24. saat pas oluşumu.



**Şekil 7.33:** Tuz sisi testi 48. saat pas oluşumu.



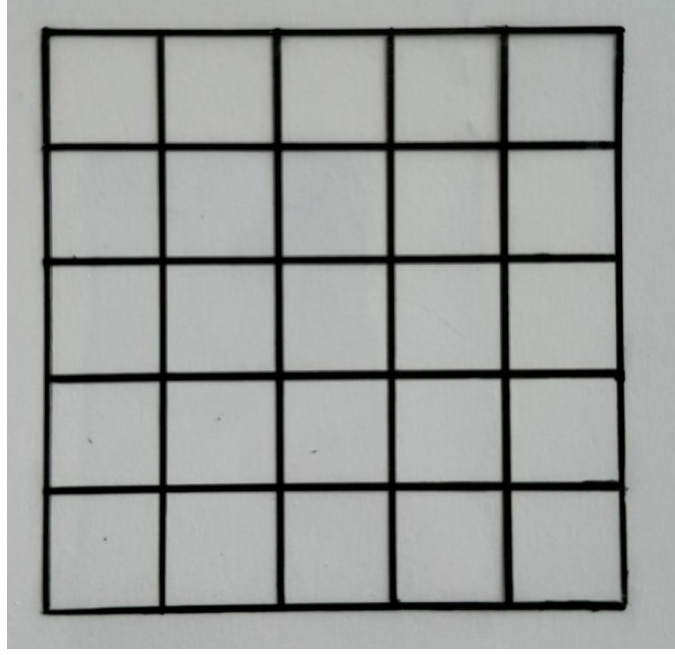
**Şekil 7.34:** Tuz sisi testi 72. saat pas oluşumu.

#### **7.2.2.1 Tuz Sisi Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Test kabininden 72 saat sonunda çıkartılan numuneler şablon metodu ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede asetat kağıdının tam ortasına numunelerin boyutunda 70X70 mm ölçülerinde kare, asetatlı kalem ile çizilir. Bu kare daha sonrasında 25 eşit parçaya bölünerek küçük kareler oluşturulur, her bir kare % 4 lük orana denk gelmektedir.

Numuneler incelenirken, şablon numunelerin üzerine konur ve karelerin içlerine denk gelen kırmızı pas ve beyaz paslar % pas cinsinden değerlendirilir. Beyaz pas oluşumu gerçekleştikten sonra kırmızı pas oluşumu olacağı için aynı kare içinde hem kırmızı hem beyaz pas olması iki oran içinde sayılmıştır.

Bu şartlar altında % beyaz pas oranı ve % kırmızı pas oranı incelenirken tuz sisi testi korozyon kabini şartları altında zorlanan galvanizli parçalarda % kırmızı pas oranı %beyaz pas oranından yüksek olamaz. Oluşturulan şablon görseli Şekil 7.35’de verilmiştir.



**Şekil 7.35:** Şablon metodu değerlendirilmesinde kullanılan şablon.

### 7.2.3 ICP-OES Pas Analizi

Kırmızı pas ve beyaz pas oluşumları yüzeylerden kazınarak ayrı ayrı kapalı kaplara alınmıştır. Alınan bu örnekler ICP-OES cihazında analize tutularak pas içeriklerinde bulunan Fe ve Zn oranları analiz edilmiştir. Verilen numuneler asit kokteyllerinde ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HClO}_4$ ) çözündürülerek çözeltiler basınçlı kaplara konulup Ar gazı ile uyarılarak içerik tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu deney standartı SM 3120 B na göre yapılmıştır. Deneyin gerçekleştirildiği cihazın görseli Şekil 7.36'da verilmiştir.



**Şekil 7.36:** ICP-OES cihazı.

#### 7.2.4 Gerçek Dünya Testi

Gerçek dünya testinde galvanizli saclar iki farklı ortamda dört farklı sac grubundan dokuz adet numuneler üretilerek, numunelerin tasarımında tuz sisi testi için hazırlanan numunelerden kritik delik ve büküm koşullarına sahip tasarımlar seçilerek hazırlanmıştır. Kesim yöntemi sabit tutularak lazer ile kesim işlemi gerçekleştirilmiştir.

M, N, P, R grubu numuneleri ortam olarak atmosferik havaya maruz bırakılmıştır. Atmosferik hava şartı yağmur, çığ, güneş gibi hava olayları altında korozyona karşı zorlanmasıyla test edilmiştir. Şekil 7.37’de atmosferik şartlara bırakılan numune görseli verilmiştir. Numuneler 10 cm×10 cm ağaç takozlara oyuklar açılıp, numuneler gruplandırılarak, oyuklara bir kenarlarından saplanıp sabitlenmesi sağlanmıştır. Sabitleme işleminden sonra gün içinde sürekli olarak güneş alan, açık bir alana bırakılmıştır. Deney tarihleri arasında maruz kaldıkları hava olayları Tablo 7.17’ de verilmiştir.

**Tablo 7.17:** Atmosferik korozyon deneyinin gerçekleştirildiği zaman aralığında Balıkesir/Susurluk ilçesine ait hava durumu verileri [37,38].

Tarihler	Sıcaklık Aralığı °C	% Nem	Rüzgar hız aralığı (Km/sa)	Kısa dalga güneş enerjisi (kW)	Hava durumu
25.04.2024	8-19	0	2-7	0.76	Açık
26.04.2024	8-20	0	4-20	0.76	Parçalı bulutlu
27.04.2024	8-20	0	4-13	0.76	Parçalı bulutlu
28.04.2024	9-20	0	4-15	0.77	Parçalı bulutlu
29.04.2024	9-20	0	6-17	0.77	Parçalı bulutlu
30.04.2024	9-20	0	2-13	0.78	Parçalı bulutlu
1.05.2024	9-20	0	7-17	0.78	Parçalı bulutlu
2.05.2024	9-21	45	4-13	0.79	Yağmurlu
3.05.2024	9-21	40	4-28	0.79	Yağmurlu
4.05.2024	9-21	1	7-30	0.79	Parçalı bulutlu
5.05.2024	9-21	1	19-33	0.80	Parçalı bulutlu
6.05.2024	9-21	1	7-28	0.80	Az bulutlu
7.05.2024	9-22	1	2-17	0.81	Az bulutlu
8.05.2024	10-22	1	4-15	0.81	Açık
9.05.2024	10-22	1	4-15	0.81	Açık
10.05.2024	10-22	2	2-15	0.81	Parçalı bulutlu
11.05.2024	10-22	35	4-39	0.81	Yağmurlu
12.05.2024	10-23	2	7-26	0.81	Parçalı bulutlu
13.05.2024	11-23	3	6-35	0.81	Parçalı bulutlu
14.05.2024	11-23	3	4-22	0.82	Parçalı bulutlu
15.05.2024	11-23	4	4-15	0.82	Az bulutlu
16.05.2024	11-23	5	4-15	0.82	Az bulutlu
17.05.2024	11-23	5	2-20	0.82	Az bulutlu
18.05.2024	11-24	6	2-15	0.82	Az bulutlu
19.05.2024	11-24	6	2-17	0.82	Az bulutlu
20.05.2024	11-24	7	2-17	0.83	Az bulutlu
21.05.2024	12-24	7	2-17	0.83	Açık
22.05.2024	12-24	7	8-29	0.83	Parçalı bulutlu
23.05.2024	12-24	50	7-24	0.83	Yağmurlu





**Şekil 7.37:** Atmosferik korozyona bırakılan numuneler.

X, Y, T, Z grubu numuneleri, tavuk gübresine gömülerek korozyon bir ortama maruz bırakılmıştır. Kanatlı hayvan sektörünün bakım tesislerinde kullanılan ürünler galvaniz saclardan üretilmektedir. Saclar kanatlı hayvanların gübrelerindeki çeşitli bileşiklere maruz kalmaktadır. Bu sebepten dolayı bu grupta tavuk gübresine gömülerek, bu ortamda korozyona karşı zorlanması test edilmiştir. Numuneler, sac levhaların kenarlarından bükülüp hacim kazandırılarak oluşturulan 26.5cm×17cm ×3.5cm ebatlarındaki kapların altına ince bir tabaka tavuk gübresi konulup üstüne numuneler dizilmiştir. Bir grup numune dizildikten sonra tekrardan üzerine tavuk gübresi eklenerek gömme işlemi tamamlanmıştır. Gömülen bir grup numuneler gömme işlemi sırasında Şekil 7.38'de verilmiştir. Tavuk gübresine ait içerik bilgileri Tablo 7.18'de verilmiştir.



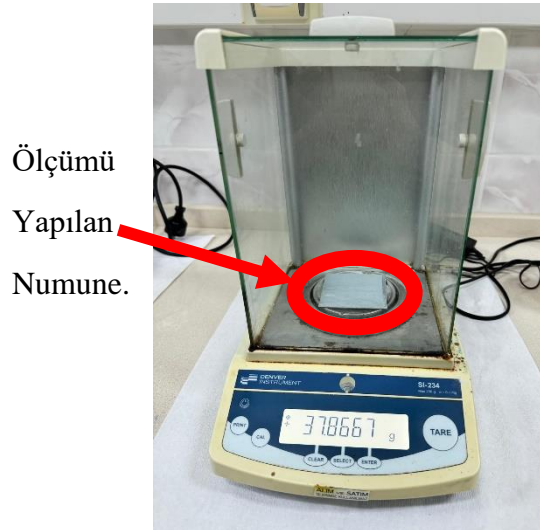
**Şekil 7.38:** Numunelerin tavuk gübresine gömülme işlemi.

**Tablo 7.18:** Tavuk gübresinin ortalama kimyasal bileşimleri [39].

pH	Azot (N)	Karbonil Oksit (OC)	Fosfor (P)	Amonyum Hidroksit (NH <sub>4</sub> -H)
6.95	%0.96	%4.67	%0.27	%0.42
Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	Kalsiyum (Ca)	Potasyum (K)	Sodyum (Na)	Bakır (Cu)
%0.02	% 1.34	%0.13	%0.026	6.89 ppm

#### 7.2.4.1 Gerçek Dünya Korozyon Testi Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

Ürünler, ortamlara maruz bırakılarak her yedi günde bir kez 0.1 mg hassasiyeti Denver Instrument SI-234 Summit serisi analitik terazi ile ağırlık ölçümleri yapılarak, tüm numunelerin ağırlık ölçümleri kaydedilmiştir. Gramaj azalma verileri sütun grafiklerine dönüştürülüp her parça için mekanik işlemlerin ortam şartlarındaki korozyona karşı uğradıkları korozyon hızları mm/yıl cinsinden karşılaştırılmıştır. Numune ölçümleri yapılırken görüntü Şekil 7.39’da verilmiştir atmosferik ortama maruz bırakılan numuneler tartımdan önce kuru bir bez ile yüzeyleri silinerek tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gübreye gömülü numuneler ise gübreden çıkarıldıktan sonra sünger ile su altında tüm yüzeyleri hassas bir şekilde temizlenmiştir ve daha sonrasında güneş altında 10 saat boyunca kurumaya bırakıldıktan sonra tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 7.39:** Ölçümde kullanılan hassas terazi.

Ağırlık ölçümlerinin kaydedildikten sonra korozyon hızı hesabı için kullanılan bağıntı denklem 7.1’de verilmiştir [40].

$$V_{kor.} = \frac{87,6 \times W}{D \times A \times T} \quad (7.1)$$

W: Ağırlık kaybı (mg).

D: Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>).

A: Toplam yüzey alanı (cm<sup>2</sup>).

T: Korozyona uğrama süresi (saat).

V<sub>kor.</sub>: Korozyon hızı (mm/yıl).



## 8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 8.1 Kaplama Kalınlığı Ölçümü ve Sonuçları

XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları DX51D+Z100 için Tablo 8.1’de, DX52D+Z100 için Tablo 8.2’de, DX51D+Z275 için Tablo 8.3’de ve DX52D+Z275 Tablo 8.4’de verilmiştir. Ortalama değerler olarak DX51D+Z100 kalite sacın kaplama kalınlığı 6.64  $\mu\text{m}$ , DX52D+Z100’ün kaplama kalınlığı 9.07  $\mu\text{m}$ , DX51D+Z275’in kaplama kalınlığı 20.7  $\mu\text{m}$ , DX52D+Z275’in kaplama kalınlığı 19.57  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür. Beklenildiği gibi kaplama gramajı yüksek olan sac numunelerin kaplama kalınlıkları daha fazla çıkmıştır. Bu şekilde de sacların kaplama kalınlığı farklılığı kanıtlanmıştır.

**Tablo 8.1:** DX51D+Z100 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.

DX51D+Z100		
n=1	Zn1	7.22 $\mu\text{m}$
n=2	Zn1	4.34 $\mu\text{m}$
n=3	Zn1	8.37 $\mu\text{m}$
Ortalama		6.64 $\mu\text{m}$
Standart sapma		2.07 $\mu\text{m}$
Fark		1.15 $\mu\text{m}$
Ölçüm sayısı		3
Min. ölçüm		4.34 $\mu\text{m}$
Maks. ölçüm		8.37 $\mu\text{m}$
Ölçüm süresi		5 sn

**Tablo 8.2:** DX52D+Z100 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.

DX52D+Z100		
n=1	Zn1	7.86 $\mu\text{m}$
n=2	Zn1	10.80 $\mu\text{m}$
n=3	Zn1	8.57 $\mu\text{m}$
Ortalama		9.07 $\mu\text{m}$
Standart sapma		1.53 $\mu\text{m}$
Fark		2.94 $\mu\text{m}$
Ölçüm sayısı		3
Min. Ölçüm		7.86 $\mu\text{m}$
Maks. Ölçüm		10.80 $\mu\text{m}$
Ölçüm süresi		5 sn

**Tablo 8.3:** DX51D+Z275 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.

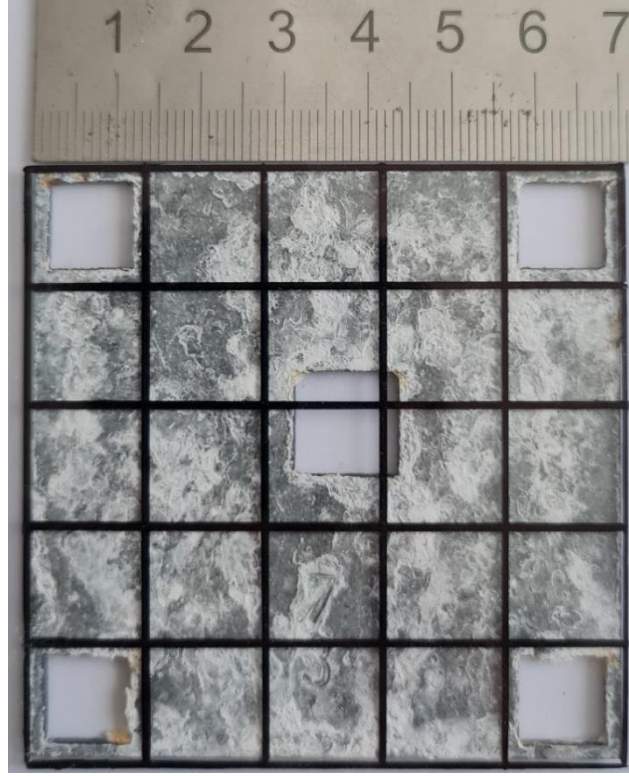
DX51D+Z275		
n=1	Zn1	21.70 $\mu\text{m}$
n=2	Zn1	19.6 $\mu\text{m}$
n=3	Zn1	20.70 $\mu\text{m}$
Ortalama		20.70 $\mu\text{m}$
Standart sapma		1.05 $\mu\text{m}$
Fark		2.09 $\mu\text{m}$
Ölçüm sayısı		3
Min. Ölçüm		19.60 $\mu\text{m}$
Maks. Ölçüm		21.70 $\mu\text{m}$
Ölçüm süresi		5 sn

**Tablo 8.4:** DX52D+Z275 XRD kaplama kalınlığı ölçüm sonuçları.

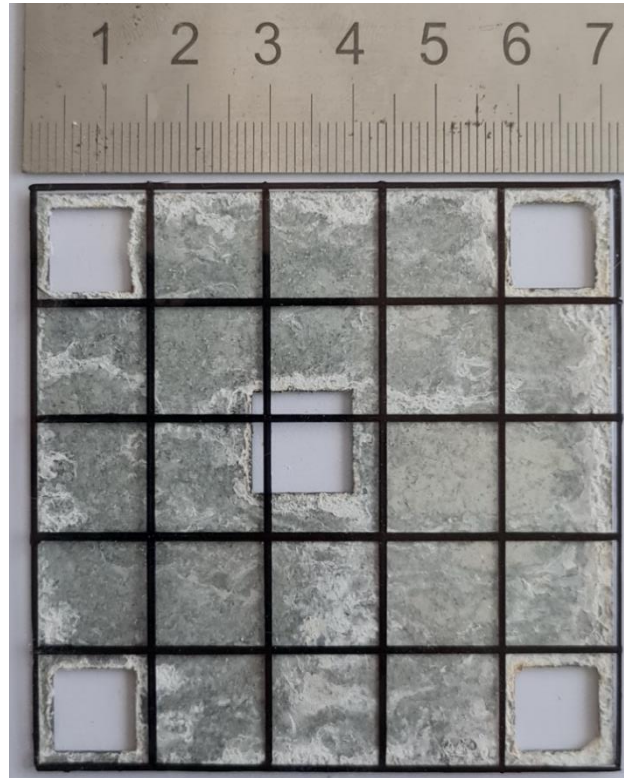
DX52D+Z275		
n=1	Zn1	20.55 $\mu\text{m}$
n=2	Zn1	19.73 $\mu\text{m}$
n=3	Zn1	18.42 $\mu\text{m}$
Ortalama		19.57 $\mu\text{m}$
Standart sapma		1.07 $\mu\text{m}$
Fark		2.15 $\mu\text{m}$
Ölçüm sayısı		3
Min. Ölçüm		18.42 $\mu\text{m}$
Maks. Ölçüm		20.55 $\mu\text{m}$
Ölçüm süresi		5 sn

## 8.2 Tuz Sisi Testi Deney Sonuçları

Beyaz pas ve kırmızı pas yüzdeleri belirlemek için tuz sisi deney numunelerine uygulanan şablon metoduna örnek Şekil 8.1’de C grubuna ait M<sub>71</sub> numaralı numunenin şablon metoduna göre değerlendirilmesi sonucu % 28 kırmızı pas gözlemlenirken % 100 beyaz pas oluşumları verilmiştir. Şekil 8.2’de B grubuna ait M<sub>39</sub> numaralı numunenin şablon metoduna göre değerlendirilmesi sonucu % 44 beyaz pas oluşumu %92 beyaz pas oluşumu verilmiştir.



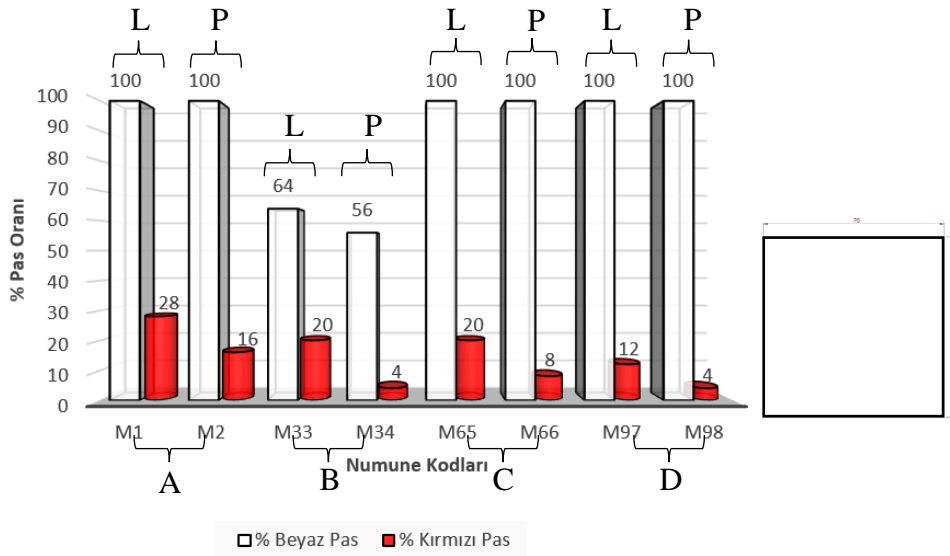
**Şekil 8.1:** C grubu M<sub>71</sub> numaralı numunenin şablon yöntemine göre incelenmesi.



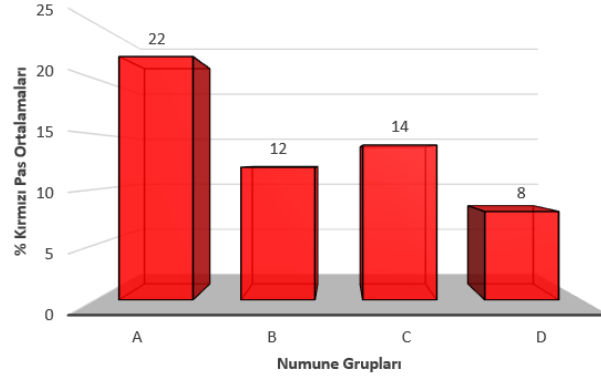
**Şekil 8.2:** B grubu M<sub>39</sub> numaralı numunenin şablon yöntemine göre incelenmesi.

Tuz sisi deneyi sonucunda, farklı kesim ve biçimlendirmeye sahip numunelerin pas yüzdeleri birbirleri ile karşılaştırılmış ve elde edilen veriler kullanılarak sütun grafikleri çizilmiştir.

Şekil 8.3’de lazer ve punch makineleri ile kesilen düz plaka numunelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu yöntemlere göre farklı kaplama özellikleri ve farklı çelik yapılarındaki saclar göz önünde bulundurulmuştur. 72 saatlik tuz sisi testi sonucuna Şekil 8.3’e bakıldığında, en az beyaz pas oluşumu B grubunda olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8.4 incelendiğinde en az kırmızı pas oranı ise B ve D gruplarında olduğu gözlemlenmiştir. Kesim yöntemi olarak yapılan incelemede, punch makinesi ile kesim yapmanın lazer ile kesime göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Kırmızı pas oluşumu, punch makinesi ile kesiminde daha az olduğu açıkça gözlemlenmiştir. Bunun sebebi lazer kesimi sırasında lazer ışının sıcaklığı çeliğin ergime sıcaklığının üstünde bir sıcaklık ile noktasal olarak yüzeye etki ettiği için, kesilen bölgede yüksek sıcaklıktan dolayı kaplama zarar görmüş olabilir. Punch ile kesim yönteminde sıcaklık etkisi olmadığı için korozyon daha az gözlemlenmiş olabilir.

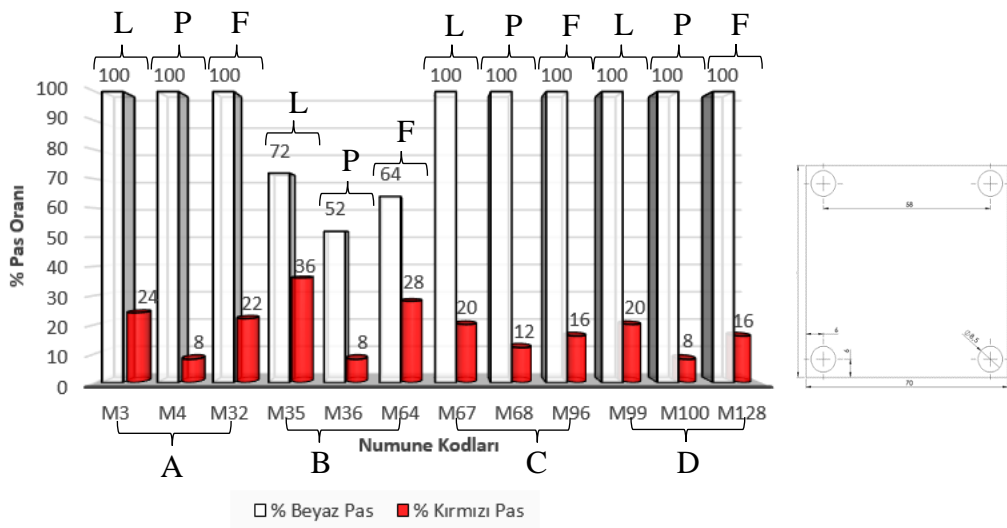


Şekil 8.3: M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>33</sub>, M<sub>34</sub>, M<sub>65</sub>, M<sub>66</sub>, M<sub>97</sub>, M<sub>98</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

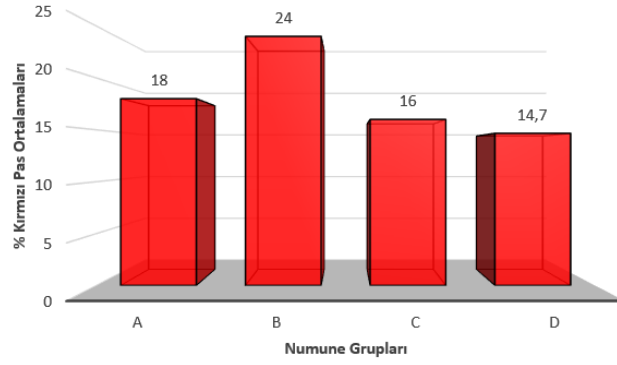


Şekil 8.4: A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 1.

Şekil 8.5’de ki numunelerin pas oranları karşılaştırılırken kesim ve delme yöntemi olarak lazer, punch ve freze makinelerinde işlem gören, dört köşesinde kenarlara yakın yuvarlak delikleri bulunan numuneler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında, kesim ve delme yöntemi olarak punch makinesi ile yapılan işlemlerin diğer iki üretim yöntemine göre %8 oranı ile en az kırmızı pas oluşturduğu gözlemlenmiştir. Daha sonraki B grubunda düşük kırmızı pas oranına sahip yöntem ise freze üretim yöntemidir. En son olarak, lazer ile üretim yöntemi %36 oranla en yüksek kırmızı pas oranına sahiptir. Numunelerde kullanılan farklı kalitedeki sacların karşılaştırılmasında ise B grubu beyaz pas oranı diğer gruplara göre en azdır. Şekil 8.6’da grupların kırmızı pas oranlarına bakılarak ortalamaları alındığında ise D grubunun kırmızı pas oranının %14.7 ile en düşük olduğu görülmüştür.

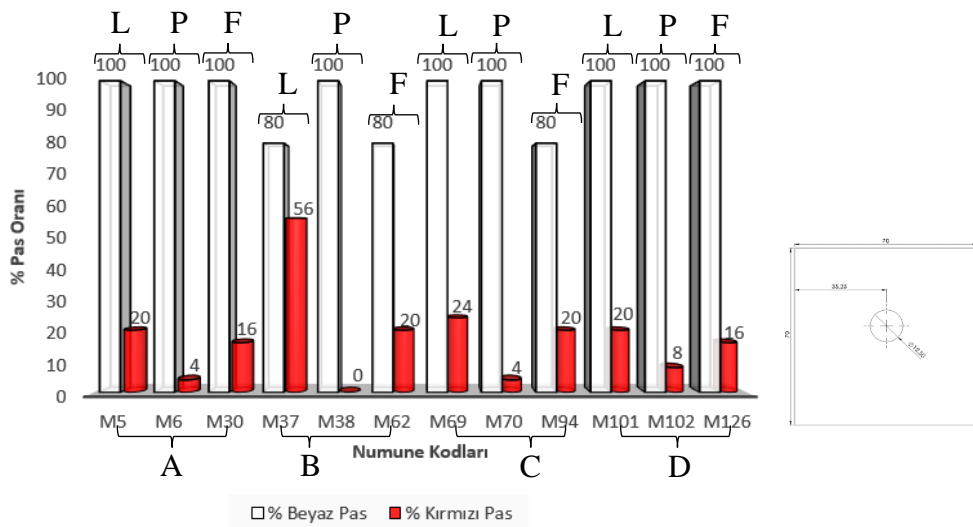


Şekil 8.5: M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>32</sub>, M<sub>35</sub>, M<sub>36</sub>, M<sub>64</sub>, M<sub>67</sub>, M<sub>68</sub>, M<sub>96</sub>, M<sub>99</sub>, M<sub>100</sub>, M<sub>128</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

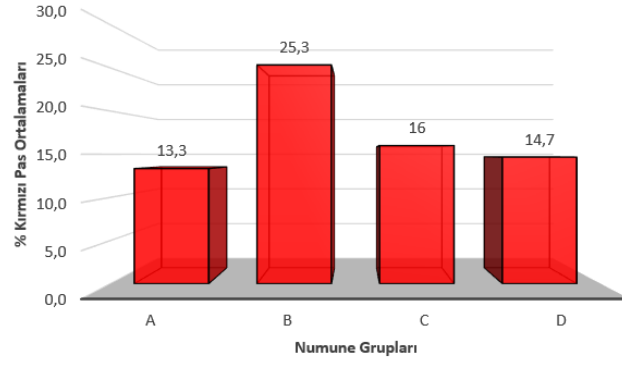


**Şekil 8.6:** A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 2.

Şekil 8.7’de ki numunelerin özellikleri karşılaştırılırken kesim ve delme yöntemi olarak punch, lazer ve freze makinelerinde işlem gören, orta kısmına yakın konumda yuvarlak delik bulunan düz plaka numuneler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına bakılarak üretim yöntemlerinin karşılaştırılmasında, punch kesiminin olduğu B grubundaki M38 numaralı numunede kırmızı pas oluşumu hiç görülmemiştir. Oluşan yüzde kırmızı pasa göre üretim yöntemi sıralaması yapıldığında punch < freze < lazer yöntemlerinin kırmızı pas oluşumu düşükten yükseğe göre sıralanabilir. Farklı kalitedeki sac gruplarında ise B grubu beyaz pas oranının daha düşük olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 8.8’de kırmızı pas oranlarının ortalaması alındığında ise en düşük oranı A grubu % 13.3 ile göstermiştir.



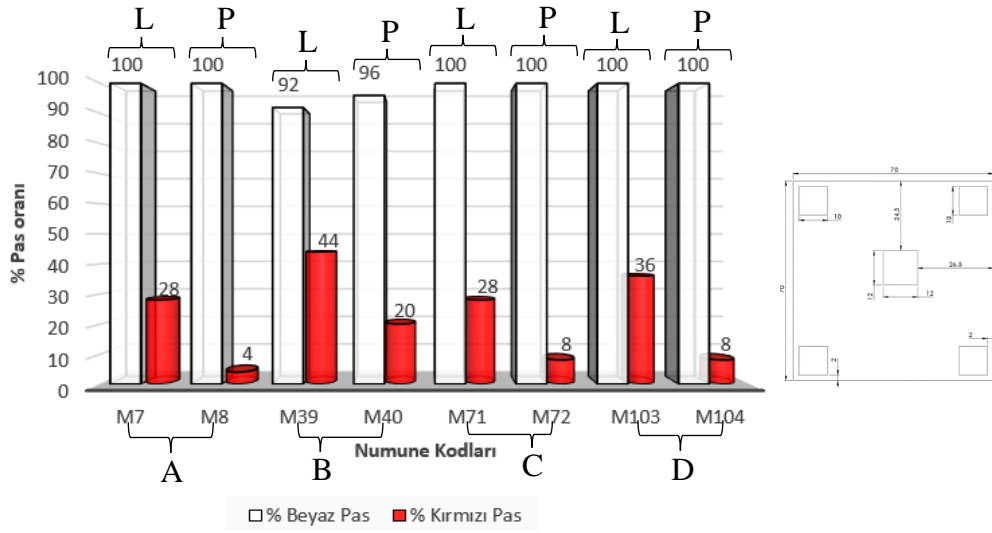
**Şekil 8.7:** M<sub>5</sub>, M<sub>6</sub>, M<sub>30</sub>, M<sub>37</sub>, M<sub>38</sub>, M<sub>62</sub>, M<sub>69</sub>, M<sub>70</sub>, M<sub>94</sub>, M<sub>101</sub>, M<sub>102</sub>, M<sub>126</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.



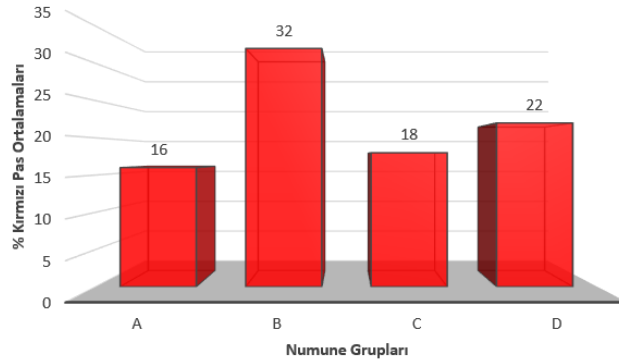
**Şekil 8.8:** A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 3.

Şekil 8.9’da ki numunelerin özelliklerinin karşılaştırılması yapılırken üretim yöntemi olarak lazer ve punch makinelerinde delme ve kesme işlemi gören dört köşesinde ve ortasında kare delik bulunan düz plakalar karşılaştırılmıştır. Grafikteki numunelerin diğer numunelere göre farklı olan özelliği, delik yapısının kare olmasıdır. Grafik incelendiğinde en düşük kırmızı pas oranı M8 numaralı parçada olduğu gözlemlenmektedir. Genel olarak grafiğe baktığımızda, kırmızı pas oranı en düşük olan yöntem punch ile kesim yöntemidir. Delik şeklini karşılaştırırsak, diğer numunelerdeki yuvarlak deliklerin oluşturduğu kırmızı pas oranına göre kare deliklerin pas oranı daha yüksektir. Bunun sebebi kare kesimdeki geometrik şeklin dört noktasında kaplama üzerinde sivri keskin köşeler bıraktığı, bu köşelerin kaplamanın yüzeyden kolayca ayrılmasına sebep olacağı düşünülmektedir. Üretim yöntemi sıralaması yaparsak, punch kesim ve delim işlemlerinin lazer işlemine göre daha avantajlı olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 8.10’da ki farklı özellikteki saclar karşılaştırıldığında ise kırmızı pas oranlarının ortalamaları alındığında %16’lık ortalama ile en düşük kırmızı pas oranına sahip grubun A grubu olduğu görülmüştür.





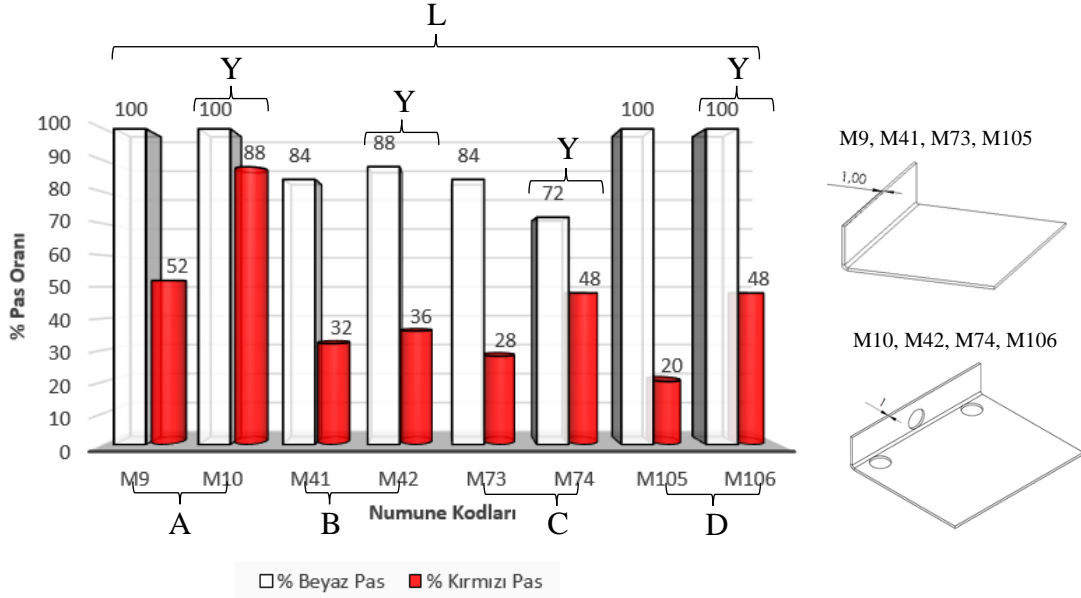
**Şekil 8.9:** M<sub>7</sub>, M<sub>8</sub>, M<sub>39</sub>, M<sub>40</sub>, M<sub>71</sub>, M<sub>72</sub>, M<sub>103</sub>, M<sub>104</sub>, numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.



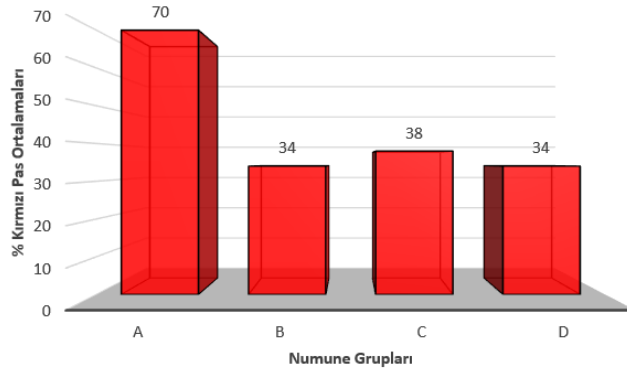
**Şekil 8.10:** A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 4.

Şekil 8.11’de ki numunelerin karşılaştırılması yapılırken üretim yöntemi sabit tutulmuştur. Tüm numuneler lazer makinesinde kesim ve delim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler aynı ölçülerde L büküm işlemi yapılmıştır. Bu karşılaştırmada büküm noktalarına yakın olan delik kesimlerinin korozyona etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Şekil 8.11’de, deliklerin büküm noktalarına yakın olan numunelerde kırmızı pas oranlarının daha yüksek çıktığı görülmüştür. Sadece büküm işlemi gerçekleştirilen numuneler ise delik olan numunelere göre daha az kırmızı pas oranına sahiptir. Fakat diğer Şekil 8.3, Şekil 8.5, Şekil 8.7 ve Şekil 8.9’a göre karşılaştırma yapıldığında ise kırmızı pas oranlarında büküm işlemi gerçekleştirildiği için artış olduğu gözlemlenmektedir. Bu artışın sebebi ise plastik şekil verme işlemlerinde kaplamanın zarar görmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir. En düşük kırmızı pas oranı M105 numaralı D grubuna ait numunede %20’dir. Büküm ve delik olan parçalarda en düşük

kırmızı pas oranı olan numune ise M42 kodlu numunedir. Beyaz pas oranına bakıldığında C grubu numunelerin daha üstün bir performans gösterdiği gözlemlenmektedir. Şekil 8.12’de kırmızı pas ortalamaları alındığında sac gruplarından B ve D grubunun ortalama olarak diğer iki gruptan daha düşük bir oran oluşturduğu gözlemlenmiştir.



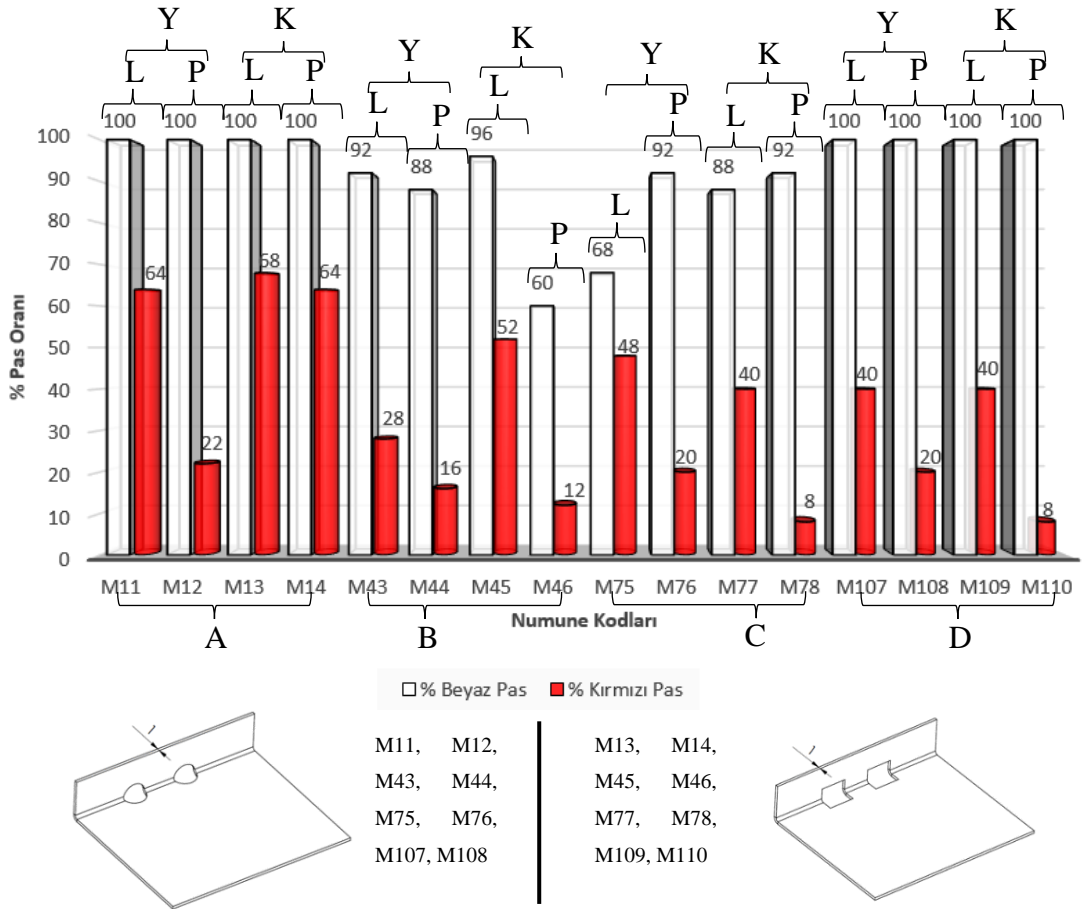
Şekil 8.11: M<sub>9</sub>, M<sub>10</sub>, M<sub>41</sub>, M<sub>42</sub>, M<sub>73</sub>, M<sub>74</sub>, M<sub>105</sub>, M<sub>106</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.



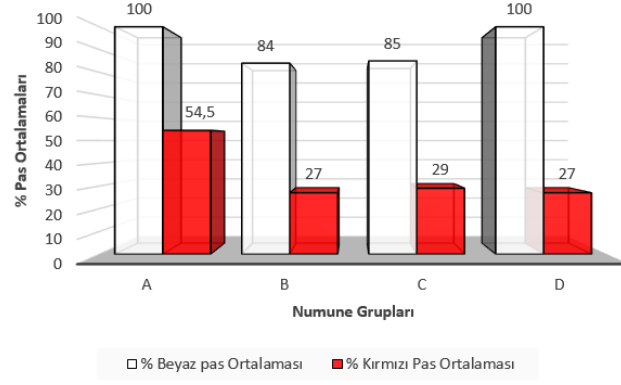
Şekil 8.12: A, B, C, D gruplarının % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 5.

Şekil 8.13’de numuneler hem lazer hem de punch üretim yöntemi açısından karşılaştırılmıştır. Delik yöntemleri ise kare ve yuvarlak deliklerdir. Büküm yöntemi sabit tutulmuştur. Burada hem kesim yöntemi hem de delik yöntemi karşılaştırılması yapılabilir.

Kesim yöntemlerine bakıldığında grafikte punch kesimi ile hazırlanan numunelerin lazer kesim yöntemine göre hazırlanan numunelerde kırmızı pas oranları daha düşüktür. En düşük oran M78 ile M110'a aittir. Delik cinslerine göre değerlendirme yapıldığında ise kare delik yönteminin bu büküm koşulunda daha az kırmızı pas oranlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8.14'da genel olarak sac kalitelerinin beyaz pas oranına bakıldığında B grubunun beyaz pas oranının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kırmızı pas oranında ise B ve D gruplarının oransal ortalamalarının daha düşük olduğu gözlemlenmektedir.

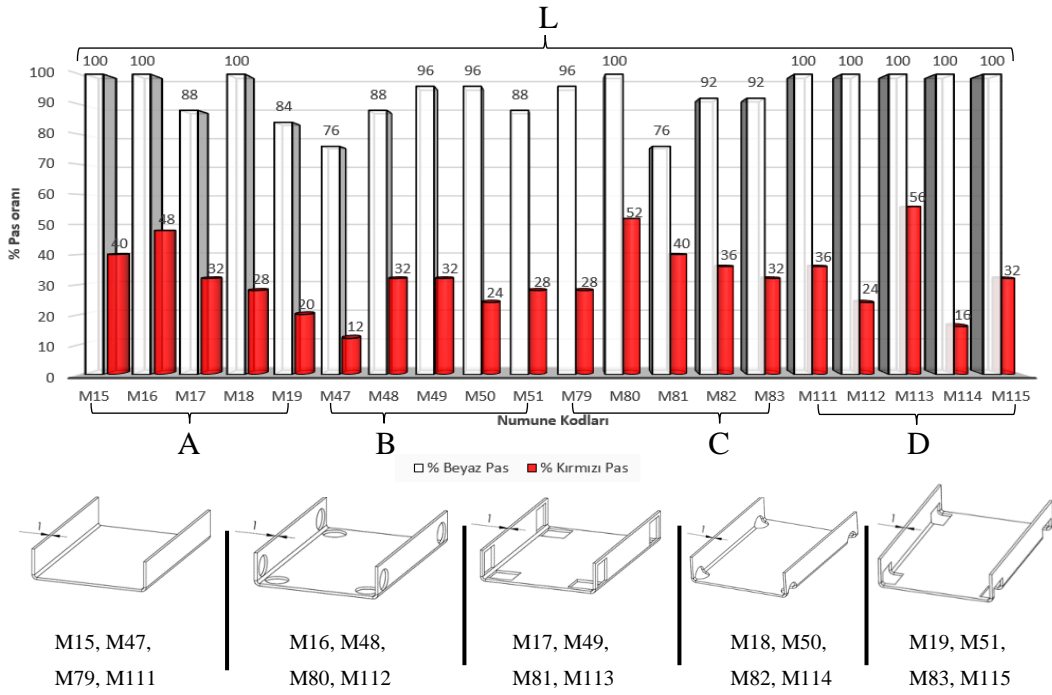


Şekil 8.13: M<sub>11</sub>, M<sub>12</sub>, M<sub>13</sub>, M<sub>14</sub>, M<sub>43</sub>, M<sub>44</sub>, M<sub>45</sub>, M<sub>46</sub>, M<sub>75</sub>, M<sub>76</sub>, M<sub>77</sub>, M<sub>78</sub>, M<sub>107</sub>, M<sub>108</sub>, M<sub>109</sub>, M<sub>110</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

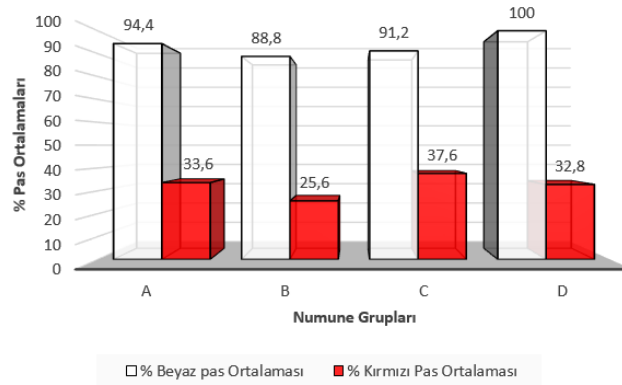


**Şekil 8.14:** A, B, C, D gruplarının % Beyaz pas ve % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 1.

Şekil 8.15’de ki numunelerde kesim yöntemi olarak sadece lazer yöntemi kullanılmıştır. Büküm yöntemi olarak U büküm yöntemi kullanılmıştır. Bazı numuneler deliksiz, bazıları yuvarlak delikli ve büküm noktasına yakın, bazı numuneler kare delikli ve büküm noktasına yakın, bazıları yuvarlak ve büküm noktasında, bazıları ise kare ve büküm noktasında olan numunelerdir. Bu numuneler karşılaştırıldığında deliksiz ve U büküm yapılmış numunelerin kırmızı pas oranı M47 numaralı B grubu numune de %12’lik bir oran ile tüm numunelere göre en düşük kırmızı pas oranı gözlemlenmiştir. Deliklerin büküm noktalarına yakın olduğu ve delik çeşidinin ise yuvarlak olduğu numunelerde, D grubundaki M112 numunesi %24’lük oranla karşılaştırılan numuneler arasında en düşük kırmızı pas oranına sahiptir. Kare delik olarak büküm noktasına yakın olan numunelerde ise A ve B gruplarındaki M17 ve M49 numuneleri %32’lik oranla en düşük kırmızı pas oranlarına sahiptir. Yuvarlak delik çeşidi ve büküm noktasında olan numunelere bakıldığında ise D grubunda bulunan M114 numaralı numune %16 oran ile karşılaştırılan numuneler arasında düşük orana sahiptir. Kare delik çeşidi ve büküm noktasındaki olan numune çeşitlerinde A grubundaki M47 numaralı numune %20 oranla karşılaştırılan numuneler içinde en düşük orana sahiptir. Şekil 8.16’da sac kalitelerine göre gruplara bakıldığında en az beyaz pas ortalama oranına sahip grup bu büküm çeşidi için B grubudur. En az kırmızı pas ortalamasına bakıldığında bu büküm için en az orana sahip grup yine B grubudur.



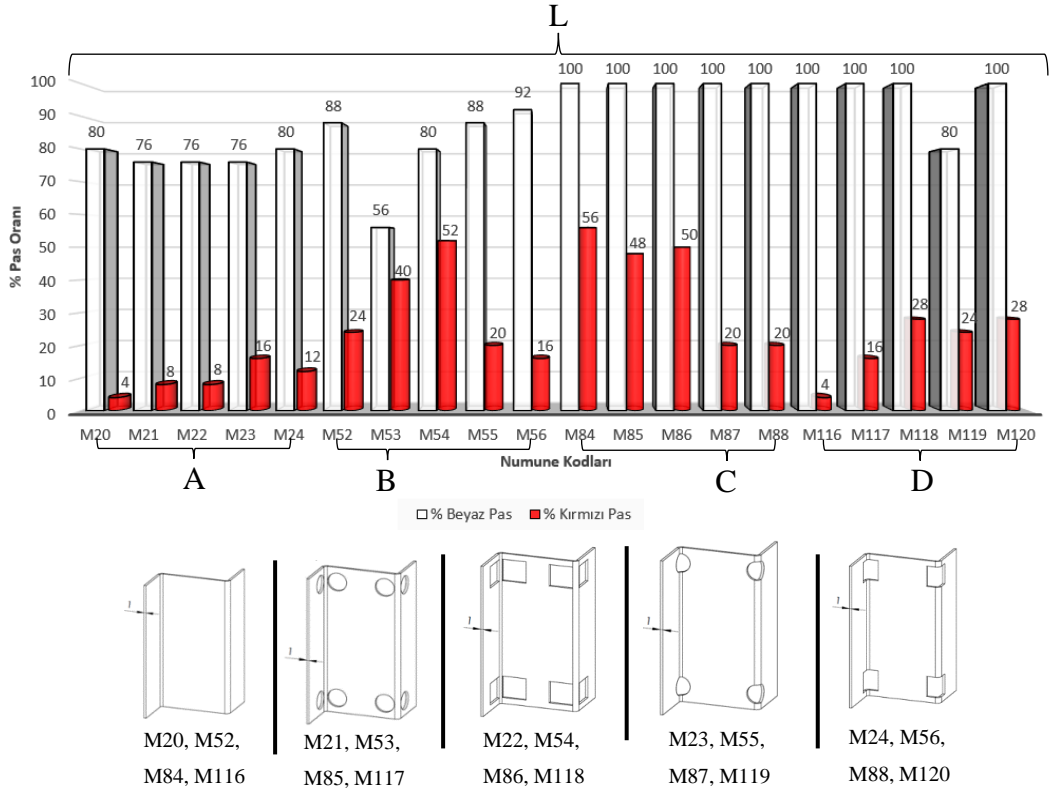
**Şekil 8.15:** M<sub>15</sub>, M<sub>16</sub>, M<sub>17</sub>, M<sub>18</sub>, M<sub>19</sub>, M<sub>47</sub>, M<sub>48</sub>, M<sub>49</sub>, M<sub>50</sub>, M<sub>51</sub>, M<sub>79</sub>, M<sub>80</sub>, M<sub>81</sub>, M<sub>82</sub>, M<sub>83</sub>, M<sub>111</sub>, M<sub>112</sub>, M<sub>113</sub>, M<sub>114</sub>, M<sub>115</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.



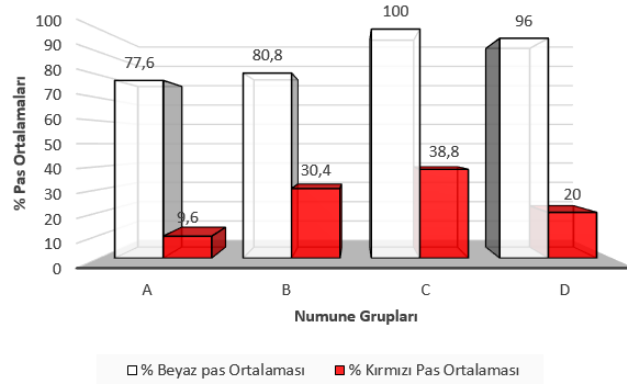
**Şekil 8.16:** A, B, C, D gruplarının % Beyaz pas ve % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 2.

Şekil 8.17’de ki numunelerde kesim yöntemi lazer kesim ve büküm yöntemi z büküm olarak sabit tutulmuştur. Farklı olarak; deliksiz, yuvarlak delikli büküm noktasına yakın, kare delikli büküm noktasına yakın, yuvarlak delikli büküm noktasında ve kare delikli büküm noktasına olacak şekilde numuneler karşılaştırılmıştır. Deliksiz numunelere baktığımızda A ve D gruplarına ait M20 ve M116 numaralı numuneler %4'lük kırmızı pas oranı ile en düşük orana sahiptirler. Yuvarlak delikli ve büküm noktalarına yakın olan numuneler

incelendiğinde A grubunda bulunan M21 numaralı numune %8'lik oranla karşılaştırılan numuneler arasından en az kırmızı pas oranına sahiptir. Kare delikli ve büküm noktasına yakın olan numuneler karşılaştırıldığında A grubunda bulunan M22 numaralı numune %8'lik bir oranla en düşük kırmızı pas değerine sahiptir. Yuvarlak delikli ve büküm noktasında bulunan numuneler karşılaştırıldığında ise A grubunda bulunan M23 numaralı numune %16 oranla en düşük kırmızı pas oranına sahiptir. Büküm noktasında kare delikli numuneler karşılaştırıldığında ise A grubunda bulunan M24 numaralı numune %12'lik oranla karşılaştırılan gruplar içinde düşük orana sahiptir. Bu numuneler incelendiğinde, bu büküm yöntemine göre A grubu özellikli sacların diğer numunelere göre korozyona karşı direnç gösterdikleri gözlemlenmiştir. Şekil 8.18'de ki beyaz pas oranlarının ortalamalarına bakıldığında A grubu numuneler %77.6'lık bir oranla gene en az orana sahiptirler. Kırmızı pas oranları ortalamaları incelendiğinde A grubu %9.6'lık bir ortalama ile en düşük kırmızı pas oranına sahip grup olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak delikler (yuvarlak ve kare) büküm noktalarında olduğunda kırmızı pas oranları, büküm noktalarına yakın olan deliklere göre daha az kırmızı pas oranına sahip oldukları gözlemlenmiştir.

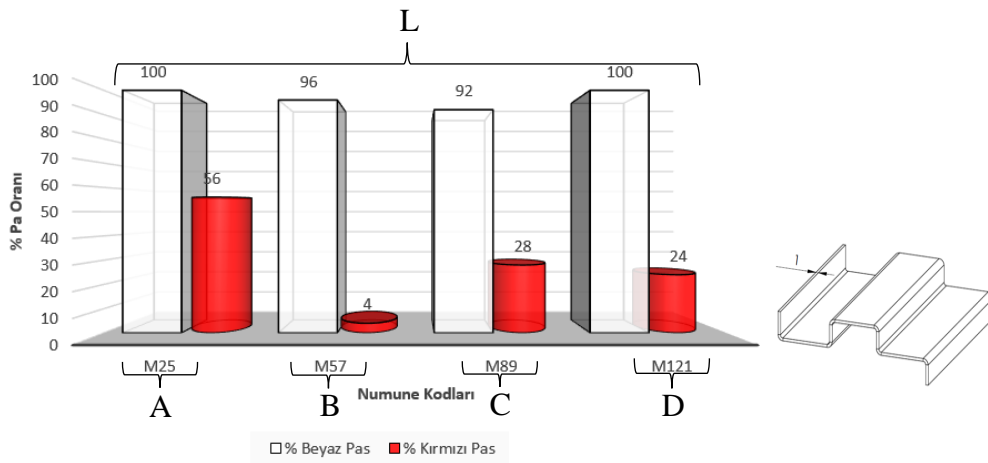


**Şekil 8.17:** M<sub>20</sub>, M<sub>21</sub>, M<sub>22</sub>, M<sub>23</sub>, M<sub>24</sub>, M<sub>52</sub>, M<sub>53</sub>, M<sub>54</sub>, M<sub>55</sub>, M<sub>56</sub>, M<sub>84</sub>, M<sub>85</sub>, M<sub>86</sub>, M<sub>87</sub>, M<sub>88</sub>, M<sub>116</sub>, M<sub>117</sub>, M<sub>118</sub>, M<sub>119</sub>, M<sub>120</sub> numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.



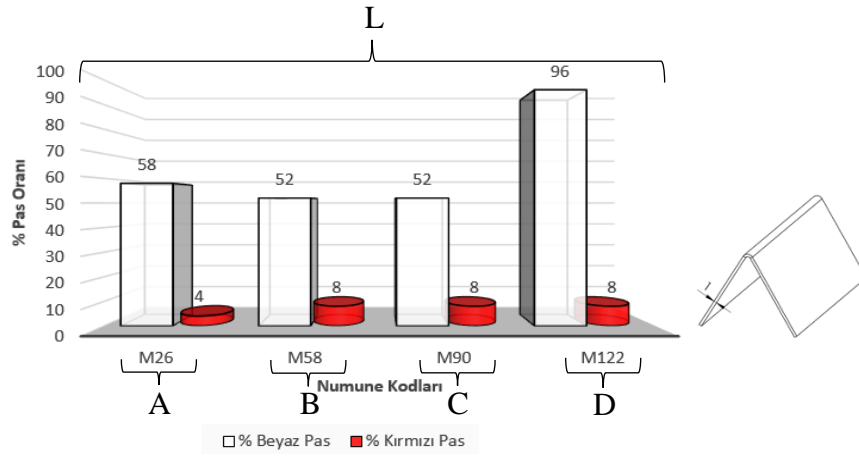
**Şekil 8.18:** A, B, C, D gruplarının % Beyaz pas ve % Kırmızı pas ortalamalarının karşılaştırılması 3.

Şekil 8.19’da ki karşılaştırma yapılırken kesim yöntemi lazer kesim ve büküm yöntemi çoklu büküm olarak sabit tutulmuştur. Çoklu bükümde hangi sacın daha iyi bir korozyon performans göstereceği irdelenmiştir. Grafiğe bakıldığında, B grubunda bulunan M57 numaralı numune diğer numunelere göre %4 kırmızı pas oranıyla en düşük orana sahiptir. Grupların sıralaması en düşükten en yükseğe doğru yapıldığında  $B < D < C < A$  şeklindedir. Kaplama gramajı yüksek olan grupların daha az kırmızı pas oluşumu yaptıkları gözlemlenmiştir. Beyaz pas oranları ise C grubunda daha azdır. C grubunun beyaz pas tamamını oluşturmadan kırmızı pasa geçiş yaptığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi plastik şekil verme işlemleri esnasında kaplamanın yüzey gerilmelerine dayanamayıp altlık malzeme ile bağlarını kopararak yüzeyden ayrılmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 8.19:** M<sub>25</sub>, M<sub>57</sub>, M<sub>89</sub>, M<sub>121</sub>, numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

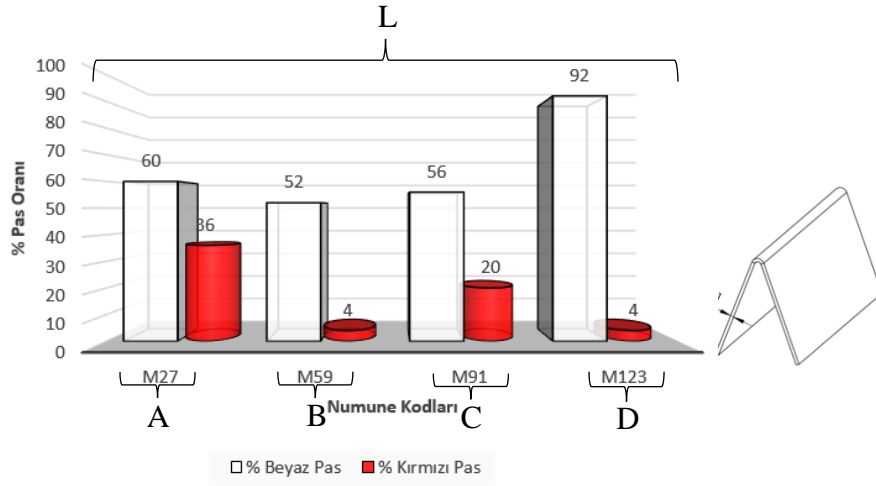
Şekil 8.20’de ki numuneler kesim ve büküm yöntemi olarak sabit tutulmuş, lazer kesim ile 60° büküm yöntemi kullanılan bu numunelerde karşılaştırma sağlanmıştır. Grafiğe bakıldığında ise A grubunda bulunan M26 numaralı numunenin %4'lük oranla en az kırmızı pas değerine sahip olduğu gözlemlenmektedir. Beyaz pas oranlarına bakıldığında ise B ve C grubundaki numuneler de daha az oran gözlemlenmektedir. D grubunda ise tüm yüzey alanında neredeyse beyaz pas bittikten sonra kırmızı pas olduğu gözlemlenmiştir ve kırmızı pas oranı diğerleriyle aynı oranlardadır.



**Şekil 8.20:** M<sub>26</sub>, M<sub>58</sub>, M<sub>90</sub>, M<sub>122</sub>, numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

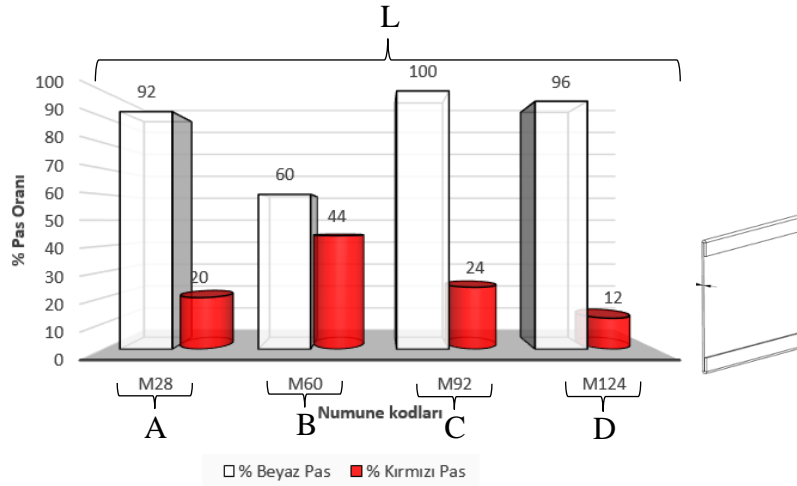
Şekil 8.21’de ki numuneler de kesim yöntemi ve büküm çeşidi sabit tutulmuştur. Üretim yöntemi lazer yöntemi ve büküm yöntemi 40 derece bükümdür. Grafik incelendiğinde en az kırmızı pas oranları %4'lük kırmızı pas oranlarıyla B ve D grubuna ait M59 ve M123 numaralı numunelerde gözlemlenmektedir. Fakat D grubunda tüm beyaz pas yüzeyde neredeyse tamamlanmışken B grubunda tamamlanmadığı gözlemlenmektedir. En düşük beyaz pas oranına sahip grup ise B grubudur.





**Şekil 8.21:** M<sub>27</sub>, M<sub>59</sub>, M<sub>91</sub>, M<sub>123</sub>, numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

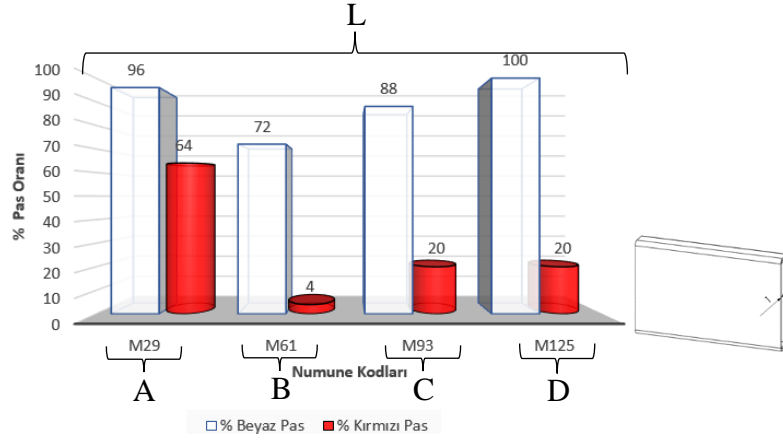
Şekil 8.22’de bulunan numunelerde kesim ve büküm yöntemleri sabit tutulmuştur. Kesim yöntemi lazer yöntemi, büküm ise katlamalı büküm olarak yapılmıştır. Grafik incelendiğinde D grubu numunesinde kırmızı pas oranı en düşük numunedir. Beyaz pas olarak B grubu numunesinin daha az orana sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu grupta oluşan kırmızı pas en yüksek orana sahiptir. Bu sonuca göre kaplama bitmeden direkt altlık malzemenin oksitlenmeye başladığı açıkça anlaşılmaktadır.



**Şekil 8.22:** M<sub>28</sub>, M<sub>60</sub>, M<sub>92</sub>, M<sub>124</sub>, numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

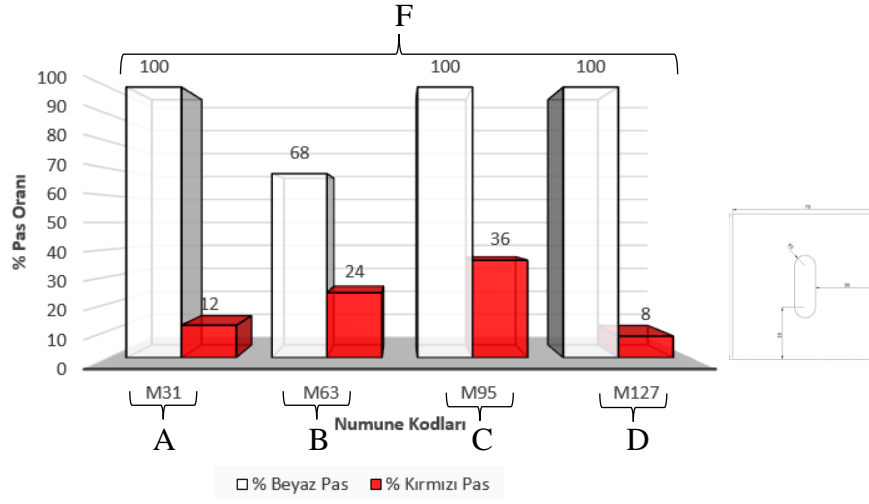
Şekil 8.23’de numuneler incelendiğinde kesim yöntemi olarak lazer, büküm yöntemi olarak hem 90 derece hem de katlamalı büküm yöntemi kullanılmıştır. Fakat 90 derece büküm daha

dar ağızlı bir kalıpta gerçekleştirilmiştir. Grafik incelendiğinde B grubu numunesi kırmızı pas olarak %4'lük bir oranla en düşük orana sahiptir. Fakat beyaz pas olarak da en düşüktür, B grubu diğer gruplara göre bu büküm yönteminde üstün bir performans göstermiştir. Şekil 8.23'de Şekil 8.22'nin tam tersi bir durum gözlemlenmektedir. Büküm yöntemlerinden Şekil 8.23'de daha fazla deformasyon olmasına rağmen B grubunda Şekil 8.22 e göre daha az kırmızı pas oranı gözlemlenmektedir. Bu durum şekil verme esnasında metal parçanın elektriksel olarak yük dengelerinin değişip anot ve katot dengelerinin etkilendiğinden dolayı olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 8.23:** M<sub>29</sub>, M<sub>61</sub>, M<sub>93</sub>, M<sub>125</sub>, numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

Şekil 8.24'da üretim yöntemi olarak dış kesimleri lazer makinesinde, içte bulunan delik yuvası ise freze makinesinde yapılmıştır. Grafik incelendiğinde D grubunda bulunan M127 numaralı parça en düşük % kırmızı pas oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir. En düşük beyaz pas oranına ise B grubu numunesi sahiptir. Beyaz pas tamamı oluşmadan ürün kırmızı pas geçişi burada da gözlemlenmektedir.



**Şekil 8.24:** M<sub>31</sub>, M<sub>63</sub>, M<sub>95</sub>, M<sub>127</sub>, numunelerinin % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranı karşılaştırması.

Gözlemler ve veriler neticesinde genel olarak aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

1. B grubu numunelerinde kaplama kalınlığı ve kaplama kalitesinden dolayı beyaz pas oluşumu yavaştır.
2. Büküm işlemi yapılmamış numunelerde kaplama kalınlığı fazla olan gruplarda kırmızı pas oluşumu daha azdır.
3. Punch makinesi ile kesim işlemi yapılan numunelerde, diğer makinelerle kesim işlemi yapılan numunelere göre daha az kırmızı pas oluşumu gözlemlenmiştir.
4. Levha numunelerde kare delikler, diğer delik yöntemlerine göre daha fazla kırmızı pas oranına sahiptir. Fakat L büküm işlemlerinde kare delikler, diğer delik yöntemlerine göre daha az kırmızı pas oluşum performansı göstermişlerdir.
5. L büküm işlemi gerçekleştirildiğinde kırmızı pas oranında levha saçlara göre artış gözlemlenmiştir.
6. L büküm işleminde, punchta işlenen numunelerde lazerde işlenen numunelere göre daha az kırmızı pas oluşumu gözlemlenmiştir.

7. L, U ve çoklu büküm çeşitlerinde DX51D+Z275 (B grubu) kalite sacın kırmızı ve beyaz pas oranlarında daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.
8. Büküm noktalarına yakın olan kare deliklerin paslanma oranları, diğer delik yöntemlerine göre daha azdır.
9. Z büküm çeşidinde DX51D+Z100 (A grubu) kalite çelik, diğer çelik kalitelerine göre üstün bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.
10. Büküm çeşitlerinin tümünde deliğe yakın olan kare delikler, en az kırmızı pas performansı gösteren çeşittir. Bunun takip eden büküm noktasına yakın olan yuvarlak deliklerde kare deliklerden sonra geldiği gözlemlenmiştir.
11. 90 derece çoklu büküm yapıldığında DX51D+Z275 (B grubu), diğer kalite saclara göre daha iyi bir kırmızı pas performansı göstermiştir.
12. V büküm ve katlamalı büküm işlemleri incelendiğinde DX52D+Z275 (D grubu) kalitedeki sacın, diğer sac kalitelerine göre daha az kırmızı pas oranı oluşturduğu gözlemlenmiştir.
13. Hem katlamalı büküm hem de 90 derece daha dar kalıpta büküm gerçekleştirilerek oluşturulan numunelerde DX52D+Z275 (D grubu) kalite sacın daha iyi bir performansta kırmızı pas ve beyaz pas oluşumu gözlemlenmiştir.
14. Lazer ile kenar kesimleri yapılan, daha sonrasında frezede yuvarlak delik ve yuva delikler açılan numunelerde, DX52D+Z275 (D grubu) kalite sacın diğer sac kalitelerine göre daha iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

### **8.3 ICP-OES Pas Analiz Sonucu**

Tuz sisi testi numunelerinde gözlemlenen beyaz pas ve kırmızı pasların içeriklerinin ICP-OES pas analizi yöntemiyle analiz edilmesi sonucunda;

- Kırmızı pas örneğinin içeriğinde %34.8 oranında Fe atomu içeriğine rastlanılmıştır.
- Beyaz pas örneğinin sonucunda ise %70.5 Oranında Zn atomu içeriğine rastlanılmıştır.

Sonuç olarak, oluşan beyaz pasın çinko kaplama kaynaklı olduğu kırmızı pasın ise altlık malzemede bulunan demir atomundan kaynaklı paslar olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 8.4 Gerçek Dünya Testi Deney Sonuçları

Hassas terazi ile yapılan 4 haftalık ölçümler sırasıyla M, N, P, R grupları için Tablo 8.5-8.9 arasında, X, Y, T, Z grupları için ise 4 haftalık ölçümler Tablo 8.10-8.14 arasında verilmiştir.

**Tablo 8.5:** Atmosferik ortama bırakılacak numunelerin kütle ölçümleri.

25.04.2024				
Atmosferik ortam kütle ölçümleri				
Numune kod.	M (g)	N (g)	P (g)	R (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.7272	37.8680	37.6876	37.9419
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.9152	36.6037	36.4366	36.8706
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.8630	36.6733	36.5509	36.9452
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2913	36.0442	36.8118	36.4844
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.7465	37.5781	37.7941	37.8110
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7750	38.1492	38.6698	37.6655
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.3524	31.0681	31.1470	31.2168
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.8339	38.1689	37.7554	37.8018
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.3340	48.2344	48.9442	48.8240

Referans ölçüm

**Tablo 8.6:** Atmosferik ortam 1. hafta kütle ölçümleri.

02.05.2024		Atmosferik ortam kütle ölçümleri		
Numune kod.	M (g)	N (g)	P (g)	R (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.7245	37.8670	37.6872	37.9365
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.9135	36.6002	36.4299	36.8673
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.8585	36.6702	36.5473	36.9410
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2890	36.0422	36.8068	36.4807
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.7452	37.5749	37.7868	37.8080
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7736	38.1479	38.6667	37.6638
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.3481	31.0666	31.1275	31.2130
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.8315	38.1686	37.7313	37.7812
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.3309	48.2305	48.9320	48.8230

1. Ölçüm

**Tablo 8.7:** Atmosferik ortam 2. hafta kütle ölçümleri.

09.05.2024		Atmosferik ortam kütle ölçümleri		
Numune kod.	M (g)	N (g)	P (g)	R (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.7233	37.8668	37.6842	37.9343
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.9113	36.5971	36.4248	36.8619
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.8531	36.6684	36.5454	36.9346
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2854	36.0414	36.8020	36.4803
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.7419	37.5745	37.7786	37.8057
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7720	38.1428	38.6656	37.6595
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.3465	31.0661	31.1243	31.2128
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.8270	38.1636	37.7057	37.7353
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.3293	48.2260	48.9194	48.8230

2. Ölçüm

**Tablo 8.8:** Atmosferik ortam 3. hafta kütle ölçümleri.

16.05.2024		Atmosferik ortam kütle ölçümleri		
Numune kod.	M (g)	N (g)	P (g)	R (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.7200	37.8630	37.6832	37.9301
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.9076	36.5945	36.4210	36.8590
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.8472	36.6668	36.5450	36.9305
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2817	36.0380	36.7979	36.4760
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.7389	37.5717	37.7712	37.8005
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7696	38.1405	38.6612	37.6570
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.3450	31.0630	31.1230	31.2113
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.8265	38.1610	37.7051	37.7335
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.3276	48.2240	48.9158	48.8227

3. Ölçüm

**Tablo 8.9:** Atmosferik ortam 4. hafta kütle ölçümleri.

23.05.2024		Atmosferik ortam kütle ölçümleri		
Numune kod.	M (g)	N (g)	P (g)	R (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.7180	37.8589	37.6820	37.9301
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.8997	36.5944	36.4175	36.8560
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.8455	36.6570	36.5445	36.9305
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2790	36.0358	36.7807	36.4760
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.7380	37.5704	37.7667	37.8004
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7692	38.1377	38.6610	37.6543
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.3440	31.0620	31.1178	31.2106
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.8254	38.1608	37.7045	37.7327
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.3266	48.2190	48.9150	48.8219

4. Ölçüm

**Tablo 8.10:** Sanayi ortamına bırakılacak numunelerin kütle ölçümleri.

25.04.2024		Sanayi ortamı kütle ölçümleri		
Numune kod.	X (g)	Y (g)	T (g)	Z (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	38.0211	38.0428	37.9052	37.7712
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.8537	36.4000	36.7139	36.8303
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.7235	36.9365	36.5240	36.9200
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.3392	36.6958	36.8397	36.2626
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.8647	37.9766	37.5081	37.9717
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.8546	38.2225	38.1277	37.7897
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.3062	31.1446	31.1261	31.3810
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.9299	38.3017	37.8145	38.0163
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.7999	49.2061	49.0741	48.8512

Referans ölçüm

**Tablo 8.11:** Sanayi ortamı 1. hafta kütle ölçümleri.

02.05.2024		Sanayi ortamı kütle ölçümleri		
Numune kod.	X (g)	Y (g)	T (g)	Z (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.9481	38.0192	37.8778	37.7172
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.7627	36.3617	36.6347	36.7635
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.6945	36.8845	36.4218	36.8201
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2951	36.6308	36.8004	36.2132
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.8312	37.9443	37.4466	37.9150
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7874	38.1700	38.0457	37.7349
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.2227	31.1150	31.0901	31.2970
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.8924	38.2286	37.7267	37.9470
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.7567	49.1517	49.0314	48.7882

1. Ölçüm



**Tablo 8.12:** Sanayi ortamı 2. hafta kütle ölçümleri.

09.05.2024		Sanayi ortamı kütle ölçümleri		
Numune kod.	X (g)	Y (g)	T (g)	Z (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.9103	37.9964	37.8510	37.6707
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.7393	36.3263	36.5866	36.7097
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.6506	36.8410	36.3922	36.7620
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2623	36.5928	36.7597	36.1739
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.8127	37.8981	37.3784	37.8078
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7657	38.1256	37.9809	37.6573
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.1675	31.0645	31.0168	31.2418
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.7560	38.1343	37.6233	37.8927
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.7172	49.1008	48.9512	48.7074

2. Ölçüm

**Tablo 8.13:** Sanayi ortamı 3. hafta kütle ölçümleri

16.05.2024		Sanayi ortamı kütle ölçümleri		
Numune kod.	X (g)	Y (g)	T (g)	Z (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.9024	37.9860	37.8310	37.6555
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.7253	36.3165	36.5600	36.6916
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.6335	36.8253	36.3723	36.7375
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2500	36.5778	36.7330	36.1520
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.7858	37.8780	37.3148	37.8020
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7515	38.0868	37.9467	37.6340
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.1477	31.0443	30.9723	31.2150
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.7441	38.1077	37.6184	37.8665
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.7070	49.0870	48.9150	48.6772

3. Ölçüm

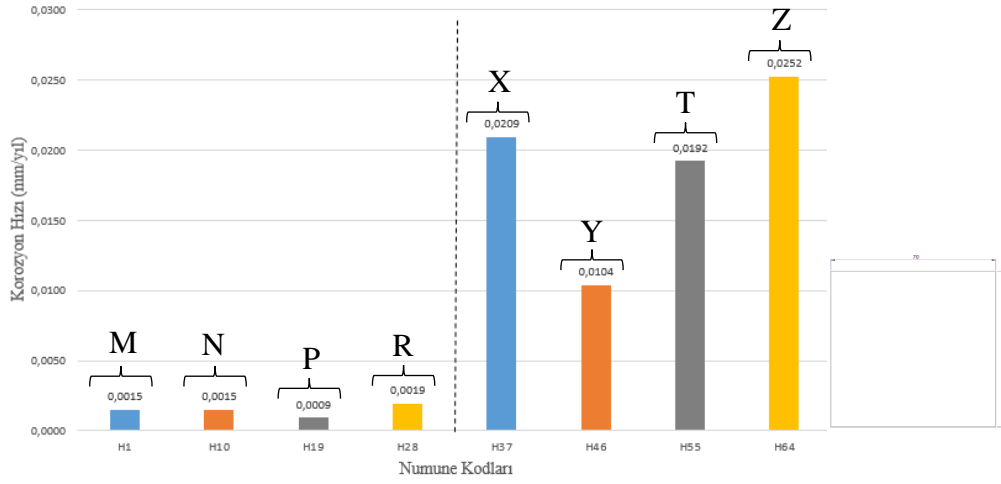
**Tablo 8.14:** Sanayi ortamı 4. hafta kütle ölçümleri

23.05.2024	Sanayi ortamı kütle ölçümleri			
Numune kod.	X (g)	Y (g)	T (g)	Z (g)
H <sub>1</sub> /H <sub>10</sub> /H <sub>19</sub> /H <sub>28</sub>	37.8941	37.9798	37.7885	37.6180
H <sub>2</sub> /H <sub>11</sub> /H <sub>20</sub> /H <sub>29</sub>	36.7050	36.2864	36.5375	36.6480
H <sub>3</sub> /H <sub>12</sub> /H <sub>21</sub> /H <sub>30</sub>	36.6086	36.8106	36.3360	36.7060
H <sub>4</sub> /H <sub>13</sub> /H <sub>22</sub> /H <sub>31</sub>	36.2070	36.5570	36.7028	36.1115
H <sub>5</sub> /H <sub>14</sub> /H <sub>23</sub> /H <sub>32</sub>	37.7373	37.8555	37.2600	37.7427
H <sub>6</sub> /H <sub>15</sub> /H <sub>24</sub> /H <sub>33</sub>	37.7330	38.0832	37.9000	37.5961
H <sub>7</sub> /H <sub>16</sub> /H <sub>25</sub> /H <sub>34</sub>	31.1161	31.0150	30.8990	31.1745
H <sub>8</sub> /H <sub>17</sub> /H <sub>26</sub> /H <sub>35</sub>	37.7336	38.1077	37.5950	37.8565
H <sub>9</sub> /H <sub>18</sub> /H <sub>27</sub> /H <sub>36</sub>	48.6765	49.0719	48.8690	48.6080

4. Ölçüm

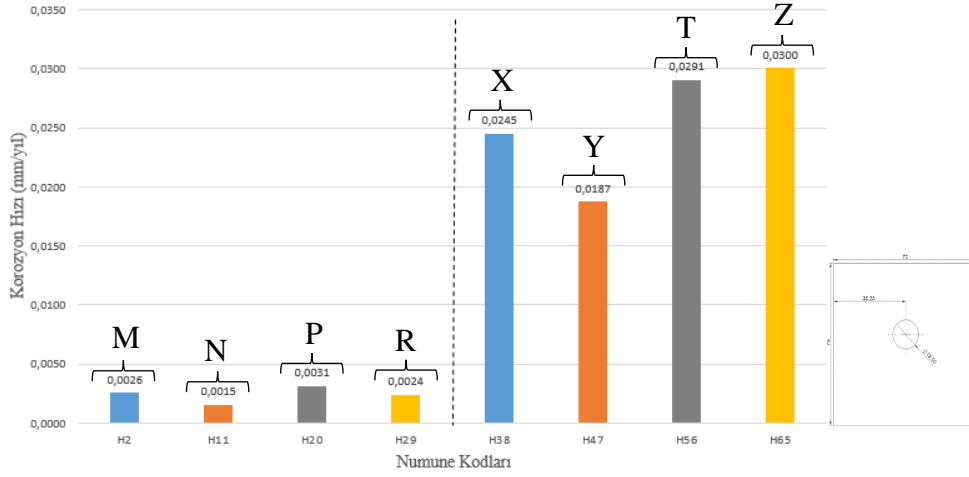
Korozyon hızları, referans ölçümler ve son ölçüm ağırlık farkı ile hesaplandıktan sonra, her numune için iki ortam ile birlikte sütun grafiklerine dönüştürülerek karşılaştırılmıştır.

Şekil 8.25 incelendiğinde, lazer ile etrafı kesilmiş düz plaka numuneler atmosferik korozyon şartları altında, P grubu numunelerin korozyon hızının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı ortamda, R grubu numunelerinin ise korozyon hızlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi koşullarındaki ortamlar incelendiğinde, atmosferik ortama göre numunelerin daha yüksek korozyon hızlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi koşullarında, Y grubuna ait numunenin korozyon hızının daha düşük olduğu, Z grubu numunesinin ise daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Korozyon hızı atmosferik şartlar altında en düşük olan çelik kalite grubu DX52D+Z100, en yüksek hıza sahip grup ise DX52D+Z275'tir. Sanayi koşulları altında korozyon hızı düşük olan DX51D+Z275 kalite ve en yüksek hıza sahip olan DX52D+Z275 kalite sac grubudur.



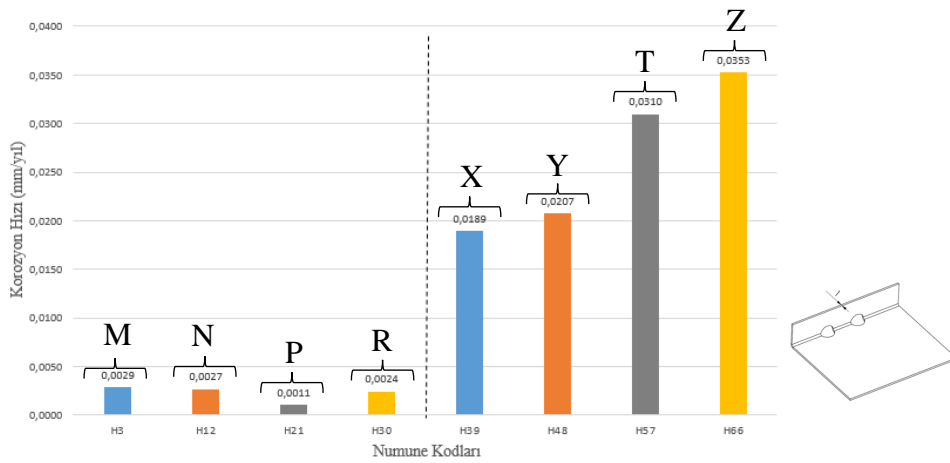
**Şekil 8.25:** H<sub>1</sub>, H<sub>10</sub>, H<sub>19</sub>, H<sub>28</sub>, H<sub>37</sub>, H<sub>46</sub>, H<sub>55</sub>, H<sub>64</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

Şekil 8.26’da lazer ile kesilmiş ve ortası delinmiş düz plaka numuneler karşılaştırılmıştır. Atmosferik ortama maruz bırakılan numunelerde, N grubuna ait numunenin korozyon hızının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı ortamda, P grubuna ait numunenin ise korozyon hızının en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi şartları altında bırakılan numuneler incelendiğinde, Y grubuna ait numunelerin korozyon hızının düşük, Z grubuna ait numunelerin korozyon hızının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çelik kalite gruplarına bakıldığında, DX51D+Z275 kalite sacın bu kesim şartı için hem atmosferik hem de sanayi ortamında daha düşük korozyon hızı performansı sergilediği gözlemlenmiştir. Atmosferik ortamda DX52D+Z100, sanayi koşullarında ise DX52D+Z275 kalite sacların daha yüksek korozyon hızlarına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



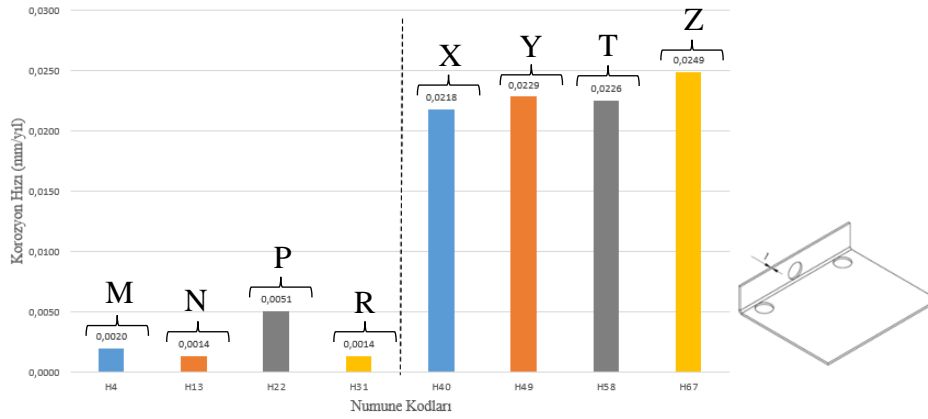
**Şekil 8.26:** H<sub>2</sub>, H<sub>12</sub>, H<sub>20</sub>, H<sub>29</sub>, H<sub>38</sub>, H<sub>47</sub>, H<sub>56</sub>, H<sub>65</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

Şekil 8.27’ de lazer ile kesimi ve delimi yapılmış, L bükümü uygulanmış ve delikler büküm noktasında olan numuneler incelenmiştir. Atmosferik korozyon şartları incelendiğinde, P grubu numunelerin korozyon hızlarının daha düşük, M grubu numunelerin korozyon hızlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi koşullarında korozyon incelemesi yapıldığında, Z grubu numunelerin korozyon hızlarının daha yüksek, X grubunun korozyon hızlarının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Sac kalitelerine bakıldığında, DX52D+Z100 atmosferik koşullarda bu tasarım numunesinde daha az korozyon hızına sahiptir. Aynı numune, sanayi koşullarında DX51D+Z100 kalite sac daha az korozyon hızına sahip olmuştur. En yüksek korozyon hızlarına bakıldığında ise atmosferik şartlarda DX51D+Z100 sahipken, sanayi şartlarında DX52D+Z275 kalite çelik sahiptir.



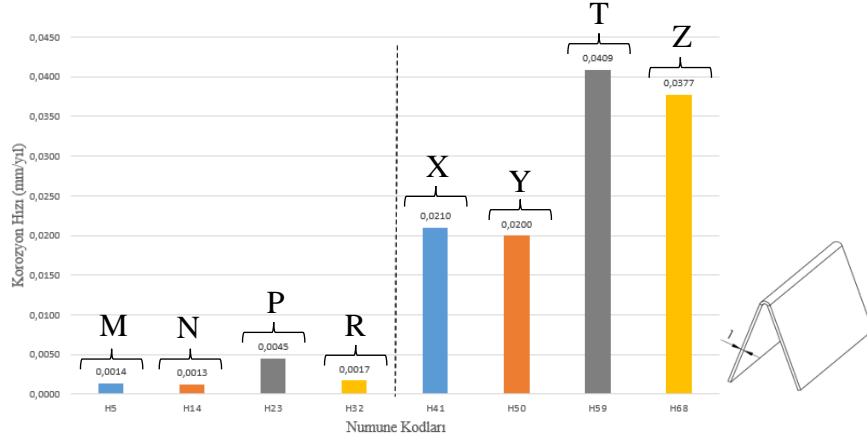
**Şekil 8.27:** H<sub>3</sub>, H<sub>12</sub>, H<sub>21</sub>, H<sub>30</sub>, H<sub>39</sub>, H<sub>48</sub>, H<sub>57</sub>, H<sub>66</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

Şekil 8.28’de lazer ile etrafı kesilmiş ve büküm yerlerine yakın yuvarlak delikleri olan numuneler atmosfer ve sanayi şartlarında incelenmiştir. Atmosferik korozyon şartlarına bırakılan numuneler karşılaştırıldığında, N grubuna ait numunenin korozyon hızlarının düşük, P grubuna ait numunenin korozyon hızlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi şartlarında korozyon hızına bakıldığında, X grubuna ait numunenin en yavaş korozyon hızına, Z grubu numunenin ise en yüksek korozyon hızlarına sahip oldukları gözlemlenmektedir. Sac kaplama gramajlarına göre bakıldığında, atmosferik ortamda Z100 kaplamaya sahip olanlar daha yüksek korozyon oranına sahipken, Z275 daha düşük korozyon hızında olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi ortamına bırakılan numunelerde ise tam tersi bir durum gözlemlenmiştir.



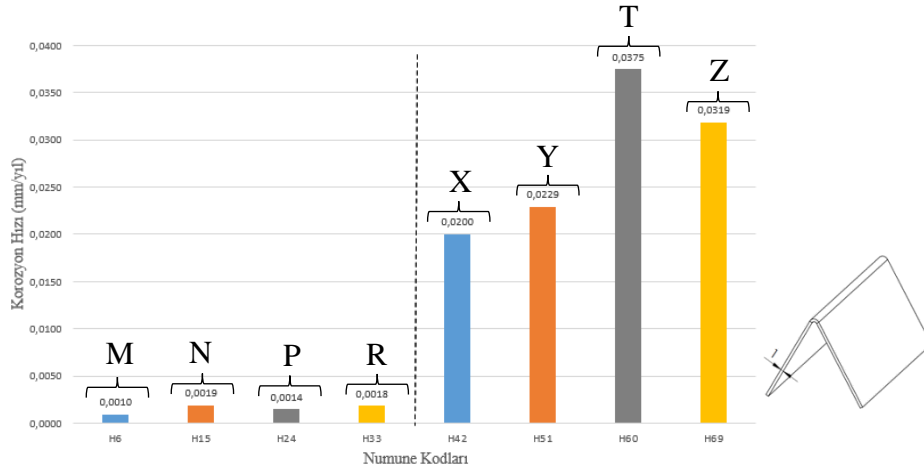
**Şekil 8.28:** H<sub>4</sub>, H<sub>13</sub>, H<sub>22</sub>, H<sub>31</sub>, H<sub>40</sub>, H<sub>49</sub>, H<sub>58</sub>, H<sub>67</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

Şekil 8.29’ da lazer ile kesimi yapılmış ve 40° lik bir büküm açısı verilmiş numuneler incelenmiştir. Atmosferik ortamda da sanayi ortamında da DX51D+Z275 grubuna ait çelik kalitelerinin daha düşük korozyon hızına sahip olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek korozyon hızına bakıldığında ise her iki ortamda da DX52D+Z100 kalite grubuna ait çeliklerin hızlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Atmosfer ve sanayi ortamındaki korozyon hızlarında paralel değişimler mevcuttur.



**Şekil 8.29:** H<sub>5</sub>, H<sub>14</sub>, H<sub>23</sub>, H<sub>32</sub>, H<sub>41</sub>, H<sub>50</sub>, H<sub>59</sub>, H<sub>68</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

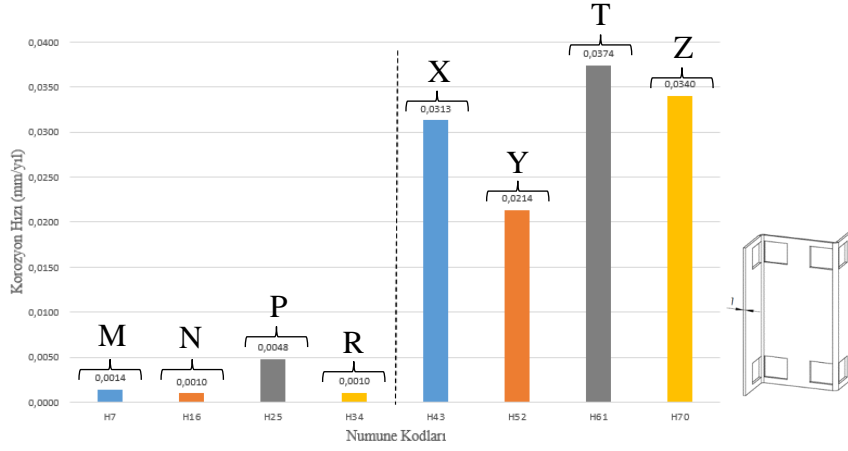
Şekil 8.30’da lazer ile kesimi yapılmış ve 60°’lik büküm açısı verilmiş numuneler incelenmiştir. Atmosferik ortam ve sanayi ortamları incelendiğinde en düşük korozyon hızına sahip numunenin DX51D+Z100 kalite çelik olduğu gözlemlenmiştir. Atmosferik ortamda en yüksek korozyon hızına sahip çelik DX51D+Z275 iken, sanayi ortamı için DX52D+Z100 kalite çeliğin olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.30:** H<sub>6</sub>, H<sub>15</sub>, H<sub>24</sub>, H<sub>33</sub>, H<sub>42</sub>, H<sub>51</sub>, H<sub>60</sub>, H<sub>69</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

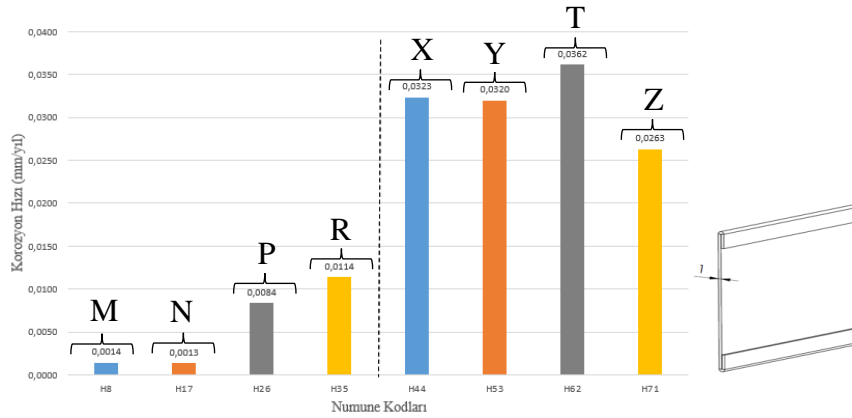
Şekil 8.31’de kesme ve delme işlemleri lazer ile yapılmış ve Z büküm uygulanmış numunelerin atmosfer ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları verilmiştir. Hem atmosferik koşullarda hem de sanayi koşullarında incelendiğinde en düşük korozyon hızına sahip olanın

DX51D+Z275 kalite çelik olduğu gözlemlenmiştir. Atmosferik ve sanayi ortamlarında en yüksek korozyon hızına sahip çelik kalitesi ise DX52D+Z100 olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.31:** H7, H16, H25, H34, H43, H52, H61, H70 numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

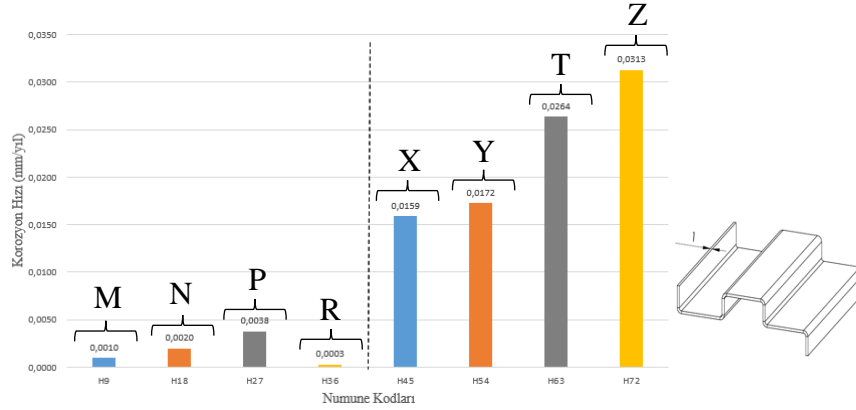
Şekil 8.32’de lazerle kesilen ve katlamalı büküm yapılan numunelerin atmosfer ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları verilmiştir. Atmosferik ortamda, DX51D+Z275 kalite çelik en düşük korozyon hızı olarak gözlemlenmiştir. En yüksek korozyon hızı ise DX52D+Z275’de gözlemlenmiştir. Sanayi ortamlarında ise DX52D+Z275 çelik kalitesinin korozyon hızı düşük olarak gözlemlenmiştir; aynı ortamda en yüksek korozyon hızı ise DX52D+Z100 kalite çelikte gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.32:** H8, H17, H26, H35, H44, H53, H62, H71 numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

Şekil 8.33’de çoklu büküm yapılmış numunelerin atmosfer ve sanayi ortamlarındaki korozyon hızları verilmiştir. Atmosferik koşullar incelendiğinde, en düşük korozyon hızına

sahip olanın DX52D+Z275 kalite çelik olduğu gözlemlenmiştir, en yüksek hıza sahip olan ise DX52D+Z100 olduğu gözlemlenmiştir. Sanayi şartları incelendiğinde ise en düşük korozyon hızına DX51D+Z100 sahipken, en yüksek korozyon hızına sahip kalitenin ise DX52D+Z275 kalite çelik olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 8.33:** H<sub>9</sub>, H<sub>18</sub>, H<sub>27</sub>, H<sub>36</sub>, H<sub>45</sub>, H<sub>54</sub>, H<sub>63</sub>, H<sub>72</sub> numunelerinin atmosferik ve sanayi şartlarındaki korozyon hızları.

Sac kalitelerinin numune tasarımlarına göre karşılaştırılması yapıldığında, atmosferik ortamda bulunan numunelerde çoğunlukla DX51D+Z275 kalite sacın korozyon hızının en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Sıralama yapıldığında  $DX51D+Z275 < DX52D+Z275 < DX52D+Z100 < DX51D+Z100$  kaplama kalitelerinin korozyon hızları düşükten yükseğe doğru sıralanmıştır. Atmosferik korozyon ortamında sac kalitelerine göre en düşük korozyon hızları Tablo 8.15’de verilmiştir.

Sanayi şartları altında sac kalitelerine göre korozyon hızları incelendiğinde, genellikle DX51D+Z100 ve DX51D+Z275 kalite sacların korozyon hızlarının en düşük olduğu gözlemlenmiştir. Sıralama yapıldığında  $DX51D+Z100 \leq DX51D+Z275 < DX52D+Z275 < DX52D+Z100$  olarak sıralanabilir.



**Tablo 8.15:** Atmosferik korozyon ortamındaki numune tasarımlarının sac kalitelerine göre karşılaştırılması.

Numune kodları Sac kaliteleri	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>3</sub>
	H <sub>10</sub>	H <sub>11</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>	H <sub>12</sub>
	H <sub>19</sub>	H <sub>20</sub>	H <sub>21</sub>	H <sub>21</sub>	H <sub>21</sub>	H <sub>21</sub>	H <sub>21</sub>	H <sub>21</sub>	H <sub>21</sub>
	H <sub>28</sub>	H <sub>29</sub>	H <sub>30</sub>	H <sub>30</sub>	H <sub>30</sub>	H <sub>30</sub>	H <sub>30</sub>	H <sub>30</sub>	H <sub>30</sub>
DX51D+Z100							✓		
DX51D+Z275		✓		✓	✓			✓	✓
DX52D+Z100	✓		✓						
DX52D+Z275				✓				✓	✓

**Tablo 8.16:** Sanayi şartlarının korozyon ortamındaki numune tasarımlarının sac kalitelerine göre karşılaştırılması.

Numune kodları Sac kaliteleri	H <sub>37</sub>	H <sub>38</sub>	H <sub>39</sub>	H <sub>40</sub>	H <sub>41</sub>	H <sub>42</sub>	H <sub>43</sub>	H <sub>44</sub>	H <sub>45</sub>
	H <sub>46</sub>	H <sub>47</sub>	H <sub>48</sub>	H <sub>49</sub>	H <sub>50</sub>	H <sub>51</sub>	H <sub>52</sub>	H <sub>53</sub>	H <sub>54</sub>
	H <sub>55</sub>	H <sub>56</sub>	H <sub>57</sub>	H <sub>58</sub>	H <sub>59</sub>	H <sub>60</sub>	H <sub>61</sub>	H <sub>62</sub>	H <sub>63</sub>
	H <sub>64</sub>	H <sub>65</sub>	H <sub>66</sub>	H <sub>67</sub>	H <sub>68</sub>	H <sub>69</sub>	H <sub>70</sub>	H <sub>71</sub>	H <sub>72</sub>
DX51D+Z100			✓	✓		✓			✓
DX51D+Z275	✓	✓			✓		✓		
DX52D+Z100									
DX52D+Z275								✓	

Gerçek dünya testi ile elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Atmosferik korozyon ortamı ve sanayi koşulları ortamında görülen korozyon hızları farklıdır. Atmosferik ortamda korozyon hızı daha düşük iken, sanayi ortamında daha yüksek hızlara sahiptir. Bunun sebebi sanayi ortamında tavuk gübresinde bulunan amonyum hidroksit ve nitrat gibi bileşenlerin korozyon hızını artırıcı özelliklerinden dolayı olabileceği düşünülmektedir.

2. Tek işlem görmüş düz plaka numunelerde, atmosferik ortamda en düşük korozyon hızı DX52D+Z100'de görülürken, sanayi şartlarında numunelerde DX51D+Z275 de görülmüştür.
3. Düz plakalarda ortası dairesel delikli, her iki ortamda da DX52D kalite grubu en hızlı korozyon hızına sahip gruptur.
4. L bükülmüş ve büküm çizgisinde delik olan numunelerde, DX51D+Z100 kalite çelik atmosferik ortamda en yüksek korozyon hızına sahipken, sanayi ortamında en düşük korozyon hızına sahiptir. Farklı korozif ortamlarda farklı karakteristik özellik gözlemlenmiştir.
5. L bükülmüş ve büküm çizgisine yakın deliklere sahip numunelerde de, büküm çizgisinde deliği olan numuneler gibi DX52D+Z275 çelik atmosferik ortamda en düşük korozyon hızına sahipken, sanayi şartları altında en yüksek korozyon hızına sahiptir.
6. 60° büküm şartında, DX51D+Z100 iki ortamda da en düşük korozyon hızlarına sahiptir.
7. 40° büküm şartında ise, DX51D+Z275 iki ortamda da en düşük korozyon hızlarına sahiptir.
8. Katlamalı büküm şartında da, DX51D+Z275 iki korozyon ortamında en düşük korozyon hızına sahiptir.
9. Z büküm çeşidi ve kare delikli olan şartta, DX51D+Z275 iki korozyon ortamında en düşük korozyon hızına sahiptir.
10. Çoklu büküm şartında, DX52D+Z275 kalite çelik atmosferik ortamda korozyon hızı düşükken, sanayi şartları altında korozyon hızı en yüksek olan çelik kalitesidir.

## 8.5 Tuz Sisi Testi ve Gerçek Dünya Koşulları Deneylerinin Karşılaştırması

Tuz sisi testi ve gerçek dünya koşullarında bulunan ortak numune tasarımlarında deney sonuçlarında ortak özellikler gözlemlenmiştir. Bu özellikler şu şekildedir:

1. Düz plaka ve ortasında delik tasarımına sahip numunenin iki deney sonucu karşılaştırılmasında tuz sisi testi grafiğinde beyaz pas oranı düşük olan DX51D+Z275 kalite çeliğin gerçek dünya testlerinde, iki ortamda da en yavaş korozyon hızına sahip olduğu tespit edilmiştir.
2. 40° büküm çeşidi tasarımına sahip numune için tuz sisi testi grafiğindeki beyaz pas oluşumu ile gerçek dünya koşullarında grafik incelendiğinde, daha az beyaz pas oluşumu sağlayan DX51D+Z275 kalite çeliğin korozyon hızının iki ortam içinde en düşük seviye olduğu tespit edilmiştir.
3. 60° büküm çeşidi tasarımına sahip numune için tuz sisi testi grafiğinde kırmızı pas oluşumu grafiği ve gerçek dünya koşulları grafiği DX51D+Z100 kalite çeliği için incelendiğinde, tuz sisi deneyinde oluşturmuş olduğu düşük kırmızı pas oranı gerçek dünya testinde korozyon hızının iki ortam için en düşük seviyede olduğu gözlemlenmiştir.
4. Katlamalı büküm tasarımında tuz sisi ve gerçek dünya koşulları grafikleri incelendiği zaman DX51D+Z275 kalite çelik en düşük beyaz pas oranına sahiptir. Aynı zamanda atmosferik korozyon şartında da en düşük korozyon hızına sahiptir. En düşük kırmızı pas oranına sahip olan DX52D+Z275 sanayi şartları altında korozyon hızı en düşük kalite çelik olduğu belirlenmiştir.
5. Z büküm ve kare delik, delikler büküm çizgilerine yakın olan tasarımında tuz sisi deney grafiği ve gerçek dünya koşulları deney grafiği karşılaştırıldığında en yüksek beyaz pas oranına sahip DX52D+Z100 kalite çelik gerçek dünya koşulları deneyinde iki ortam içinde en yüksek korozyon hızına sahip olduğu belirlenmiştir.

## 8.6 Sonuçlar ve Öneriler

Mekaniksel işlemlere tabi tutulan galvanizli saclar yüzeysel deformasyonlara uğratılmışlardır. Bu deformasyonların etkileri dört farklı sac kalitesi tipinde test edildiğinde, kaplama kalınlığı fazla olan sac kalitelerinde tuz sisi deneyi sonuçlarına göre kırmızı pas oluşumlarının daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle DX51D+Z275 kalite grubunda tuz sisi deneyinde neredeyse tüm numunelerde hem beyaz pas hem de kırmızı pas oranları düşük çıkmıştır. Aynı zamanda bu grubun gerçek dünya koşulları deneyinde çoğu büküm şartında da korozyon hızının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu oran düşüklüğünün sebebinin DX51D+Z275 kalite sac grubunun yüzeyinde bulunan gözle görünen çiçeklenme kaplama şekli ve kaplama kalınlığının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mekaniksel işlemlerden kesim yöntemi olan punch kesim ile hazırlanan numunelerde, lazer kesim ve frezede kesme delme işlemlerine göre daha az kırmızı pas oluşumlarının gözlemlendiği tuz sisi testi deneyinde hazırlanan numuneler ile kanıtlanmıştır. Bunun sebebi punch makinesinde yapılan kesim, kesme kuvvetleri etkisi altında gerçekleştirilmektedir. Parça kesim işleminden sonra n kesitinde bakıldığında, galvanizli tabakanın kopartma etkisi ile n kesite doğru plastik şekil değiştirme yaptığı ve siyah renk olarak kalan altlık malzemenin açıkta kalmasını önlediği için daha az kırmızı pas oranına sahip olduğu düşünülmektedir.

Büküm işlemlerinin gerçekleştirilmesi plastik deformasyonu artırmaktadır. Deformasyonun artması, yüzeyde bulunan galvaniz kaplamaya zarar vermektedir. Düz plaka numunelerin kırmızı pas oranları, büküm işlemi gerçekleştirilmiş numunelere göre daha düşük olduğu sonuçlarına varılmıştır. Düz plakalarda bulunan delik farklılıklarında, kare delikli numunelerde yuvarlak deliklilere göre daha fazla kırmızı pas oluşumu görülürken, büküm işlemi gerçekleştirilmiş kare delikli numunelerde daha az yuvarlak delikli numunelerde kırmızı pas oranları daha fazla gözlemlenmiştir. Bu ters ilişki, büküm işleminin çeliğin yapısındaki elektrostatik dengeleri değiştirdiği için bu tür bir sonuçla karşılaşıldığı düşünülmektedir.

Tuz sisi testine ve gerçek dünya koşulları deneyi sonuçlarına göre, 90° büküm koşullarında L, U, çoklu bükümde DX51D+Z275 kalite çeliğin daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu tür bükümlerde bulunan kare delikler, büküm çizgisine yakın olanlarda büküm

çizgilerinin üstünde olanlara göre daha az kırmızı pas oluşumu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin, bükülü yerde olan delik kesiminde delik kıvrılma işlemi sırasında kesim yerlerinden içeriye doğru üstte bulunan galvaniz tabakasının kırılarak dökülmeler meydana geldiği için paslanmanın büküme yakın yerlerde daha az olduğu düşünülmektedir.

Z büküm çeşidinde ise daha çok DX51D+Z100 kalite sacın daha iyi bir performans gözlemlendiği görülmüştür. DX51 sac kalite grubu, 90° büküm açılarında diğer büküm çeşitlerine göre performansları yüksek bir grup olarak kanıtlanmıştır. Dar V büküm işlemlerinde, katlamalı bükümlerde, hem katlamalı hem de dar kalıp 90° büküm işlemlerinde DX52D+Z275 kalite çeliğin diğer çeliklere göre iyi bir performans gösterdiği açıkça gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise DX52 kalite çelik grubunun %C oranı DX51 kalite çelik grubuna göre düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tür zorlanmalı tasarımlarda kolay şekil alabilen sünek bir yapı kullanılması, hem yüzey kaplamasına daha az bir darbe gücüne maruz bırakacaktır hem de ufak bir kuvvetle şekil verilmesi sağlanacağından DX52 kalite grubu, bu zorlanma şartları altında daha iyi bir performans gösterdiği düşünülmüştür.

Kritik delik kesimlerine ve kritik büküm koşullarına seçilen numunelerde ise, iki farklı ortam korozyonunda farklı hız aralıklarının görülmesinin sebebi, atmosferik ortamda bulunan numunelerin elektrokimyasal reaksiyonlara daha yatkın olmaları, gübre içinde bulunan numunelerin ise kimyasal korozyona daha yatkın olmalarından kaynaklanmaktadır. Büküm şartları ve sac kalite farklılıkları, iki ortamda da farklı davranışlar sergiledikleri gözlemlenmiştir ve bunun sebebinin ortamdaki korozyon türünün farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Örneğin, deliklere yakın L büküm işlemi gerçekleştirilmiş numunede DX52D+275 kalite çeliğin atmosferik ortamda en düşük korozyon hızına sahipken, sanayi koşullarında bu hız en üst seviyededir. 60° büküm şartına sahip numunelerde DX51D+Z100 daha düşük korozyon hızlarına sahiptir. 60°'den daha dar büküm açılarında, 40°'lik katlamalı büküm ve 90° bükümlerde DX51D+Z275 kalite çelik grubunun korozyon hızlarının daha düşük olduğu sonuçlar elde edilmiştir. Kaplama kalınlığı yüksek olan numuneler, korozif ortamlarda daha iyi bir sonuç verdiği, bir kez daha bu deney ile kanıtlanmıştır.

Tuz sis testinde, numunelerin beyaz ve kırmızı pas oranları, korozif ortamda korozyona uğrama miktarını gösterir. Bu miktarın zamanla değişken olduğu ve aynı zamanda korozyon

hızının da zamanla değişken olduğu göz önüne alındığında, pas oranlarının yüksekliği ve düşüklüğünün korozyon hızlarıyla doğru orantılı olacağı açıktır. İki deney grafiği incelendiğinde, DX51D+Z275 kalitesindeki çeliğin düz, deliksiz plakalarda tuz sis deneyinde beyaz pas oluşumunun azlığının, gerçek dünya testlerindeki her iki ortamda da korozyon hızının düşük olduğunun kanıtıdır. 40° şartında yine aynı grafikler incelendiğinde görülecektir ki, beyaz pas oluşumu az olan DX51D+Z275 çelik kalitesinin sisi testinde korozyon hızının aynı şekilde en düşük olduğu görülecektir. Kırmızı pas oranı olarak DX51D+Z100 kalitesinden yapılan, 60° bükümlü numune incelendiğinde, daha düşük korozyon hızlarına sahip olduğu gözlemlenecektir. Z büküm çeşidi ve kare deliklerin büküm noktalarına yakın olduğu numunelerde, DX52D+Z100 kalite çeliklerinde en fazla beyaz pas oluşumu olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda gerçek dünya testlerinde, her iki ortamda da korozyon hızlarının yüksek çıkması olağandır.

İki deneyin sonuçlarının tek tek incelenmesi ve bu deneylerin ortak noktalarının tespit edilmesiyle, genel olarak tüm sonuçlara bakıldığında, DX51 kalite sacların korozyona karşı daha dayanıklı bir yapıya sahip olduğunu düşünebiliriz. Bu gruptan özellikle kaplama kalınlığı fazla olan 275 g kaplama, büküm ve delme çeşitliliğinde ve farklı ortamlarda iyi bir dayanım göstermiştir.

Sonuçlara göre öneri maddeleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Yapılan ürün tasarımları, yüksek korozyon şartları altında çalışılacaksa, ürünlerin mekanik işlemleri tamamlandıktan sonra galvaniz kaplama işlemlerine tabi tutulması gerekir.
2. Atmosferik korozyon şartları altında çalışacak ürünlerde, kritik yerlerde görev yapan numunelerde kaplama kalınlığı yüksek galvanizli saclar kullanılmalıdır.
3. Maliyet açısından düşük kaplama kalınlığına sahip galvaniz kaplı saclar kullanılacaksa, tasarım işlemleri sırasında çok dar bükümlerden ve kesim yerlerine yakın deliklerden kaçınılmalıdır.
4. Üretimde kesim işlemlerinde zorlayıcı tasarımlar yoksa lazer ile kesim kullanımı tercih edilmemelidir. Punch ile kesim tercih edilmelidir.

5. Büküm işlemleri sırasında kullanılan kalıplarda sürtünmeyi azaltıcı ürünler kullanılmalıdır.
6. Büküm işlemlerinde çok dar ağızlı kalıplar kullanılmamalıdır. Bükümlerin yuvarlatma çapları mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır.
7. Ürünlerin tasarımlarında genellikle DX51 grubu saclar kullanılmalıdır. DX52 grubu saclar daha hafif korozyif ortamlarda tercih edilmelidir.
8. Bir parçanın tasarımında, fazla sayıda büküm çeşitliliğinden kaçınılmalıdır.

## 9. KAYNAKLAR (IEEE)

- [1] O. Elkoca, “Sıcak Daldırma Galvenizlemede Çelik Yüzey Özelliklerinin Kaplama Davranışına Etkisi.” Doktora tezi, Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, p. 134, 1998.
- [2] V. Güven, “Sıcak Daldırma Yöntemi ile Sürekli Çinko Kaplama.” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, p. 76, 1999.
- [3] H. Bayacık, F. Koltuk, F. Müftüoğlu, “Galvanizli Çeliklerin Mikroyapısı,” Mühendis ve Makine Dergisi, Ekim 2003. Kullanılabilir: <https://www.mmo.org.tr/muhendis-ve-makina-dergisi/ekim-2003>.
- [4] H. Baycık, “Çeliklerin Sıcak Daldırılmalı Galvaniz Kaplanması İçin Avrupa Standartları,” Mühendis ve Makine Dergisi, pp. 33–36, Nisan 2006. Kullanılabilir: <https://www.mmo.org.tr/nisan-2006/makale/guncel>.
- [5] G. Şenyüz, “304 Kalite Paslanmaz Çelik ve Galvaniz Sacların Biçimlendirme Kabiliyetlerinin Çeşitli Yönleri İncelenerek Karşılaştırılması,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, p. 302, 2008.
- [6] Y. ke HOU, Z. qi YU, W. gang ZHANG, H. min JIANG, Z. qin LIN, “Surface Topography Evolvment Of Galvanized Steels İn Sheet Metal Forming,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.*, vol. 19, no. 2, pp. 305–310, 2008, doi: 10.1016/S1003-6326(08)60269-1.
- [7] A. Akbaş, “Eremir 7140k Mikro Alaşımli Çelik Levhaların Sıcak Daldırma Galvaniz Yöntemi İle Kaplanması Ve Galveniz Alaşım Özelliklerinin Geliştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, p. 105, 2009.
- [8] D. Yaluk, “Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi,” Doktora tezi, Fizik Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, p. 169, 2009.
- [9] D. Yaluk, Ş. Yılmaz, “Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi,” *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 27, no. 4, pp 161-171, 2012.



- [10] Ö. Akgün, “Çelik Kimyasal Kompozisyonunun Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama Kalınlığına Etkilerinin İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, p. 122, 2010.
- [11] Ö. Karakaş, “Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup> Tipi Pasivasyon Ajanlarının Ve Koruyucu Yağların, Sürekli Sıcak Daldırmayla Galvanizleme Metodu Kullanılarak Üretilmiş, Dx51D+Z Kalite Galvanizli Sacların Korozyon Dirençlerine Etkilerinin İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, p. 106, 2013.
- [12] L. G. Wang, Y. T. Xu, J. F. Zhou, and Y. Huang, “Research On The Surface Topography Model Of Galvanized Steels İn Sheet Metal Forming,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 665, pp. 102–106, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.665.102.
- [13] G. Aytan, “Farklı Kalitedeki Galvanizli Çeliklerde Fırın Sertleştirme Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi,” Yüksek lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, p. 79, 2015.
- [14] B. Akyüz Akman, “Sıcak Daldırma Galvanizle Sürdürülebilir Korozyon Koruması,” 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, GALDER, İstanbul, pp. 145-151, 2015.
- [15] A. C. CIUBOTARIU, “Corrosion rate of steels dx51d and S220Gd in different corrosion environment,” *Sci. Bull. Nav. Acad.*, vol. 19, no. 1, pp. 166–172, 2016, doi: 10.21279/1454-864x-16-i1-028.
- [16] J. Giedenbacher, A. E. Raab, C. Walch, and A. Huskic, “The quantification of galling in forming operations of hot dip galvanized sheet metal under laboratory conditions,” *Mater. Sci. Forum*, vol. 879, pp. 607–612, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.879.607.
- [17] A. Nikitin, L. Schleuss, R. Ossenbrink, and V. Michailov, “Corrosion behavior of brazed zinc-coated structured sheet Metal,” *Int. J. Corros.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/4768505.
- [18] T. Ünsal, E. Sungur, and N. Cansever, “Biyofilm oluşumunun galvanizli çeliğin biyokorozyonuna etkisinin elektrokimyasal yöntemlerle incelenmesi,” *NWSA Acad. Journals*, vol. 12, no. 3, pp. 149–157, 2017, doi: 10.12739/nwsa.2017.12.3.1a0383.
- [19] Ş. Ş. Yıldız, “The effect of hot dip galvanizing process on the fatigue properties of

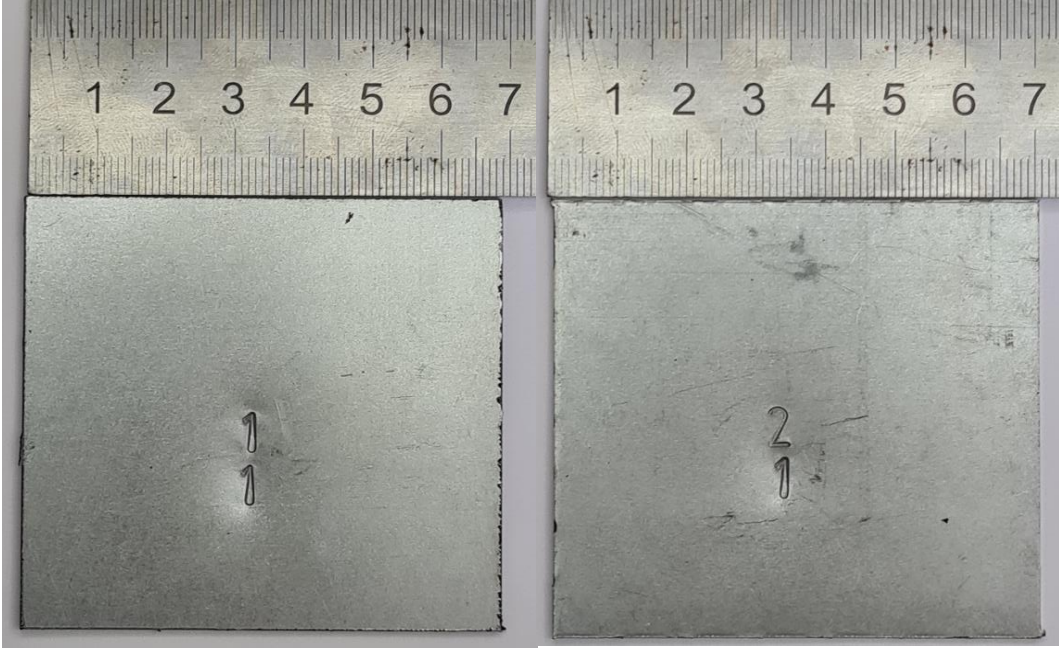
- hot rolled and quenched-tempered AISI 4340 steel,” *Pamukkale Univ. J. Eng. Sci.*, vol. 24, no. 4, pp. 626–634, 2017, doi: 10.5505/pajes.2017.30633.
- [20] F. B. Kardeş, “Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama Özelliklerine Etki Eden Faktörlerin Pilot Bir Firmada İncelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, p. 120, 2020.
- [21] Ç. M. Cılız, Y. T. Dönmez, M. G. Güler, “Detect and effects of silicon content in chemical composition of steel material after the hot dip galvanized coating,” *Eur. J. Sci. Technol.*, Jan. 2021, doi: 10.31590/ejosat.1041541.
- [22] N. Rahdiana and A. Suhara, “Analysis of spring-back and spring-go on variation of v-dies bending angle using galvanized SGCC steel sheet,” *J. Tek. Mesin Mech. Xplore Mech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 17–25, 2022, [Online]. Available: <https://journal.ubpkarawang.ac.id/index.php/JTMMX>.
- [23] E. Coskun, “Sıcak Daldırma Galvaniz Operasyonu Sırasında Kaynaklı Çelik Yapılarda Çatlama,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Başkent Üniversitesi, Ankara, p. 144, 2022, doi: 10.13140/RG.2.2.18615.60324.
- [24] A. Can, L. Akyalçın, “Alkali Çinko Ve Alaşımli Çinko Kaplama Üzerine Çözücü Bazlı Çinko Lamelli Kaplama Uygulaması İle Oluşturulan Çok Katmanlı Kaplamanın Korozyon Önleme Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi,” *ESOGÜ Müh. Mim. Fak. Derg.*, vol. 30, no. 2, pp. 300-308, 2022. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0002-0831-021X>.
- [25] Y. Liu, H. Gao, H. Wang, X. Tao, and W. Zhou, “Study on the corrosion behavior of hot-dip galvanized steel in simulated industrial atmospheric environments,” *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 19, no. 1, p. 100445, 2024, doi: 10.1016/j.ijoes.2023.100445.
- [26] [Online]. Available: <https://vigalgalvaniz.com/galvaniz/galvaniz-kaplama-nedir>.
- [27] P. Content and S. The, “Hot dip galvanized information sheet no . 4 effect of silicon and phosphorous in steel hot dip galvanized information sheet no . 4 effect of silicon and phosphorous in steel,” *Coating*, no. 4, pp. 1–3.
- [28] [Online]. Available: <https://www.hypertherm.com/tr/global-landing-page/?returnUrl=3687>.

- [29] [Online]. Available: <https://www.makinaegitimi.com/lazerle-kesim-calisma-prensibi-avantaj-ve-dezavantajlari/>.
- [30] [Online]. Available: <https://www.metaluzmani.com/cnc-punch-calisma-prensibi/>.
- [31] [Online]. Available:  
<https://slideplayer.biz.tr/slide/2689480/10/images/2/ABKANT+İLE+BÜKME.jpg>).
- [32] [Online]. Available:  
<https://slideplayer.biz.tr/slide/2689480/10/images/5/ABKANT+İLE+BÜKME+ABKANTIN+YARDIMCI+ELEMANLARI+A+-+Üst+ve+Alt+kalıplar.jpg>.
- [33] [Online]. Available:  
<https://slideplayer.biz.tr/slide/2689480/10/images/6/ABKANT+İLE+BÜKME+B+-+Arka+Dayama+Sistemi.jpg>).
- [34] [Online]. Available: <https://atateknik.com.tr/blog/yatay-ve-dikey-freze-tezgahlari-arasindaki-farklar/>.
- [35] [Online]. Available: <https://tp-ekb.com/catalog/category/pokrytiya/ocinkovka>.
- [36] [Online]. Available: <https://tp-ekb.com/catalog/category/pokrytiya/ocinkovka>.
- [37] [Online]. Available: <https://tr.weatherspark.com/d/95384/4/27/27-Nisan-tarihinde-Susurluk-Türkiye-Ortalama-Hava-Durumu#Figures-WindSpeed>.
- [38] [Online]. Available: <https://tr.freemeteo.com/havadurumu/gecmis/history/daily-history/?gid=746995&date=2024-04-27&station=5336&language=turkish&country=turkey>.
- [39] A. H. Korkmaz, A. Sürücü, “Sulu Ham Tavuk Gübresinin Tarımda Organik Gübre Olarak Değerlendirilmesi.”Ondokuzmayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, vol. 11, no. 2, pp. 117–125, 1996.
- [40] M. G. İnce, M. Toksoy, “Jeotermal doğrudan ısıtma sisteminde kullanılan St-37 karbon çelik malzemesinin değişik akışkan hızlarındaki korozyon davranışı ve mekanik özelliklerindeki değişimler özelliklerindeki değişimler,” Tesisat Mühendisliği Dergisi, no. 83, pp. 3-12, 2004.

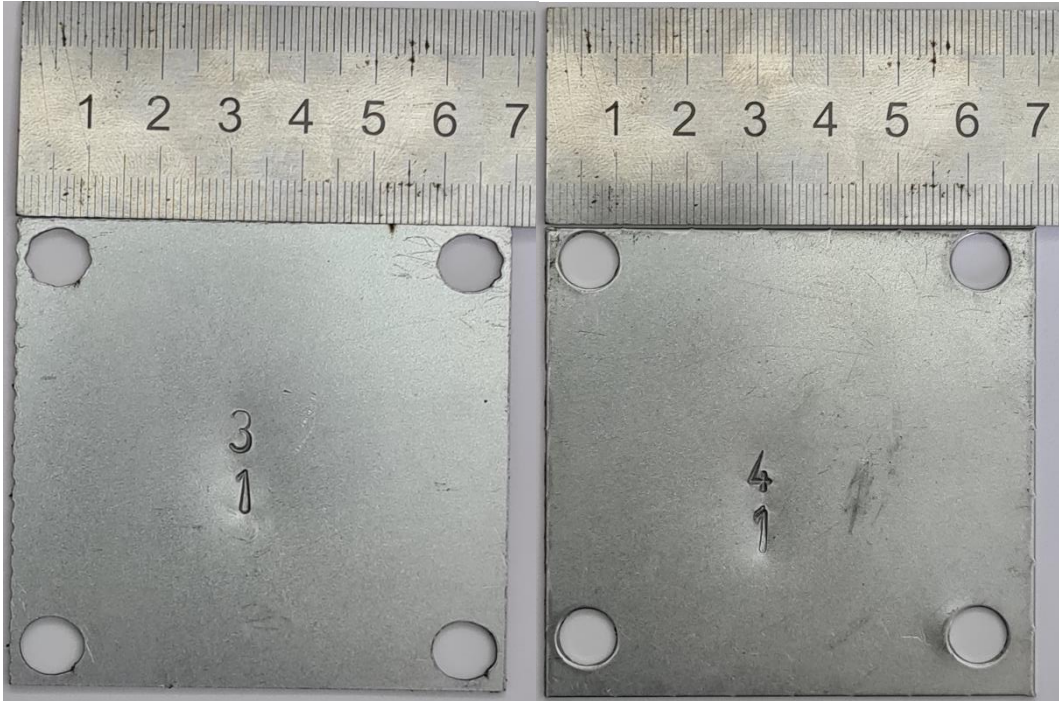
# **EKLER**

## EKLER

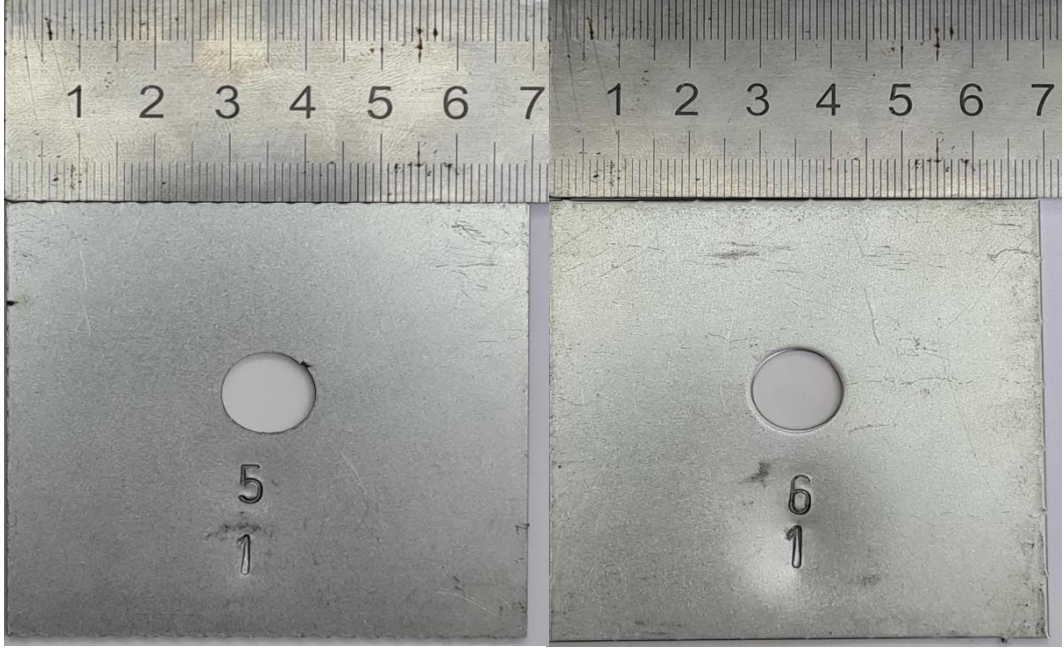
**EK A: Tuz sisi testi bir grup için yapılan numune görselleri.**



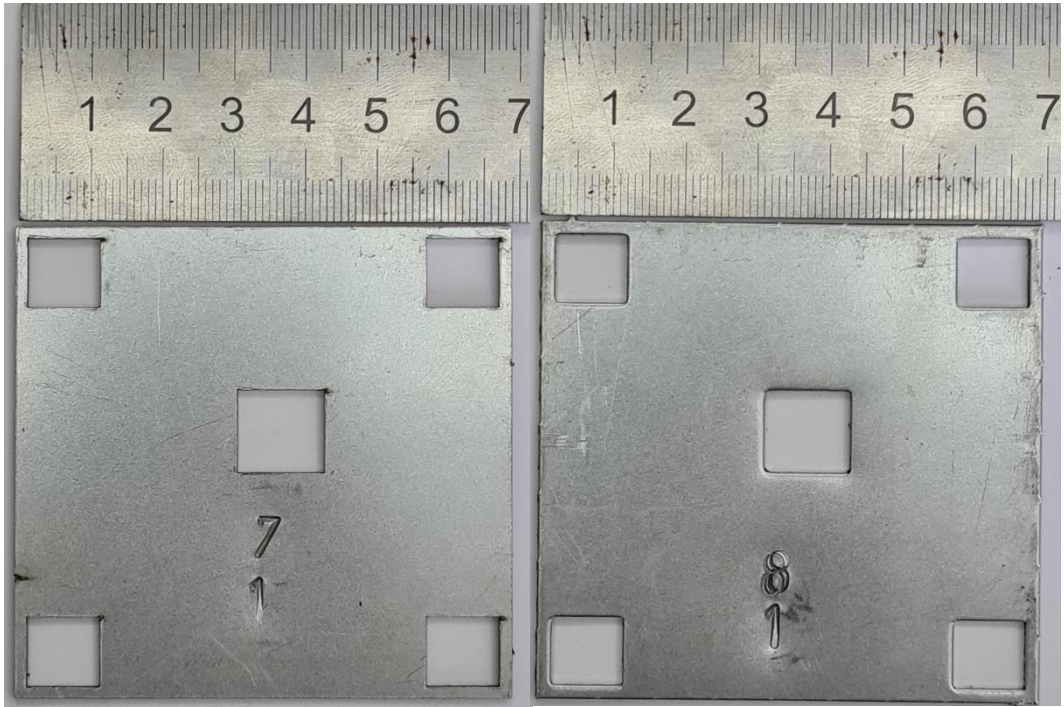
**Şekil A.1:** A grubu  $M_1$  ve  $M_2$  numune görselleri.



**Şekil A.2:** A grubu  $M_3$  ve  $M_4$  numune görselleri.

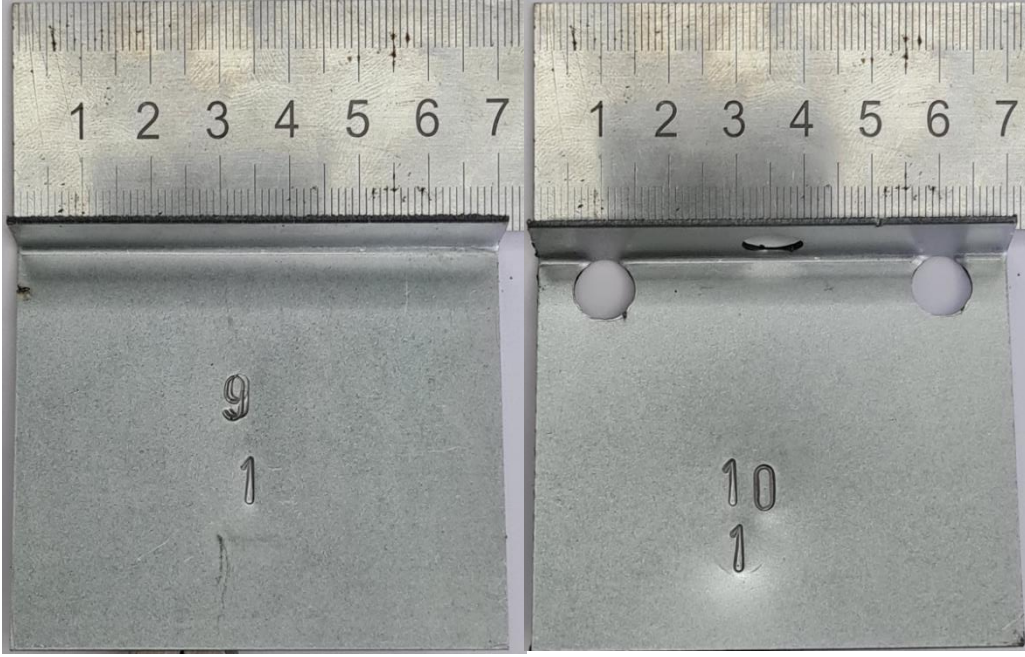


**Şekil A.3:** A grubu  $M_5$  ve  $M_6$  numune görselleri.

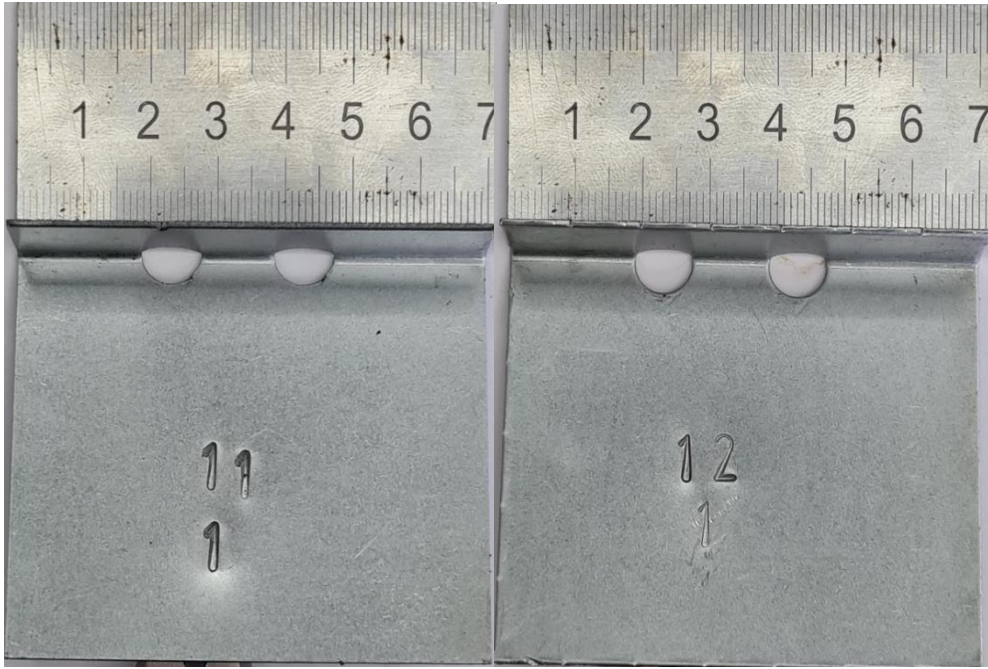


**Şekil A.4:** A grubu  $M_7$  ve  $M_8$  numune görselleri.

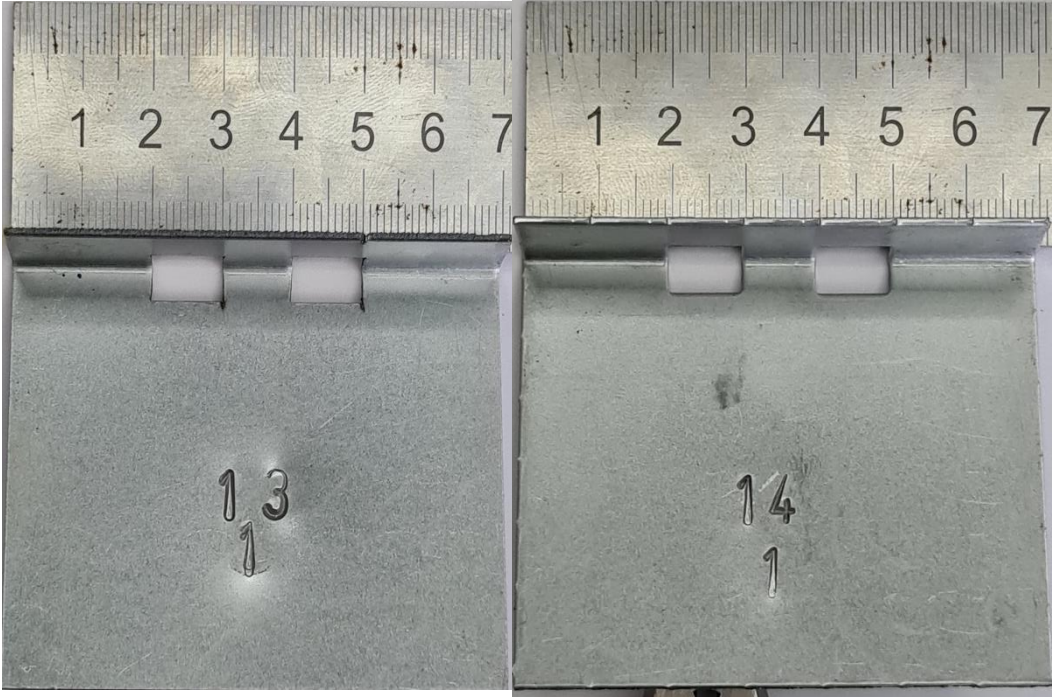




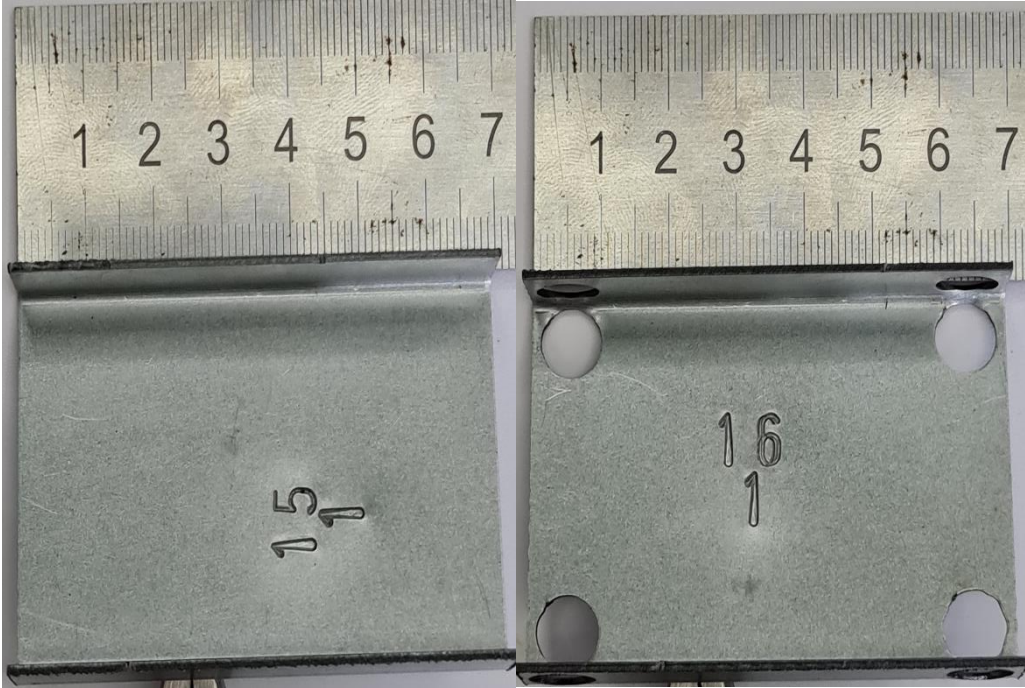
Şekil A.5: A grubu M<sub>9</sub> ve M<sub>10</sub> numune görselleri.



Şekil A.6: A grubu M<sub>11</sub> ve M<sub>12</sub> numune görselleri.

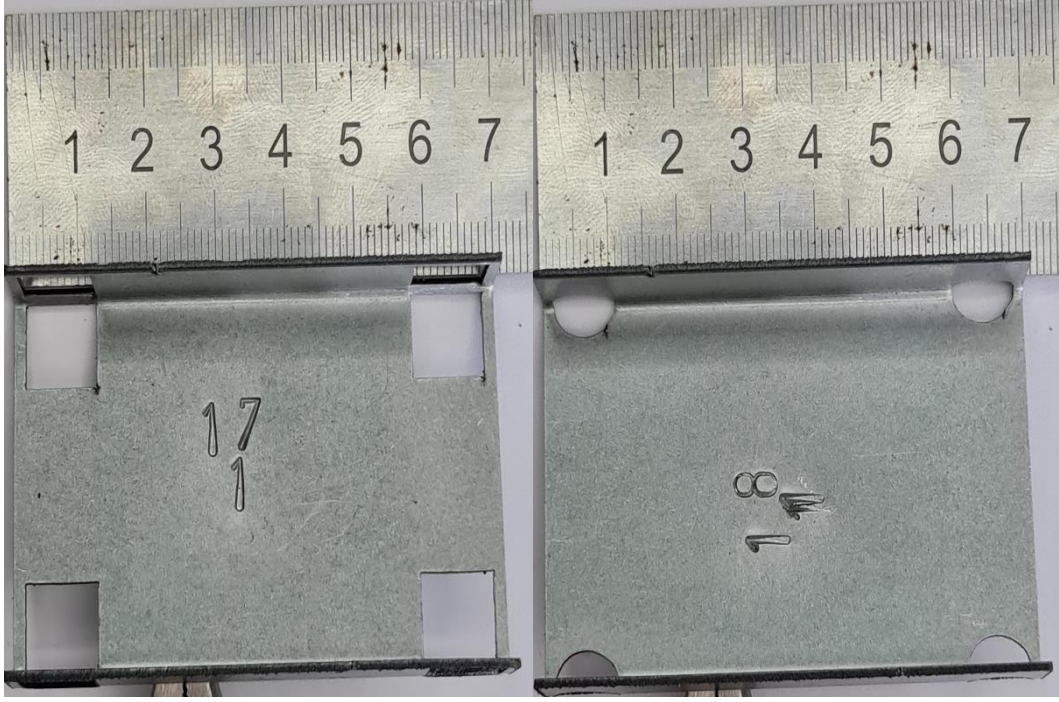


**Şekil A.7:** A grubu  $M_{13}$  ve  $M_{14}$  numune görselleri.

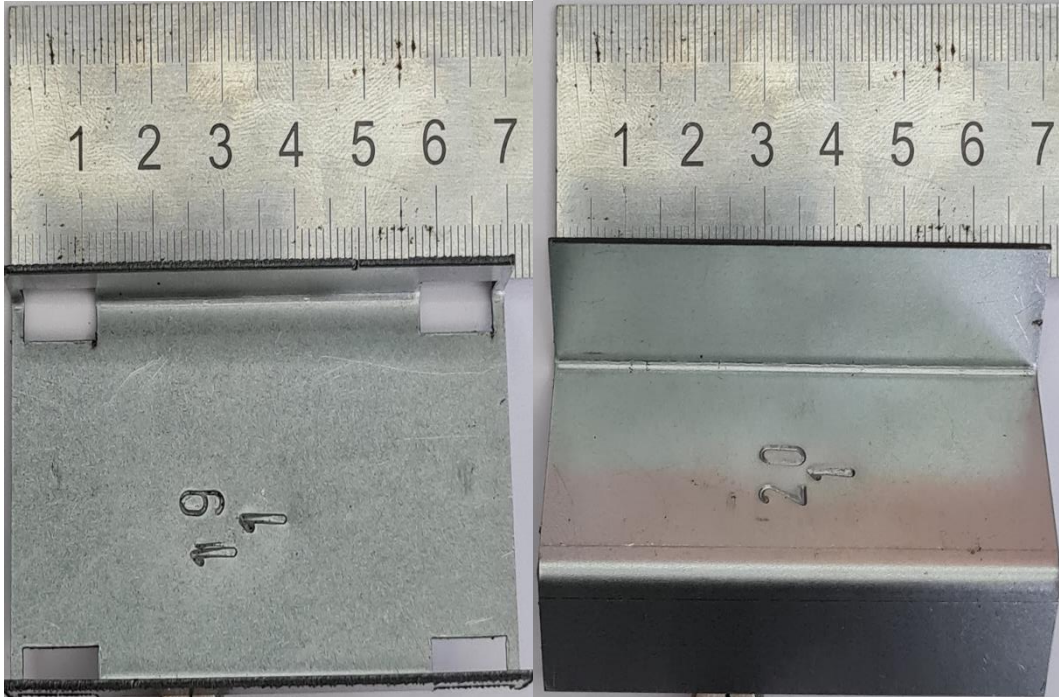


**Şekil A.8:** A grubu  $M_{15}$  ve  $M_{16}$  numune görselleri.

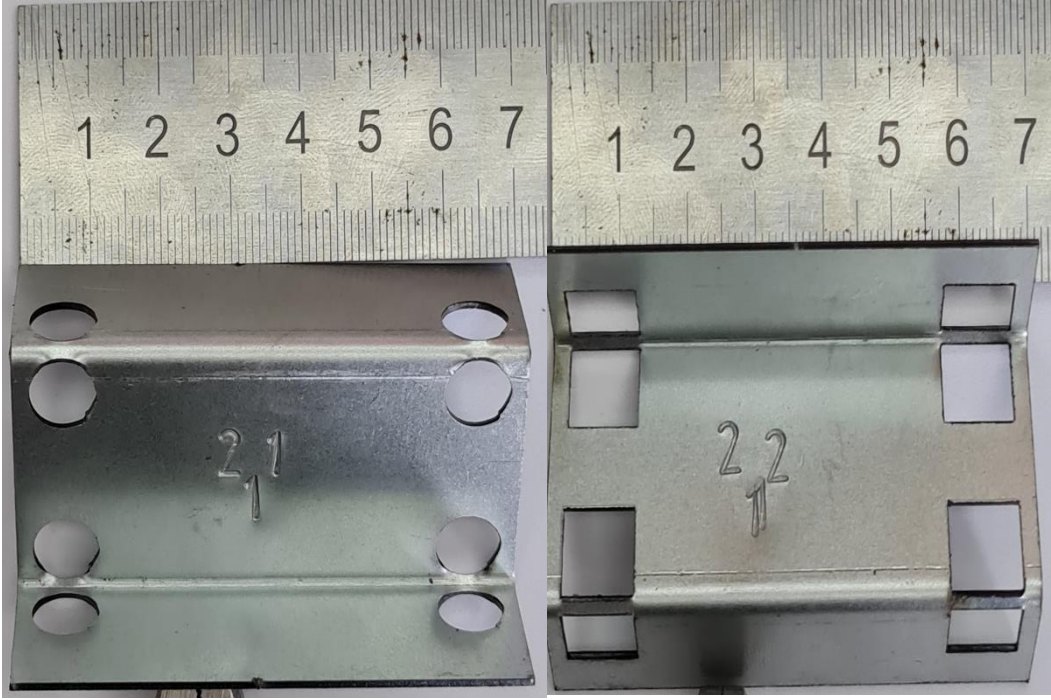




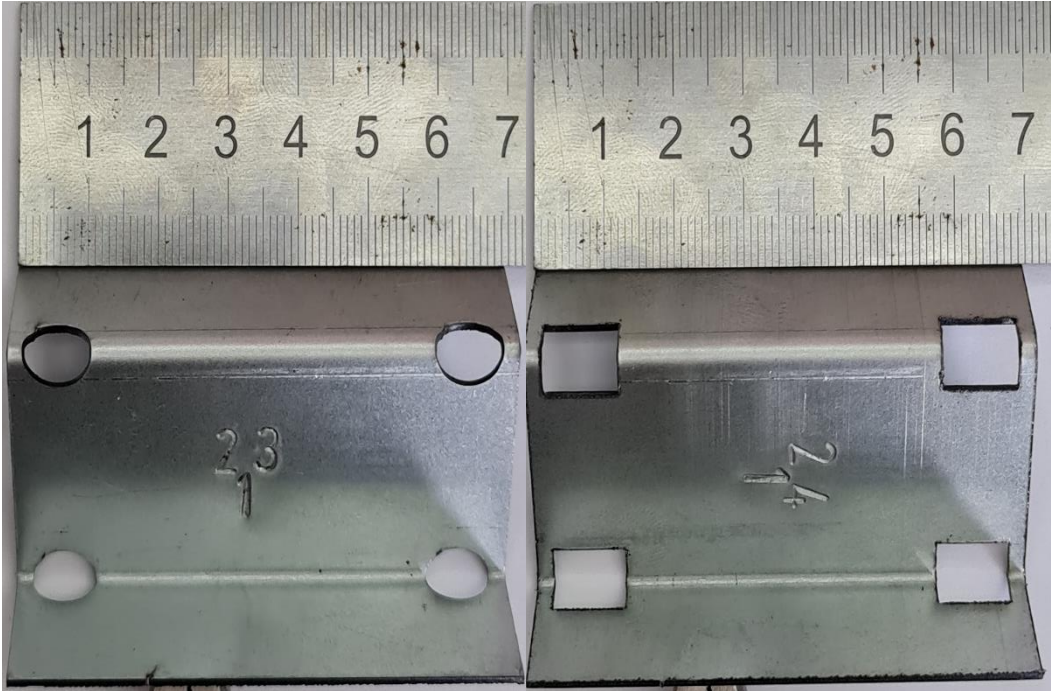
**Şekil A.9:** A grubu M<sub>17</sub> ve M<sub>18</sub> numune görselleri.



**Şekil A.10:** A grubu M<sub>19</sub> ve M<sub>20</sub> numune görselleri.

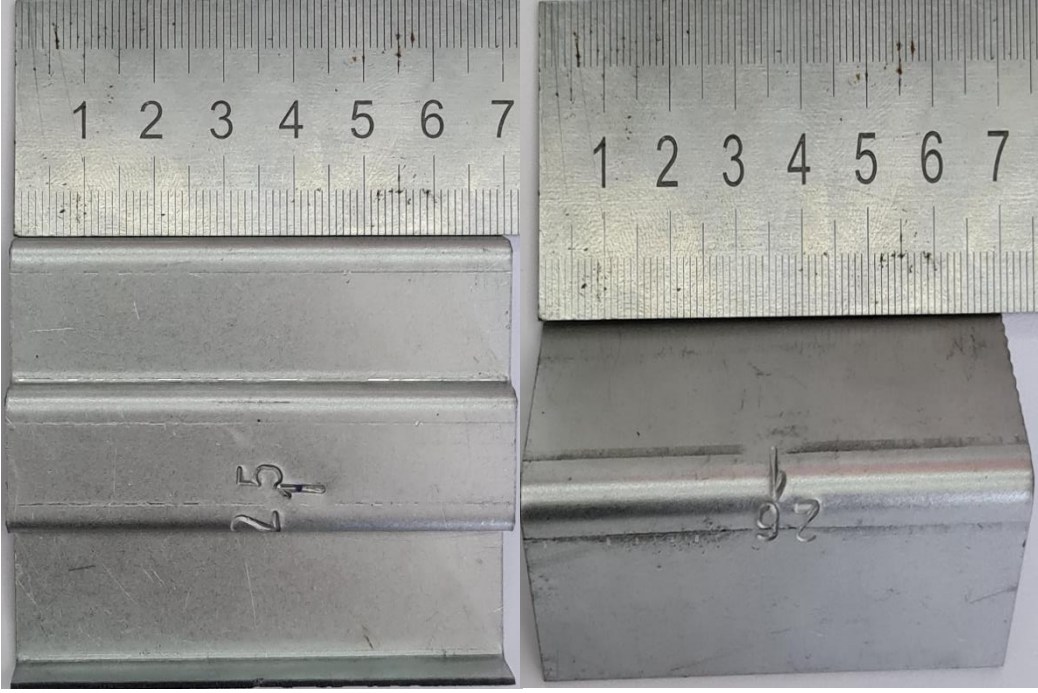


Şekil A.11: A grubu M<sub>21</sub> ve M<sub>22</sub> numune görselleri.

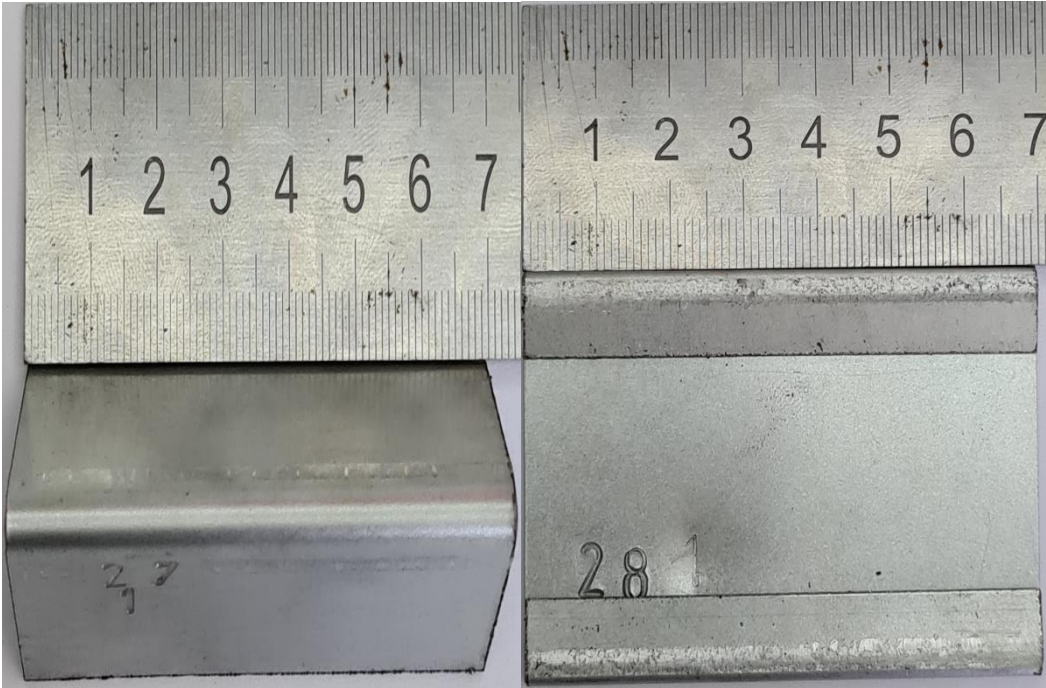


Şekil A.12: A grubu M<sub>23</sub> ve M<sub>24</sub> numune görselleri.

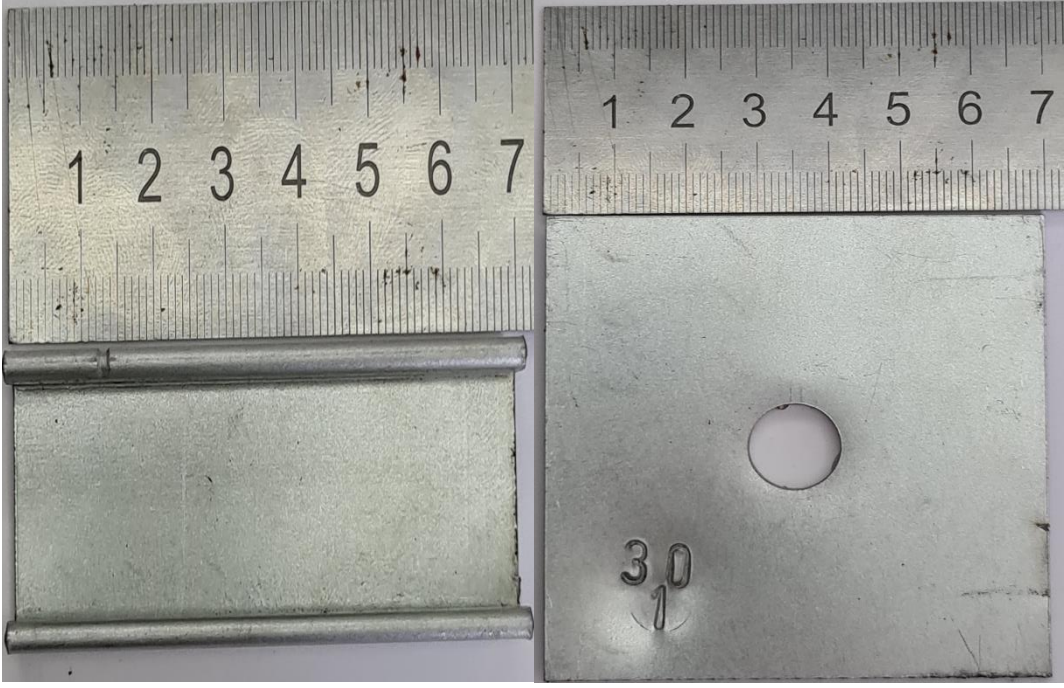




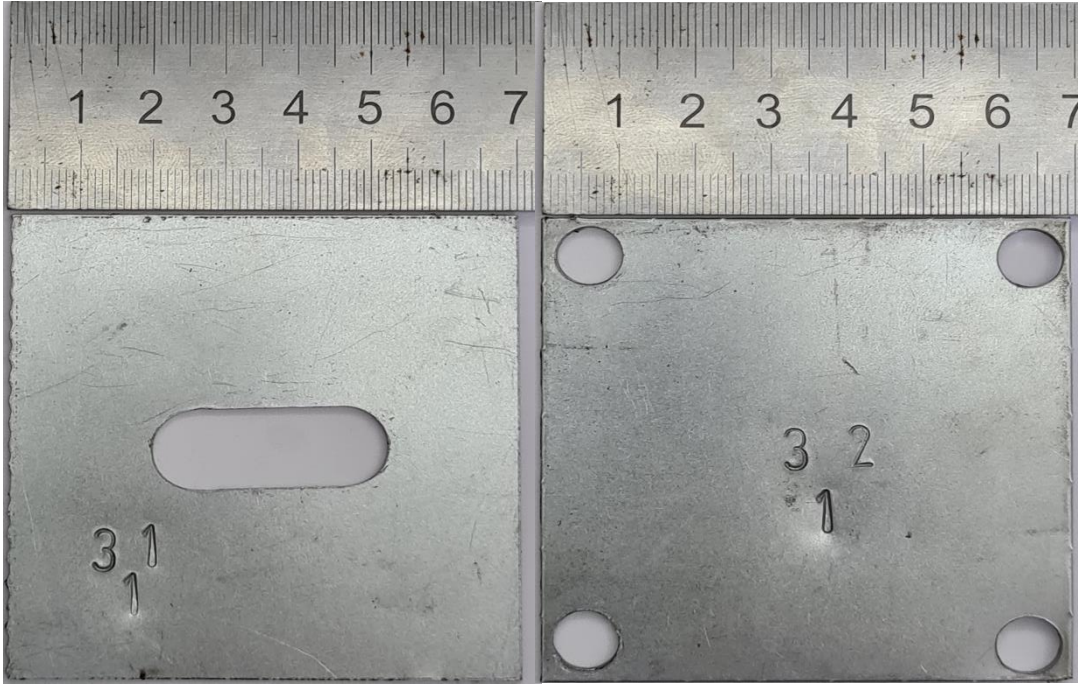
Şekil A.13: A grubu M<sub>25</sub> ve M<sub>26</sub> numune görselleri.



Şekil A.14: A grubu M<sub>27</sub> ve M<sub>28</sub> numune görselleri.



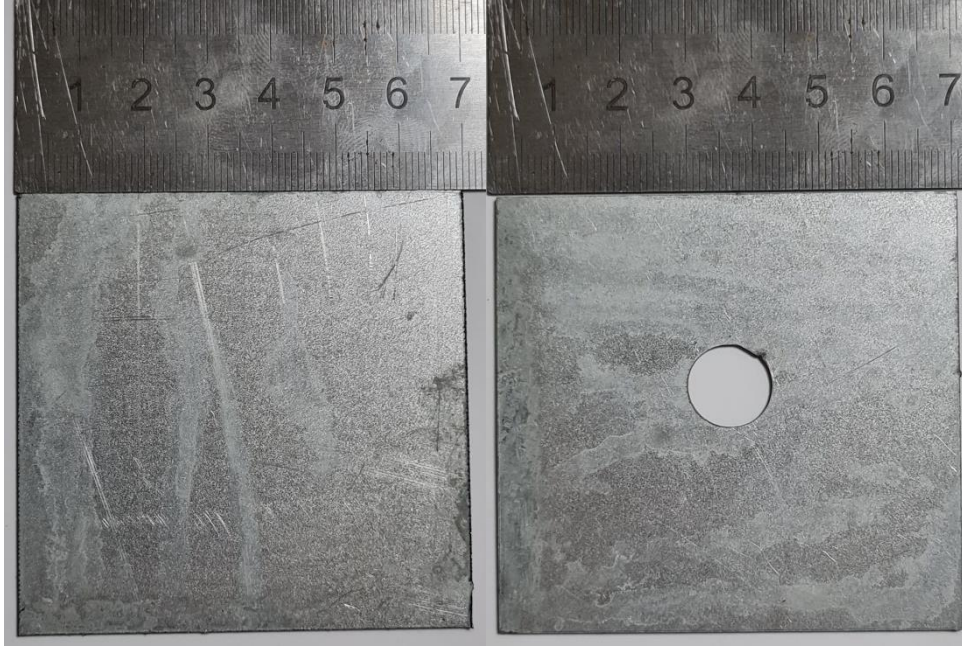
Şekil A.15: A grubu M<sub>29</sub> ve M<sub>30</sub> numune görselleri.



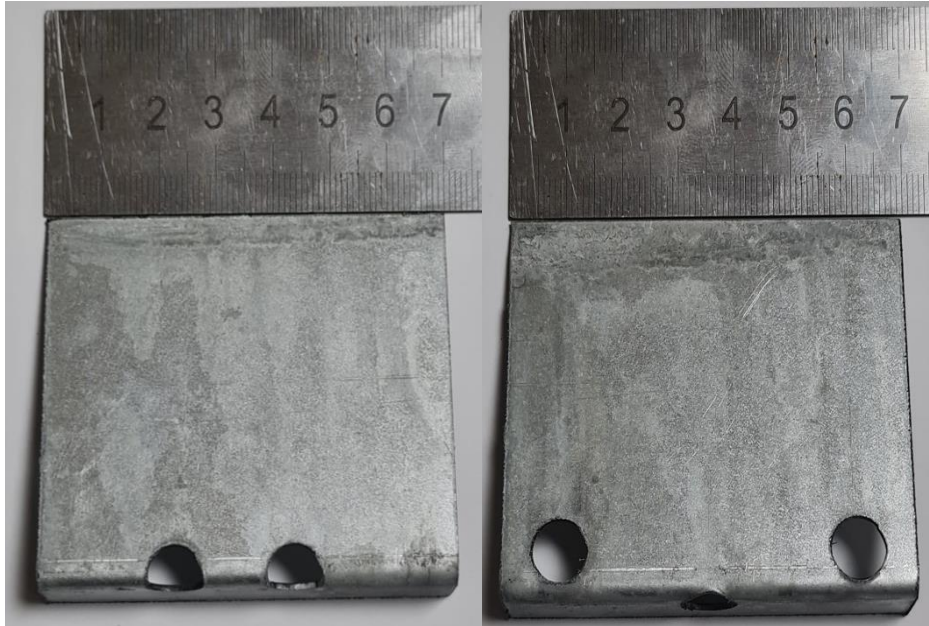
Şekil A.16: A grubu M<sub>31</sub> ve M<sub>32</sub> numune görselleri.



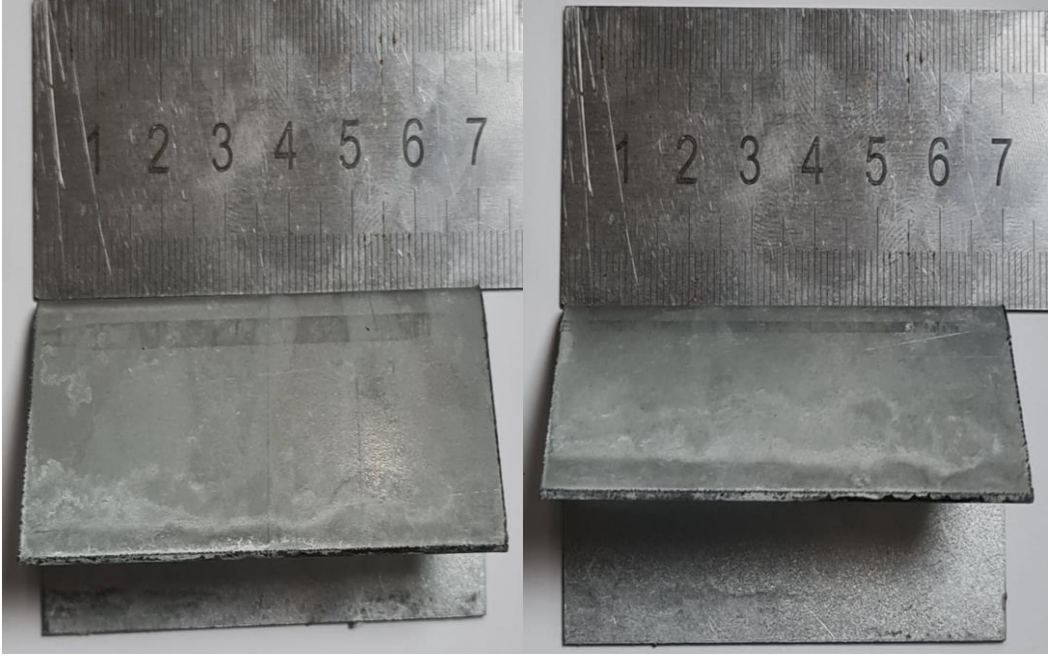
**EK B: Gerçek Dünya testi bir grup için yapılan numune görselleri.**



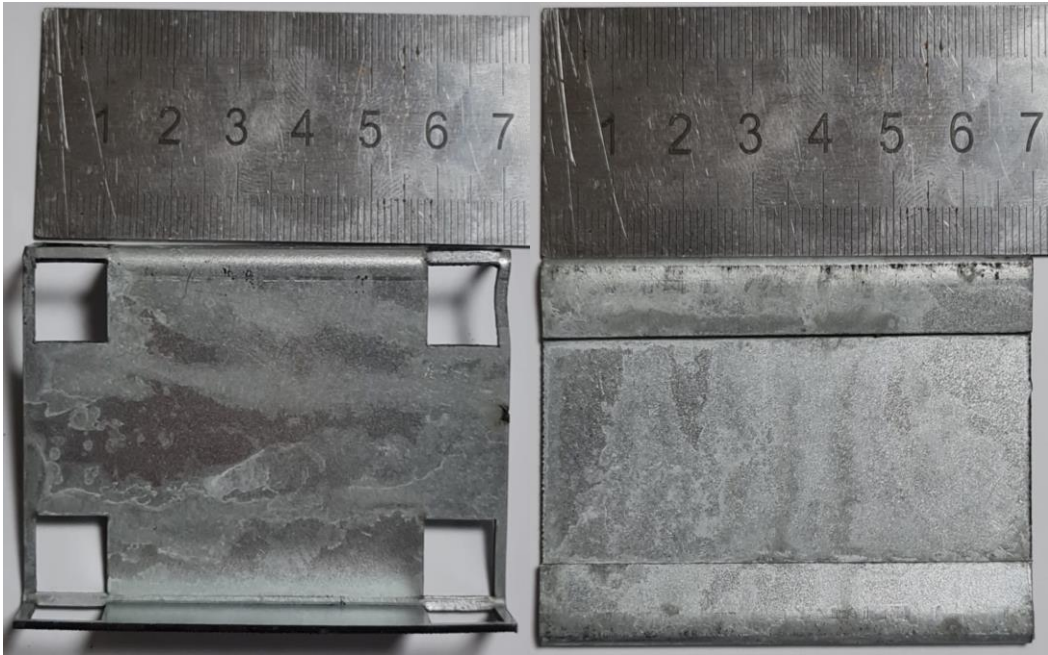
**Şekil B.1:** M grubu H<sub>1</sub> ve H<sub>2</sub> numune görselleri.



**Şekil B.2:** M grubu H<sub>3</sub> ve H<sub>4</sub> numune görselleri.



**Şekil B.3:** M grubu H<sub>5</sub> ve H<sub>6</sub> numune görselleri.



**Şekil B.4:** M grubu H<sub>7</sub> ve H<sub>8</sub> numune görselleri.



**Şekil B.5:** M grubu H<sub>9</sub> numune görseli.



**EK C: Numune üretim makineleri görselleri.**



**Şekil C.1:** Lazer kesim makinesi.



**Şekil C.2:** Numune kesim anı.

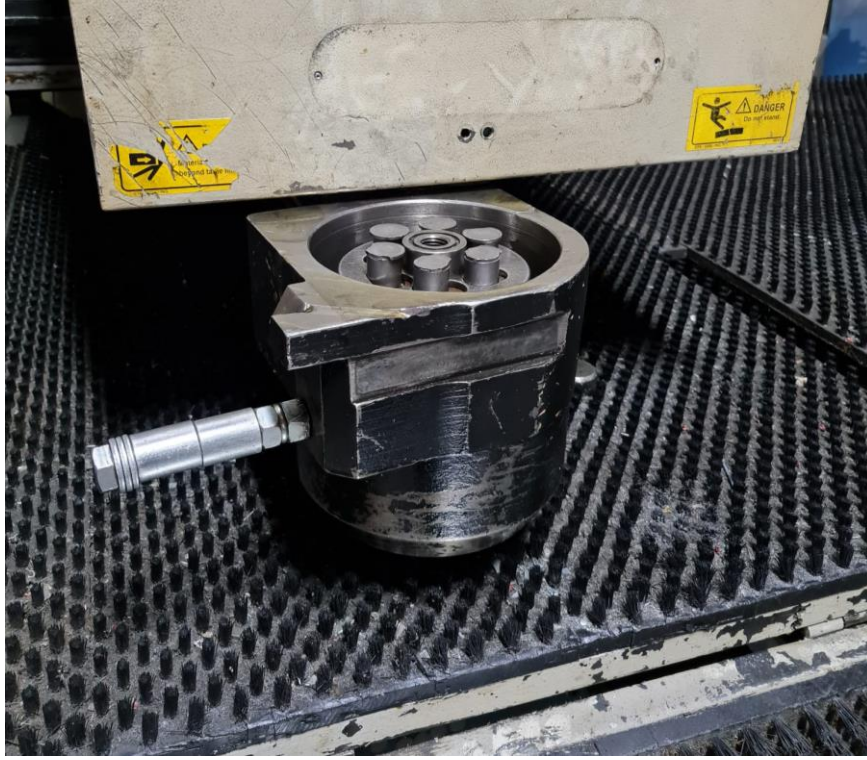




**Şekil C.3:** Numune kesim anı 2.



**Şekil C.4:** Numune kesim anı 3.



**Şekil C.5:** Punch kesim kafası.



**Şekil C.6:** Punch kesim kafası içi.



**Şekil C.7:** Numune hazırlanmasında seçilen punch kesme takımları.



**Şekil C.8:** Punch kesim taretı.

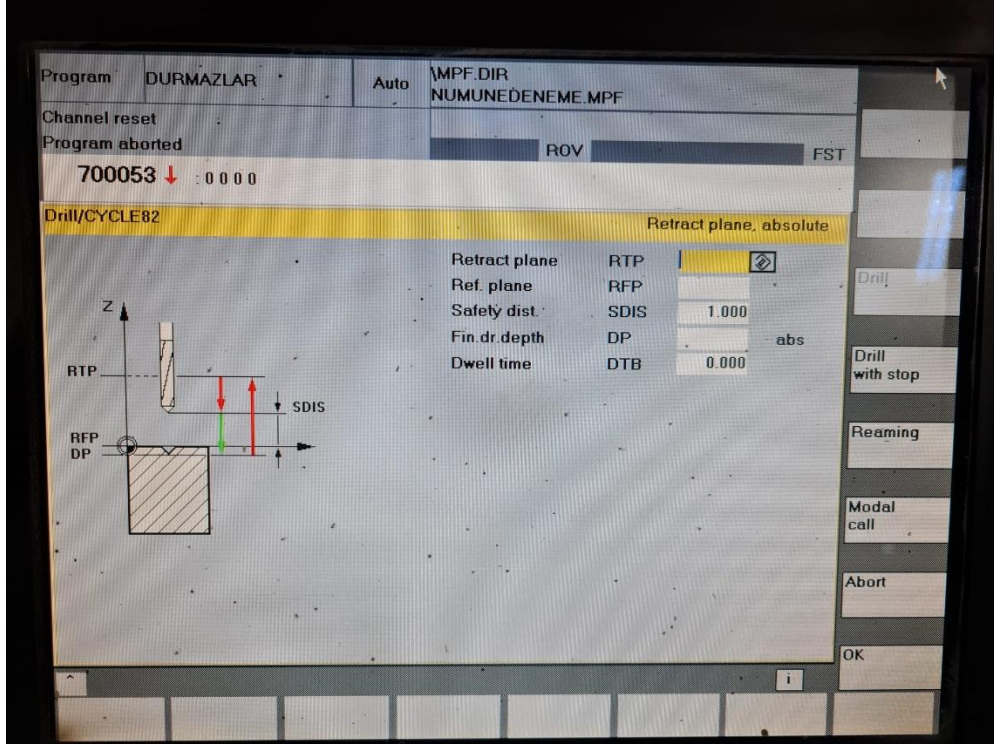




**Şekil C.9:** Punch alt kesim matrisi.



**Şekil C.10:** Tarete kesici takımların takıldığı kısım.

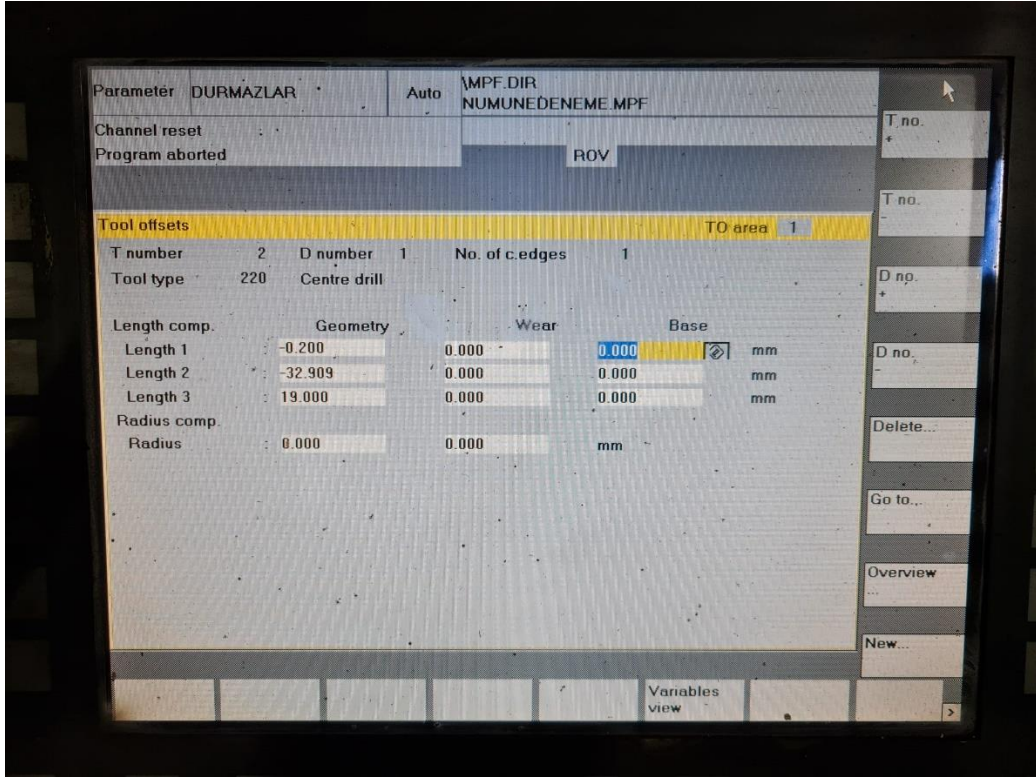


Şekil C.11: Vuruş için güvenlik parametresi seçimi.

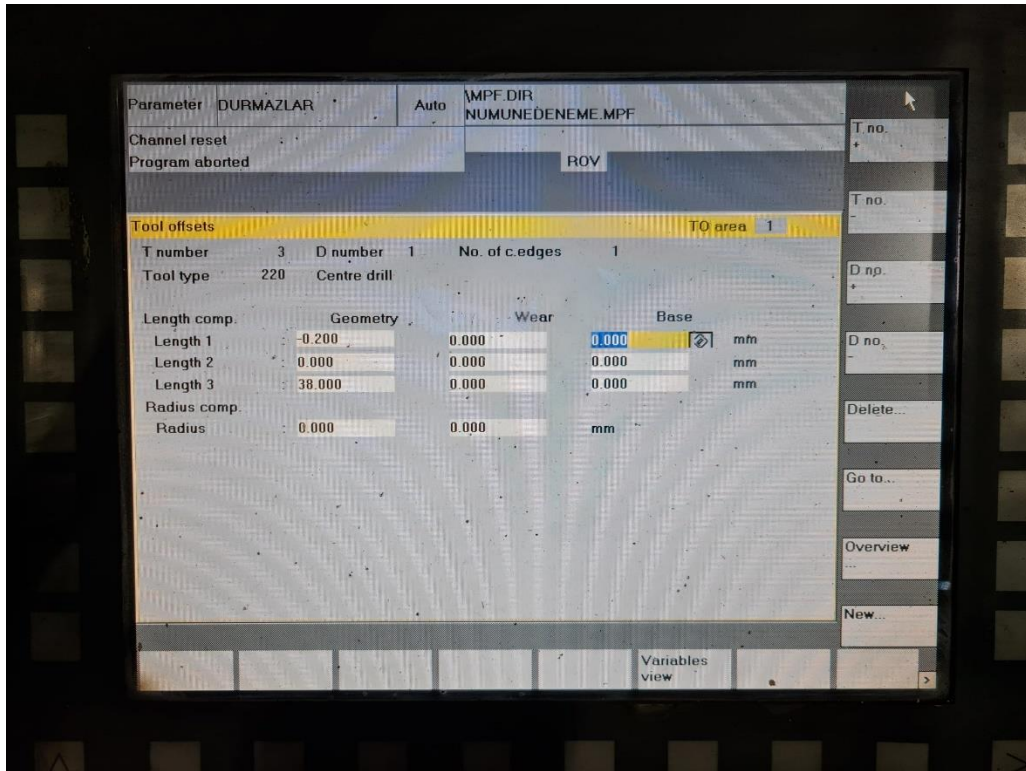


Şekil C.12: 1. takım için kesim parametreleri.

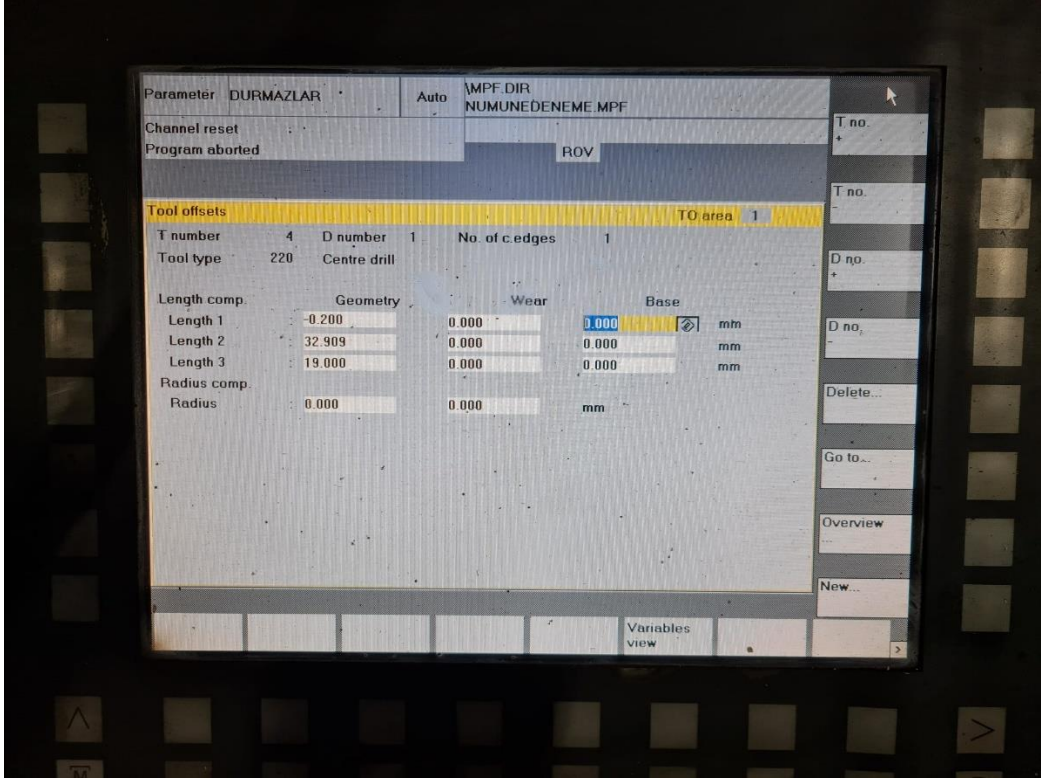




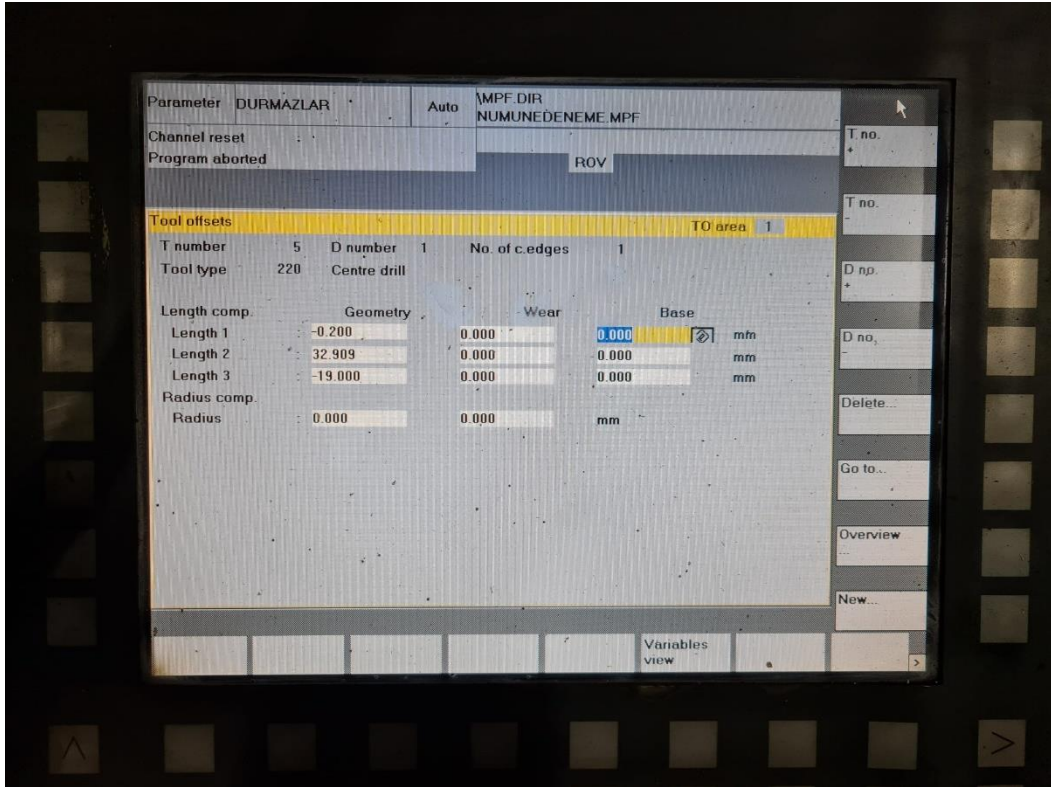
Şekil C.13: 2. takım için kesim parametreleri.



Şekil C.14: 3. takım için kesim parametreleri.

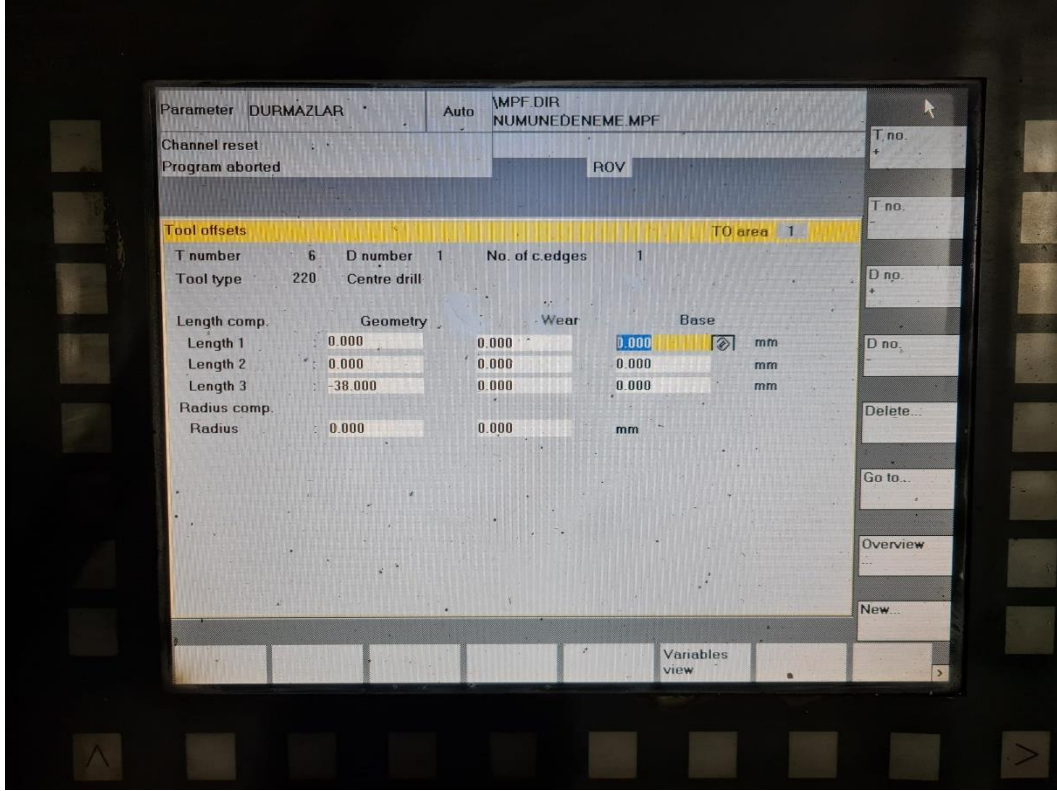


Şekil C.15: 4. takım için kesim parametreleri.

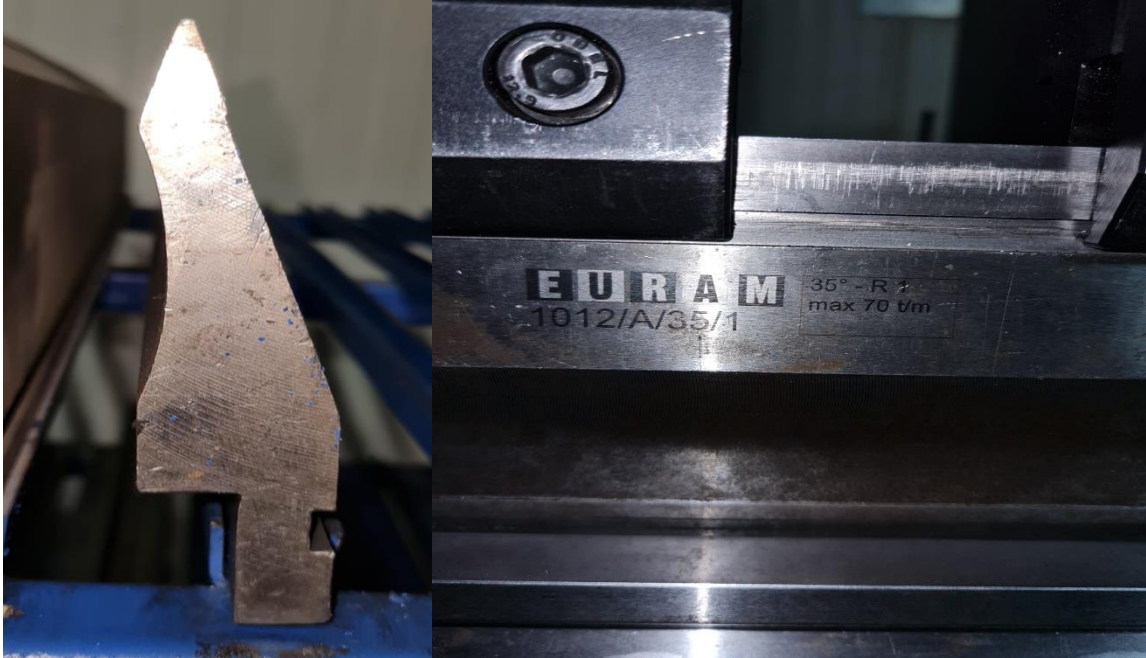


Şekil C.16: 5. takım için kesim parametreleri.





Şekil C.17: 6. takım için kesim parametreleri.

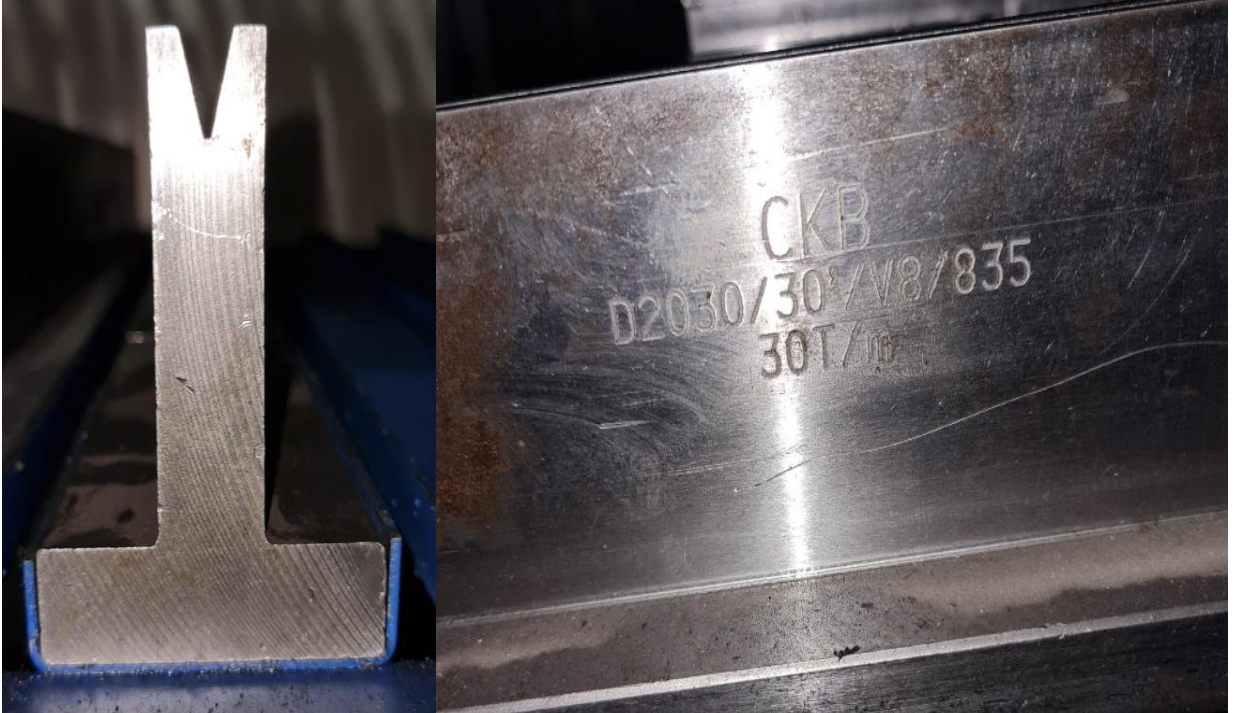


Şekil C.18: 1012/A35/1 model abkant üst bıçağı.





Şekil C.19: D2088/88/V6 model abkant alt kalıbı.



Şekil C.20: D2030/30/V8 model abkant alt kalıbı.



Şekil C.21: D3001/35/6 model abkant alt kalıbı.

DT-10

**DURMA** Ürün Sayısal P111\* DENEME Adım 1/1

	Hedef		Aktif		Adım Düzeltme		Ürün Düzeltme	
Açı	90.0	°	___	°	___	°	___	°
Y1	188.73	mm	257.53	mm	0.20	mm	___	mm
Y2	188.73	mm	257.55	mm	0.25	mm	___	mm
X1	15.1	mm	19.0	mm	___	mm	___	mm
C	1	%	___	%	___	%	___	%
Açılım Boyu		70.1	mm	Büküm Kuvveti		0.8	T	

Şekil C.22: 90° bükümler için parametre ayarları.



**DT-10**

**DURMA** Ürün Sayısal P111\* DENEME Adım 1/1

	Hedef		Aktif		Adım Düzeltme		Ürün Düzeltme	
Açı	60.0	°	—	°	—	°	—	°
Y1	185.93	mm	257.53	mm	—	mm	0.20	mm
Y2	185.93	mm	257.55	mm	—	mm	0.25	mm
X1	8.1	mm	19.0	mm	—	mm	—	mm
C	0	%	—	%	—	%	—	%
Açılım Boyu		89.7	mm	Büküm Kuvveti		0.5	T	

Şekil C.23: 60° bükümler için parametre ayarları.

**DT-10**

**DURMA** Ürün Sayısal P111\* DENEME Adım 1/2

	Hedef		Aktif		Adım Düzeltme		Ürün Düzeltme	
Açı	40.0	°	—	°	—	°	—	°
Y1	196.18	mm	257.53	mm	—	mm	0.20	mm
Y2	196.18	mm	257.55	mm	—	mm	0.25	mm
X1	8.1	mm	19.0	mm	—	mm	—	mm
C	1	%	—	%	—	%	—	%
Açılım Boyu		89.7	mm	Büküm Kuvveti		0.7	T	

Şekil C.24: 40° bükümler için parametre ayarları.

**DT-10**

**DURMA** Ürün Sayısal P111\* DENEME Adım 1/1

	Hedef		Aktif		Adım Düzeltme		Ürün Düzeltme	
Açı	40.0	°	---	°	---	°	---	°
Y1	183.99	mm	257.53	mm	---	mm	0.20	mm
Y2	183.99	mm	257.55	mm	---	mm	0.25	mm
X1	8.1	mm	19.0	mm	---	mm	---	mm
C	0	%	---	%	---	%	---	%
Açılım Boyu		89.7	mm	Büküm Kuvveti		0.5	T	

Şekil C.25: Katlamalı bükümler için parametre ayarları.

**DT-10**

**DURMA** Ürün Sayısal P111\* DENEME Adım 2/2 Çevir+Döndür

	Hedef		Aktif		Adım Düzeltme		Ürün Düzeltme	
Açı	30.0	°	---	°	---	°	---	°
Y1	195.17	mm	257.53	mm	---	mm	0.20	mm
Y2	195.17	mm	257.55	mm	---	mm	0.25	mm
X1	8.1	mm	19.0	mm	---	mm	---	mm
C	16	%	---	%	---	%	---	%
Açılım Boyu		89.7	mm	Büküm Kuvveti		10.0	T	

Şekil C.26: Katlamalı bükümler için parametre ayarları.



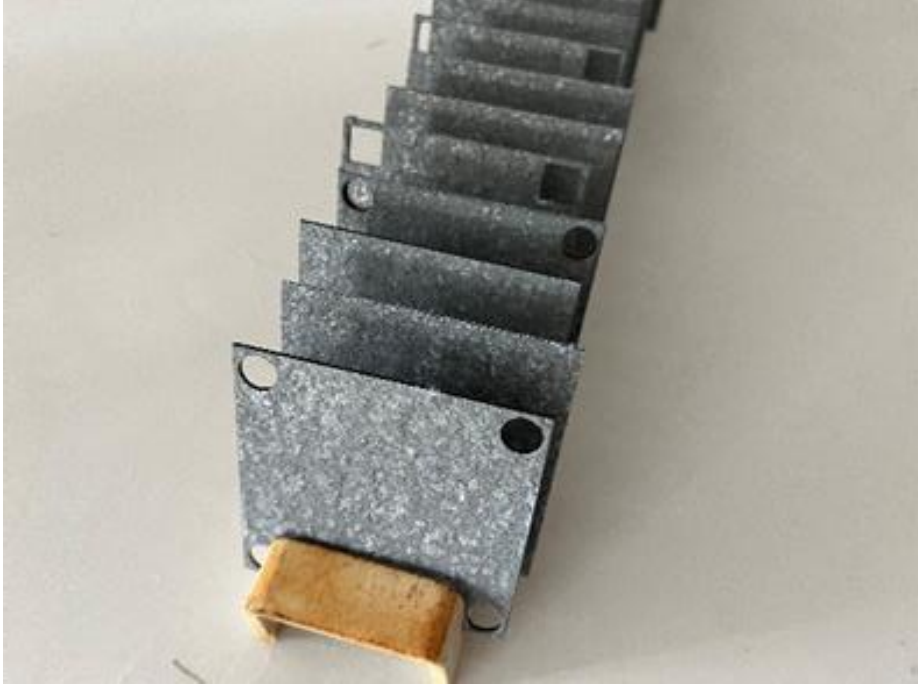
**Şekil C.27:** Numune yapımında kullanılan freze makinesi.



**Şekil C.28:** Numune yapımında kullanılan kesici takımlar.



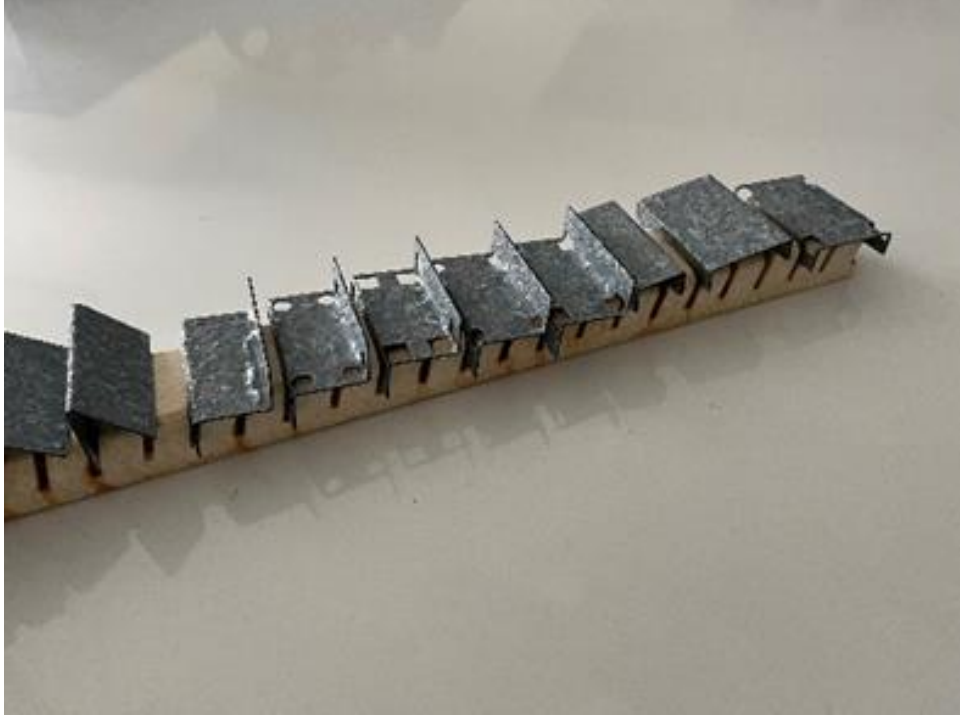
**EK D: Tuz sisi testi 24 ve 48. saat numune görselleri.**



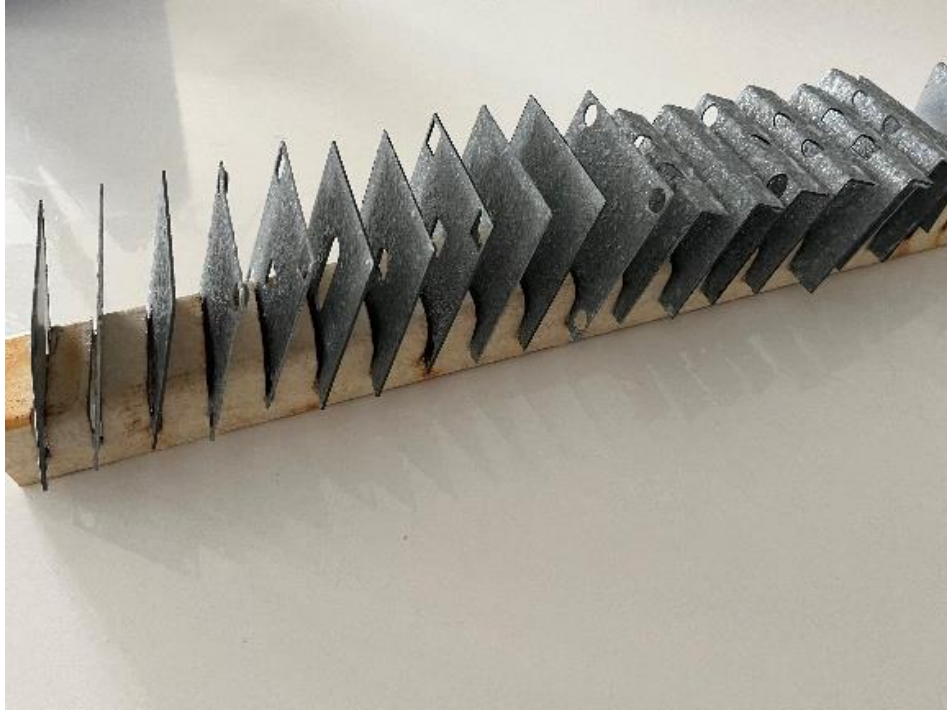
**Şekil D.1:** C grubu 24 saat sonu görüntüsü 1.



**Şekil D.2:** D grubu 24 saat sonu görüntüsü.



**Şekil D.3:** C grubu 24 saat sonu görüntüsü 2.



**Şekil D.4:** B grubu 24 saat sonu görüntüsü 1.



**Şekil D.5:** B grubu 24 saat sonu görüntüsü 2.

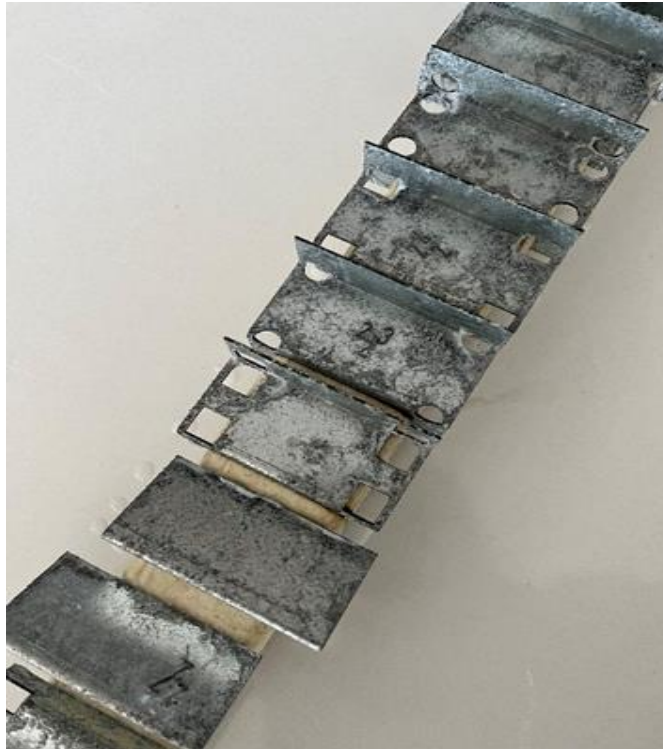


**Şekil D.6:** A grubu 24 saat sonu görüntüsü.





**Şekil D.7:** A grubu 48 saat görüntüsü.



**Şekil D.8:** B grubu 48 saat görüntüsü 1.



**Şekil D.9:** C grubu 48 saat görüntüsü.



**Şekil D.10:** B grubu 48 saat görüntüsü 2.

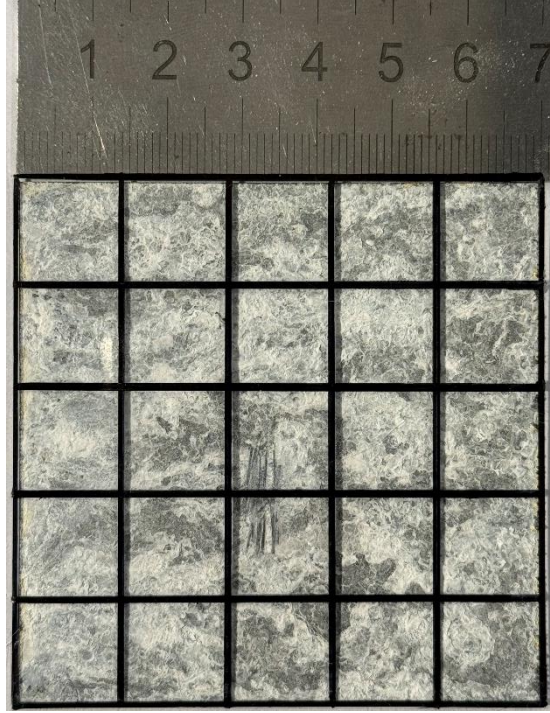


**Şekil D.11:** D grubu 48 saat görüntüsü.

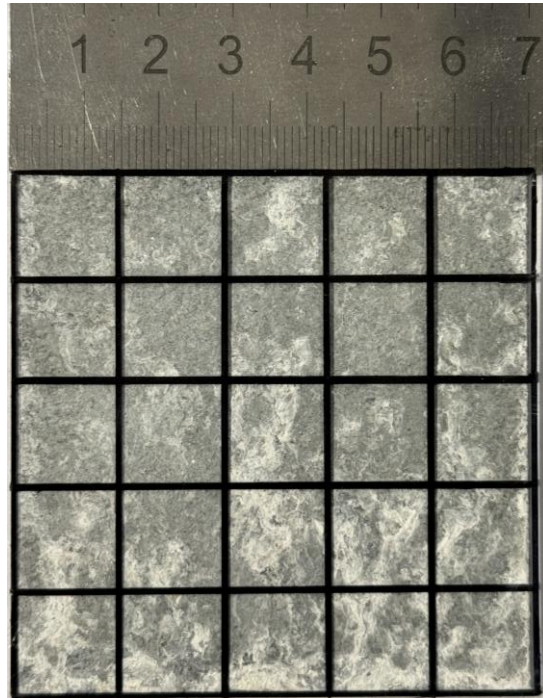


**Şekil D.12:** D grubu 48 saat görüntüsü.

**EK E: Tuz sisi testi grafiklerdeki maksimum ve minimum kırmızı pas değerlerindeki numune görselleri.**

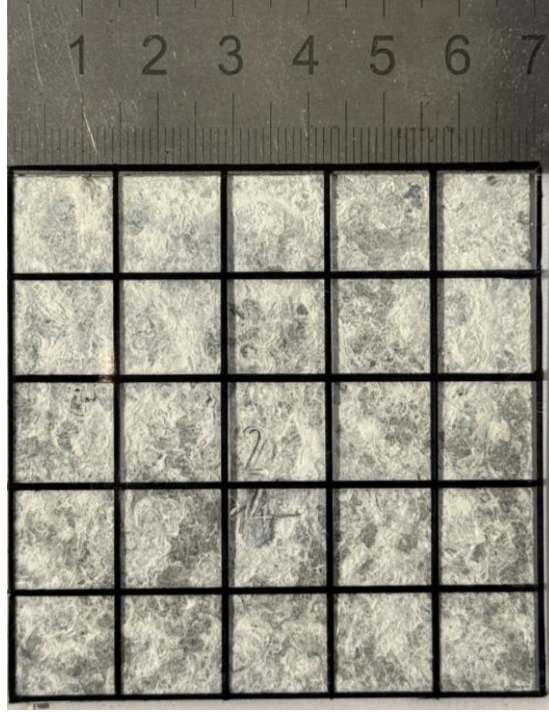


**Şekil E.1:** Şekil 8.3'de ki  $M_1$  numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).

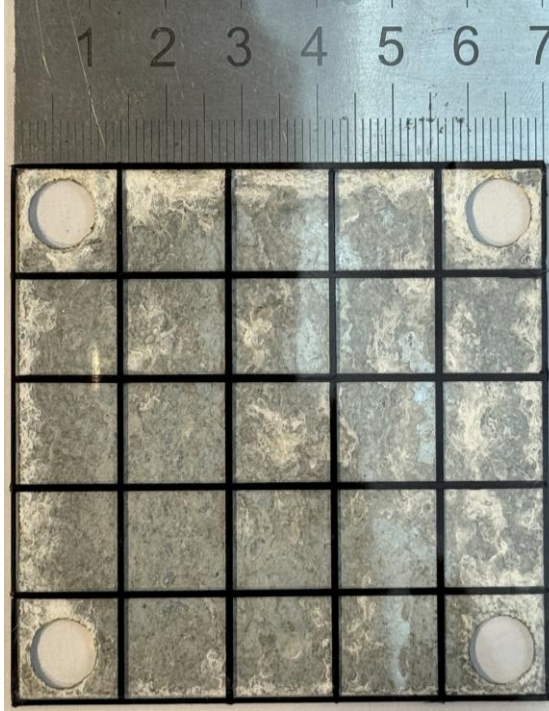


**Şekil E.2:** Şekil 8.3'de ki  $M_{34}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

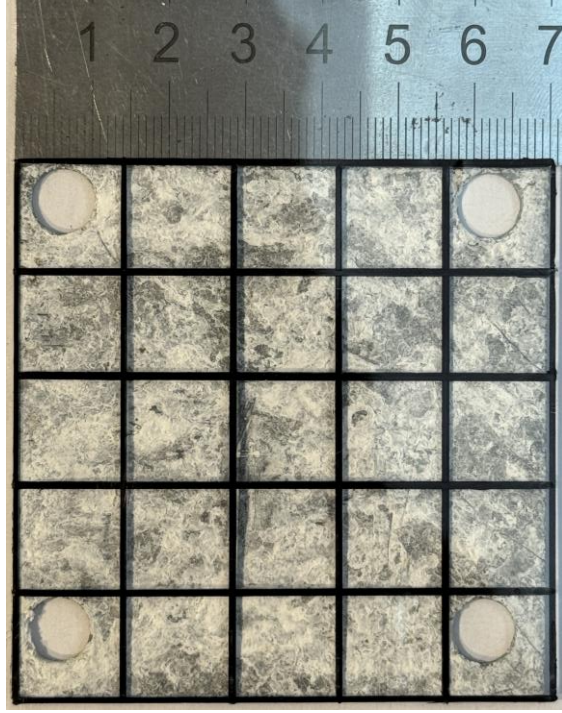




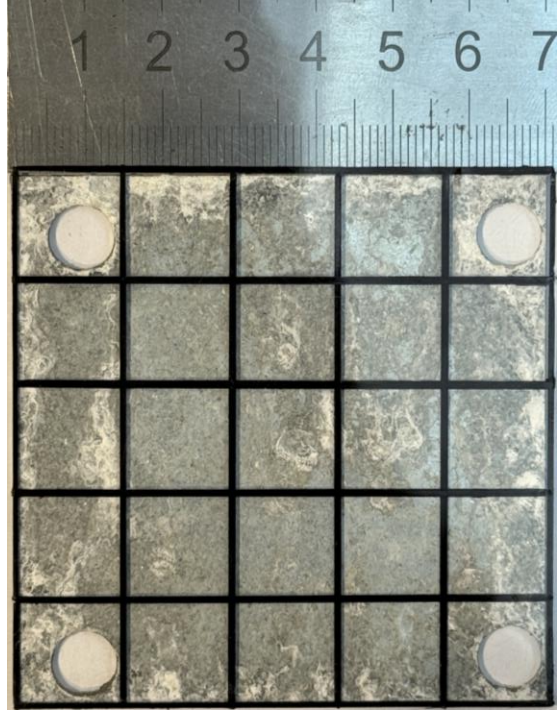
**Şekil E.3:** Şekil 8.3’de ki  $M_{98}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



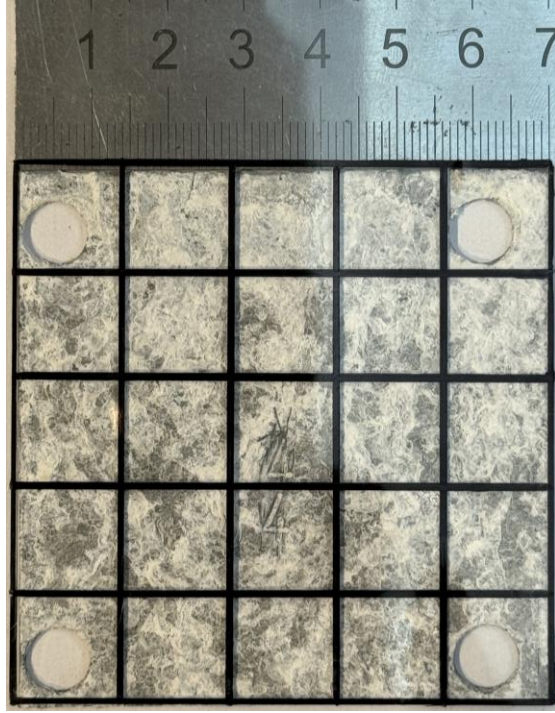
**Şekil E.4:** Şekil 8.5’de ki  $M_{35}$  numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).



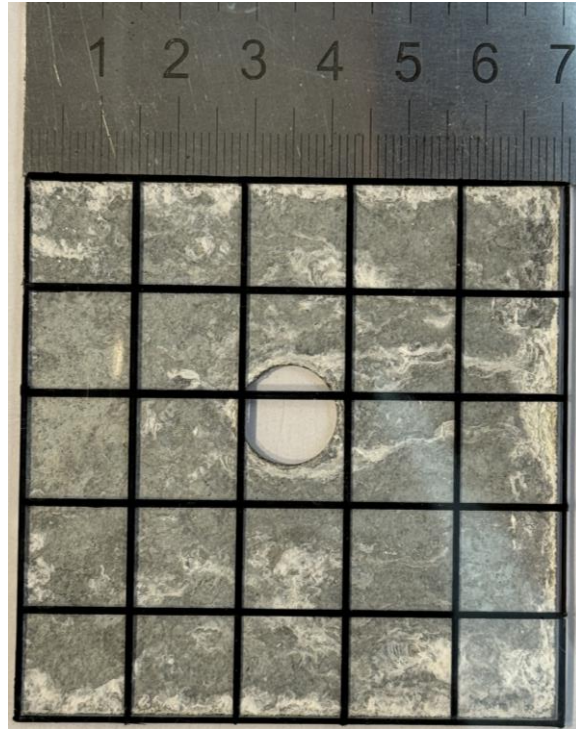
**Şekil E.5:** Şekil 8.5’de ki M<sub>4</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



**Şekil E.6:** Şekil 8.5’de ki M<sub>36</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

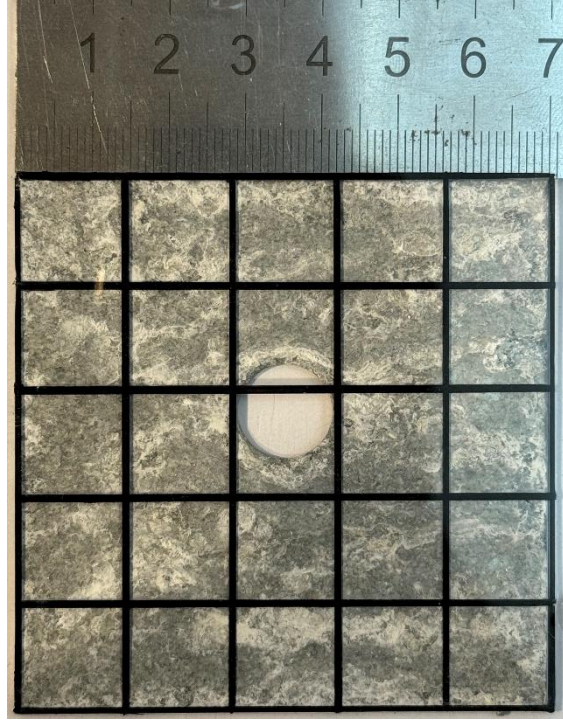


**Şekil E.7:** Şekil 8.5’de ki M<sub>100</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

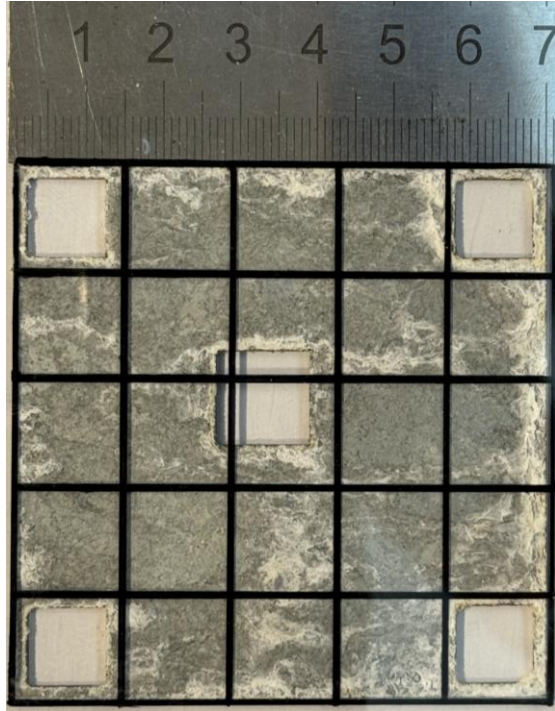


**Şekil E.8:** Şekil 8.7’de ki M<sub>37</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).



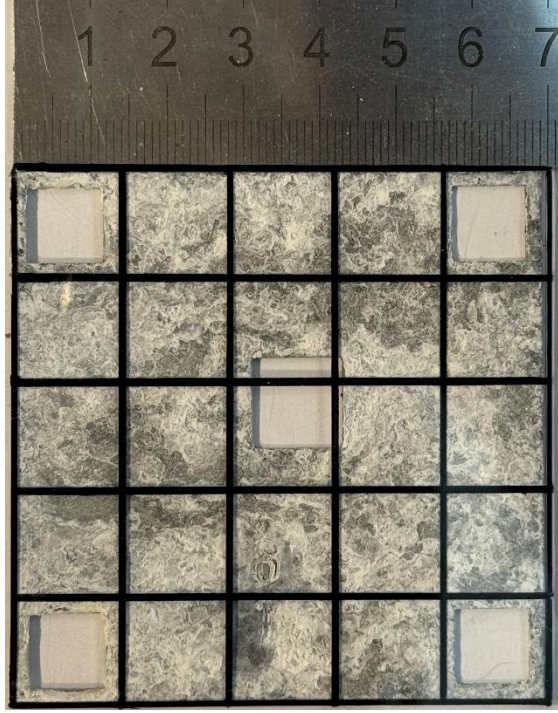


**Şekil E.9:** Şekil 8.7’de ki M<sub>38</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



**Şekil E.10:** Şekil 8.9’da ki M<sub>39</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).

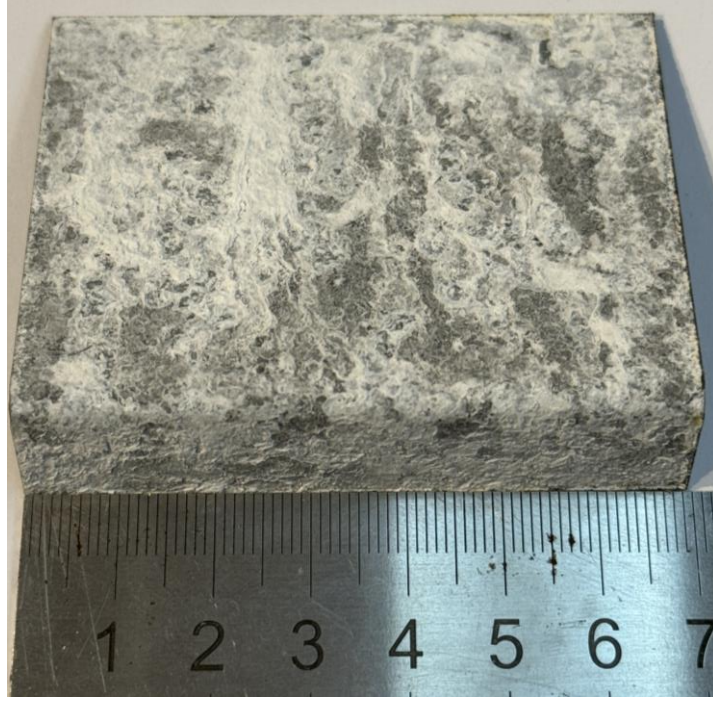




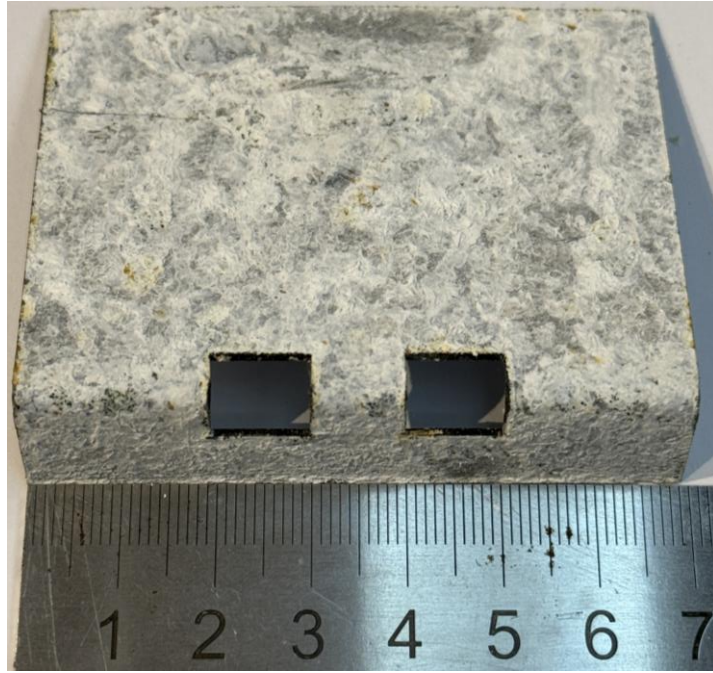
**Şekil E.11:** Şekil 8.9’da ki M<sub>8</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



**Şekil E.12:** Şekil 8.11’de ki M<sub>10</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).



**Şekil E.13:** Şekil 8.11’de ki M<sub>105</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

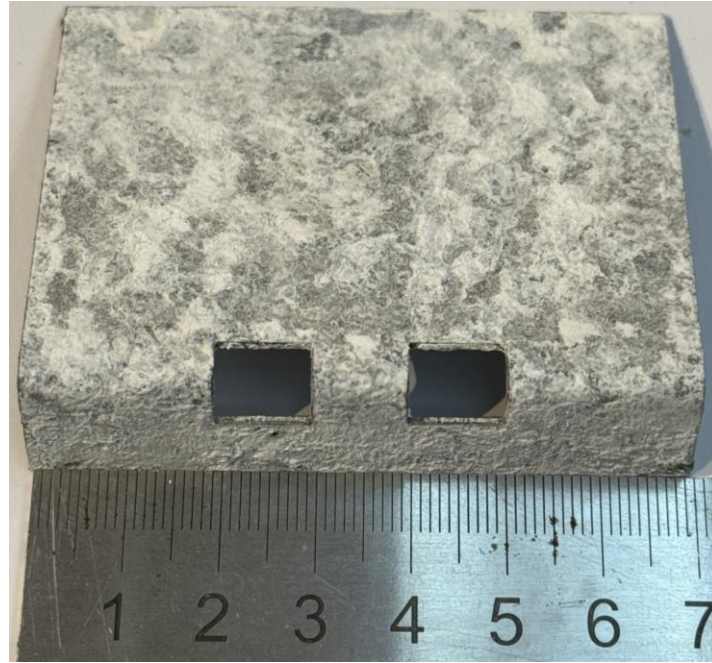


**Şekil E.14:** Şekil 8.13’de ki M<sub>13</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).

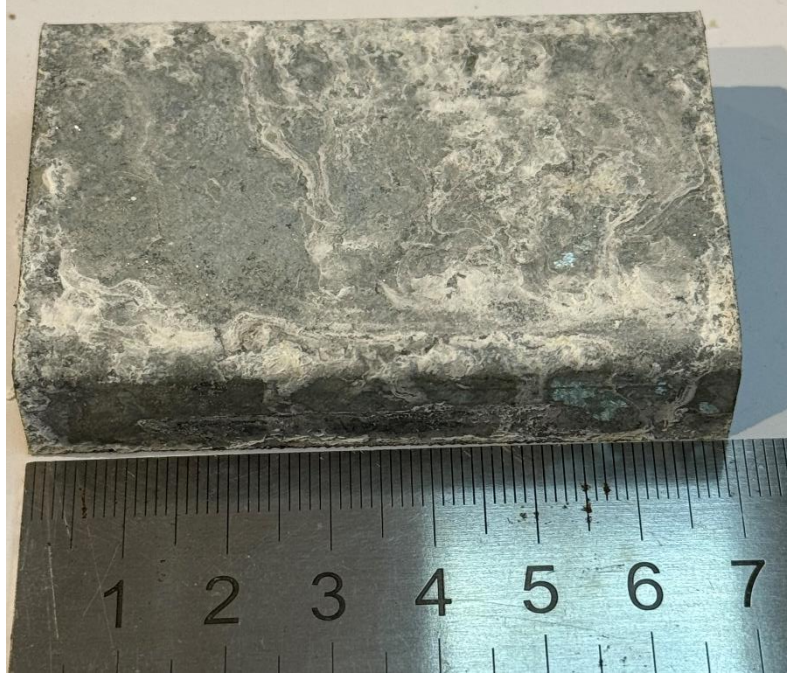




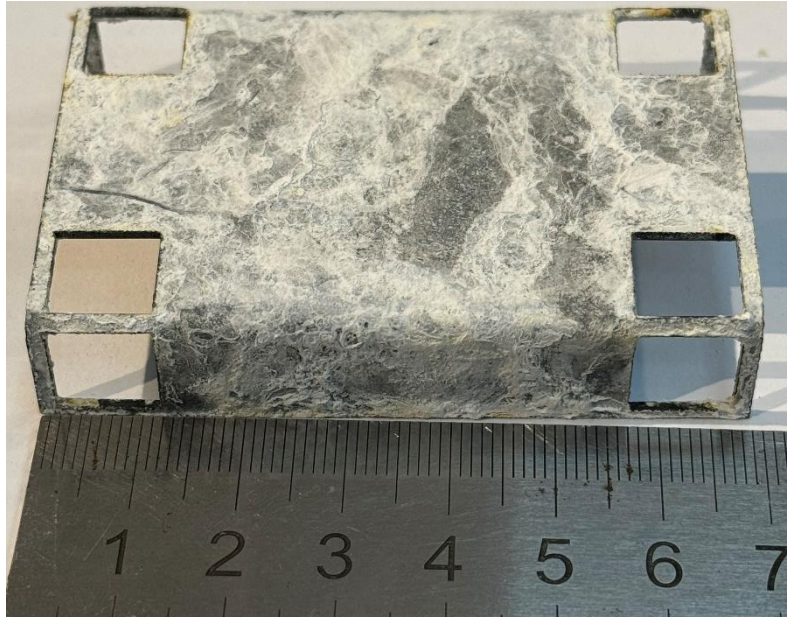
**Şekil E.15:** Şekil 8.13’de ki  $M_{78}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



**Şekil E.16:** Şekil 8.13’de ki  $M_{110}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

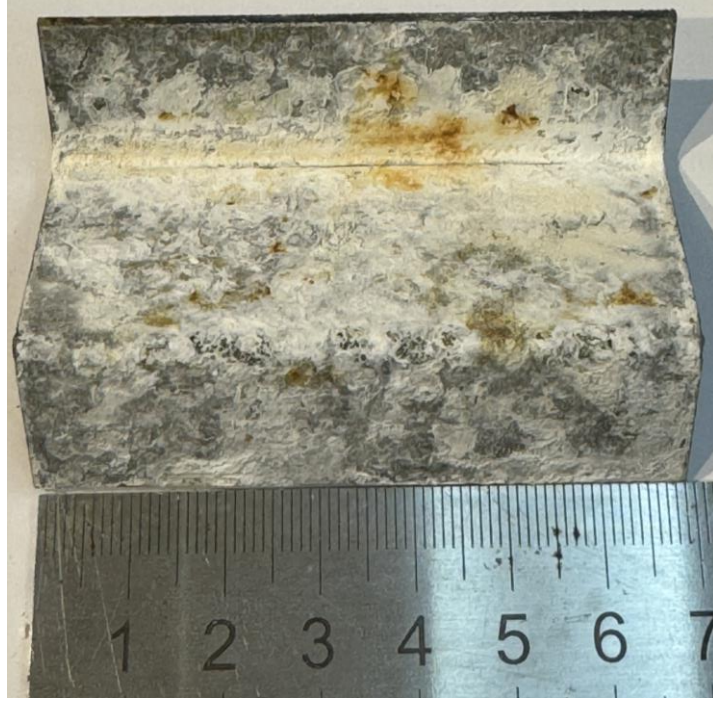


**Şekil E.17:** Şekil 8.15’de ki M<sub>47</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

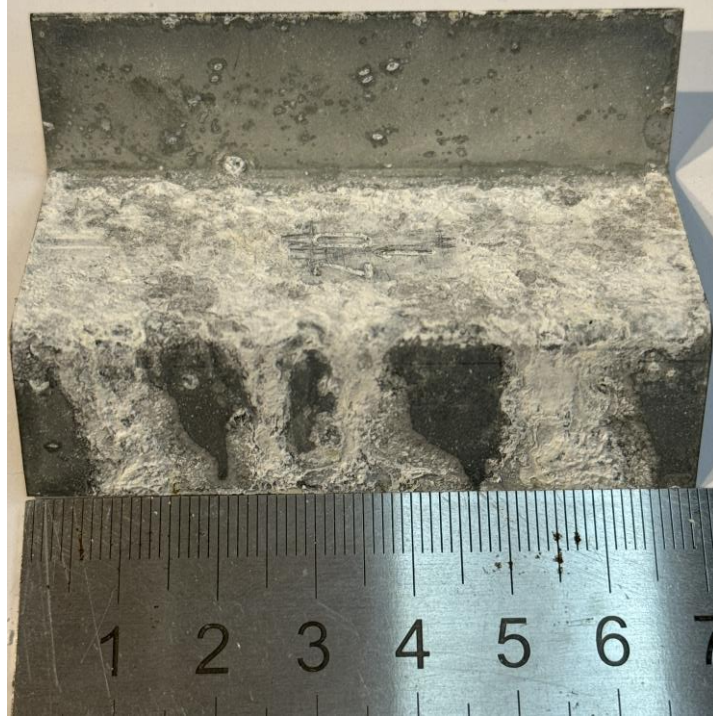


**Şekil E.18:** Şekil 8.15’de ki M<sub>113</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).

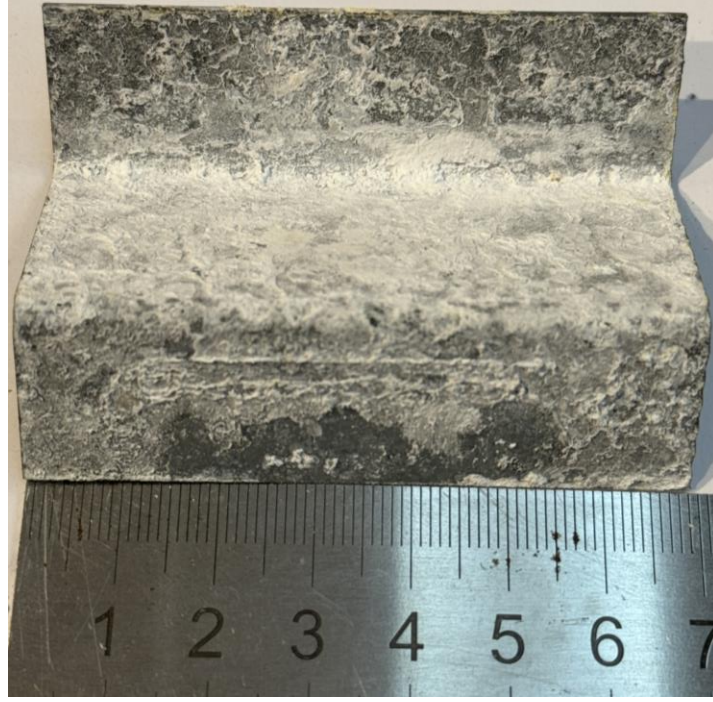




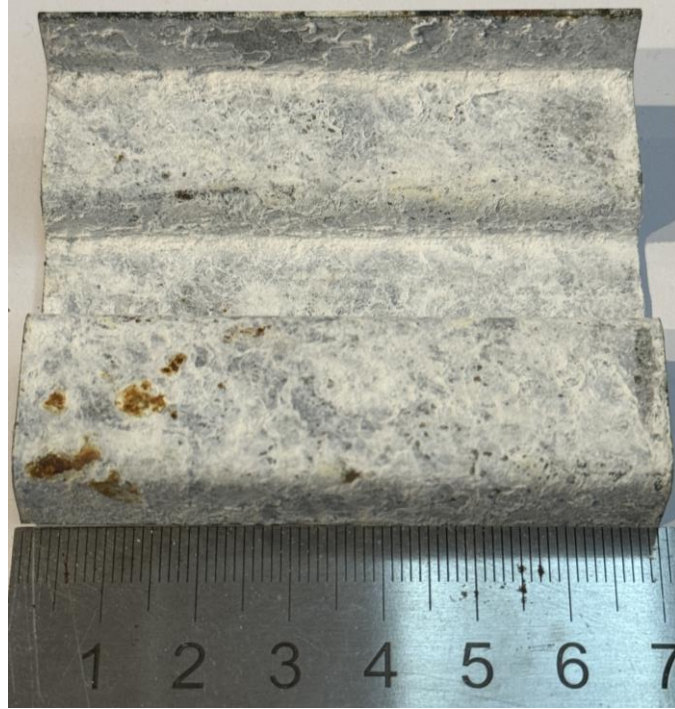
**Şekil E.19:** Şekil 8.17'de ki M<sub>84</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).



**Şekil E.20:** Şekil 8.17'de ki M<sub>20</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



**Şekil E.21:** Şekil 8.17’de ki M<sub>116</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

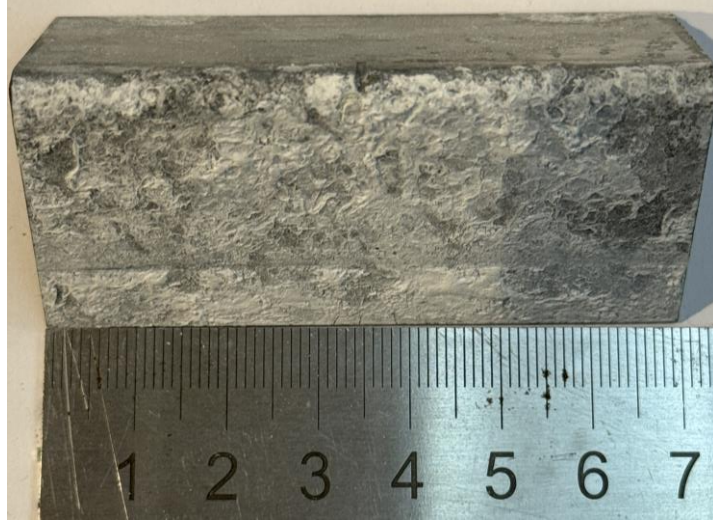


**Şekil E.22:** Şekil 8.19’da ki M<sub>25</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).

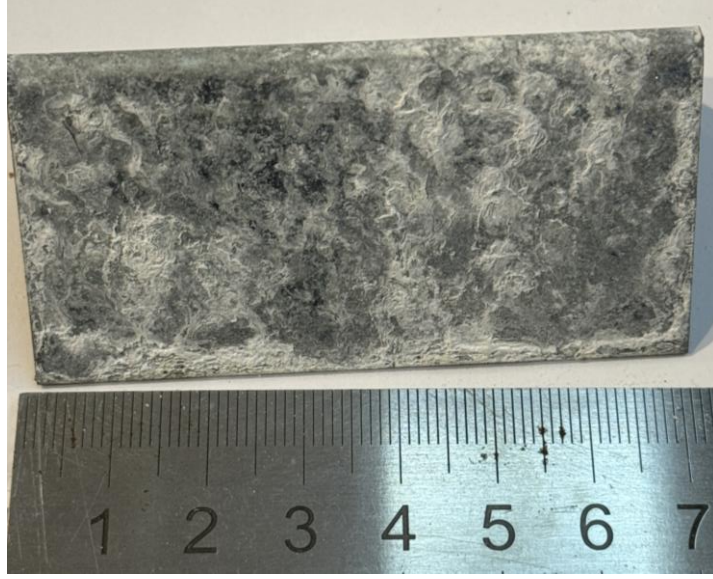




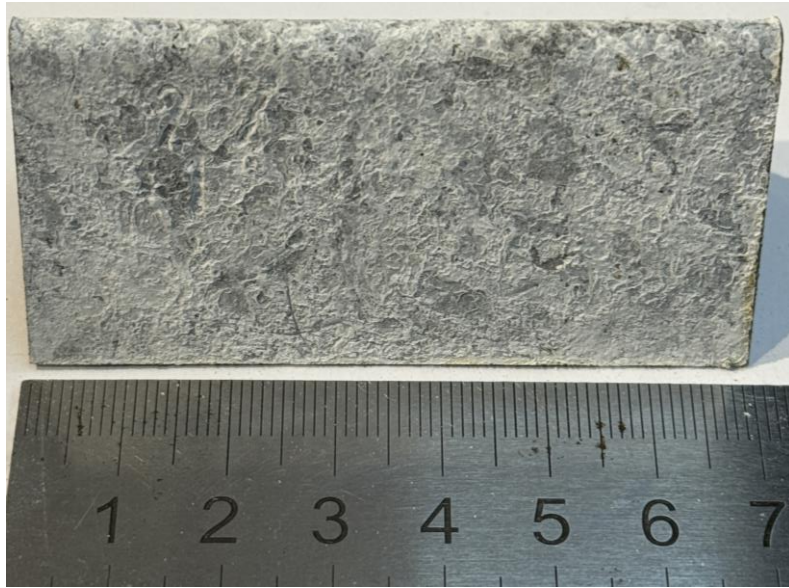
**Şekil E.23:** Şekil 8.19’da ki  $M_{57}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



**Şekil E.24:** Şekil 8.20’de ki  $M_{26}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

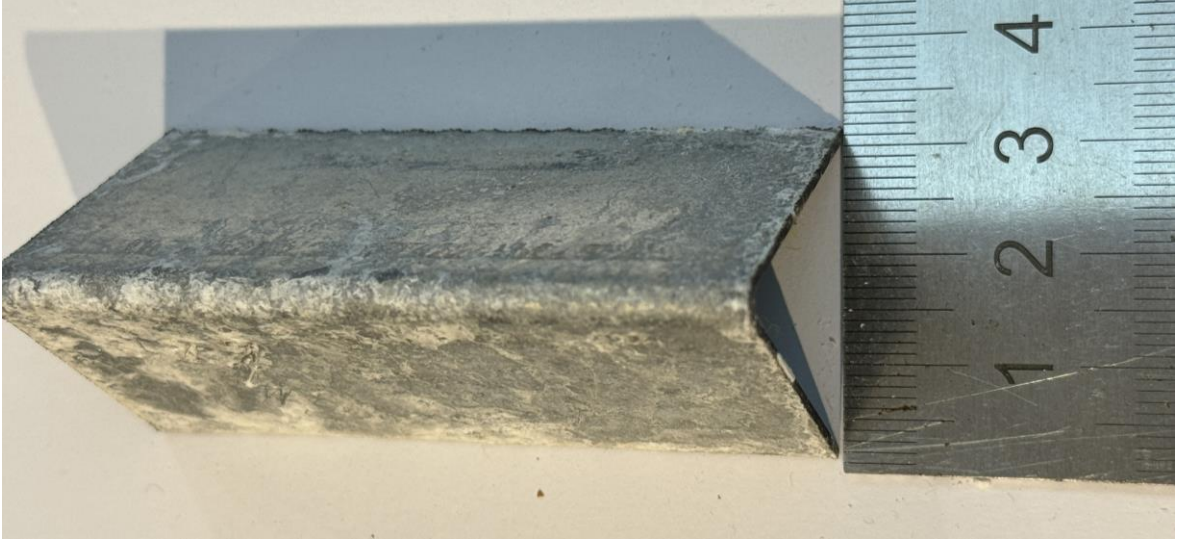


**Şekil E.25:** Şekil 8.20’de ki M<sub>58</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).

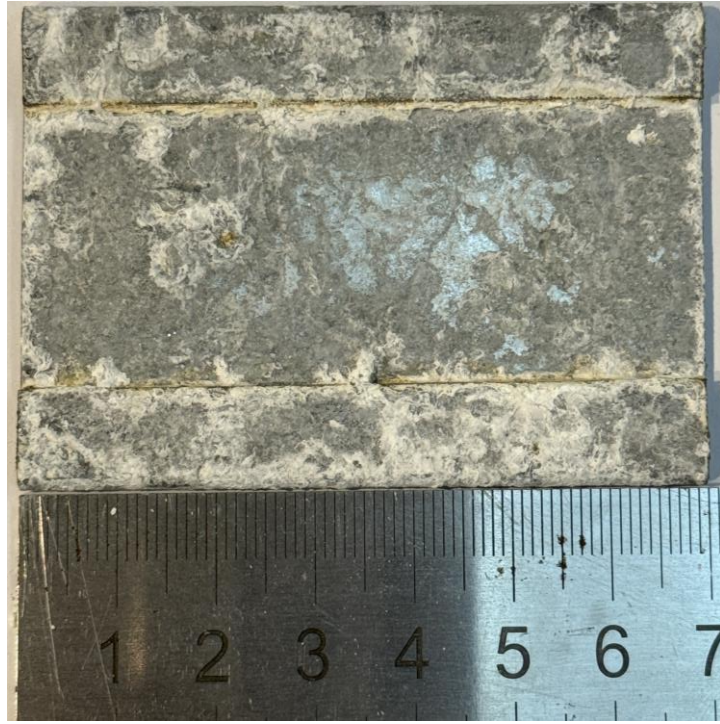


**Şekil E.26:** Şekil 8.21’de ki M<sub>27</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).

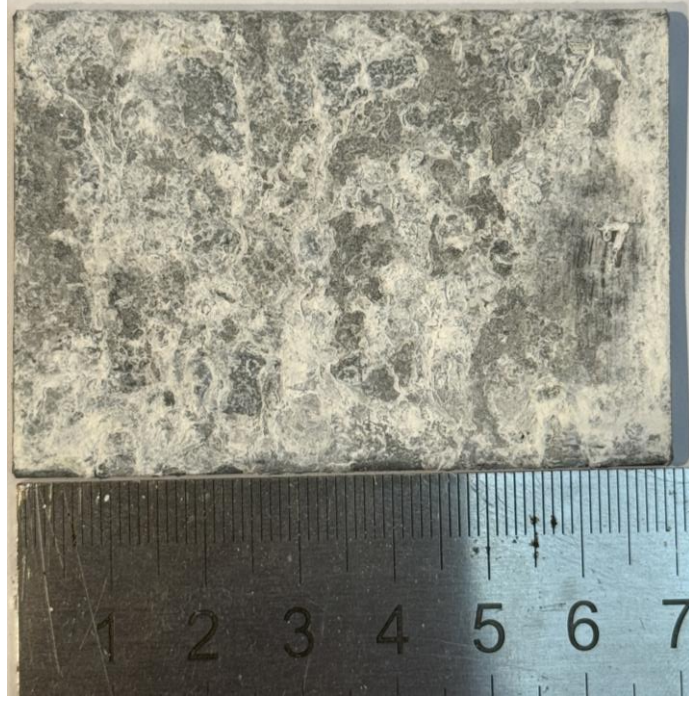




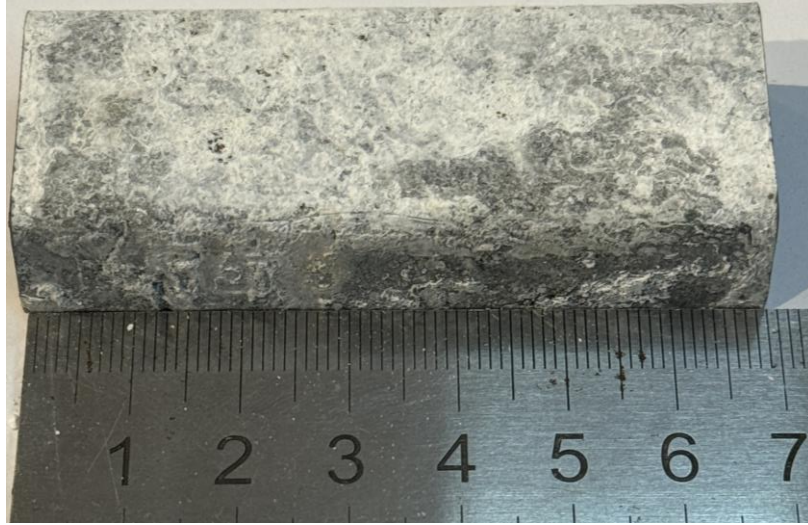
**Şekil E.27:** Şekil 8.21’de ki M<sub>59</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



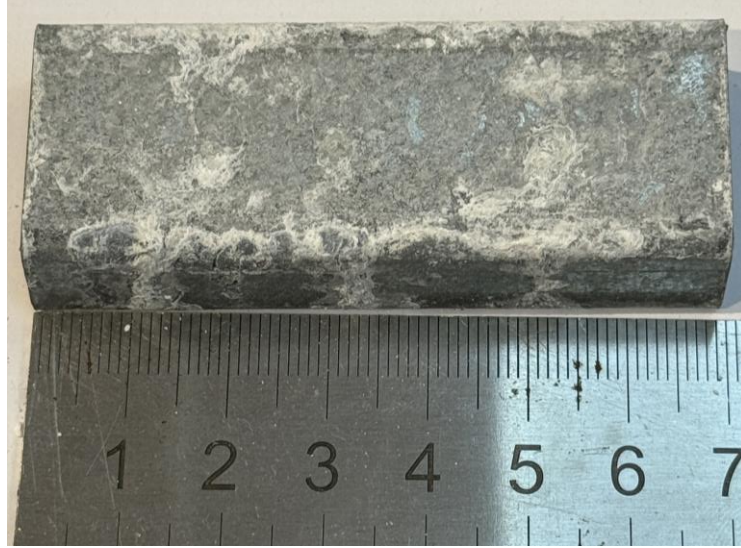
**Şekil E.28:** Şekil 8.22’de ki M<sub>60</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).



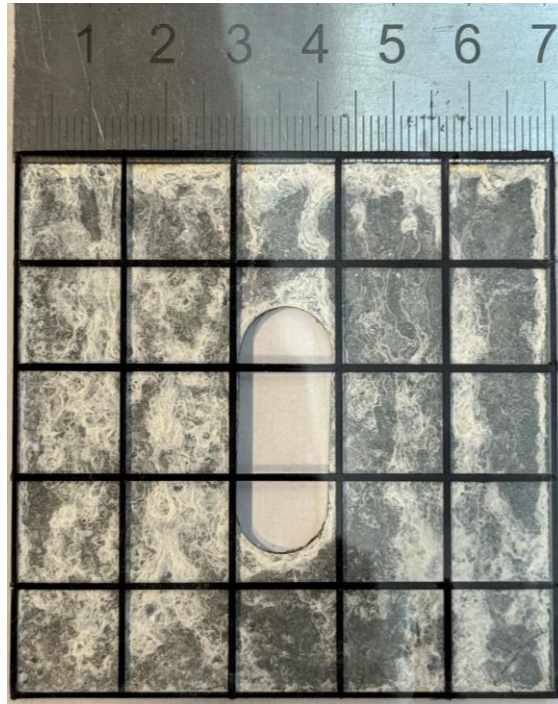
**Şekil E.29:** Şekil 8.22’de ki  $M_{124}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).



**Şekil E.30:** Şekil 8.23’de ki  $M_{61}$  numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

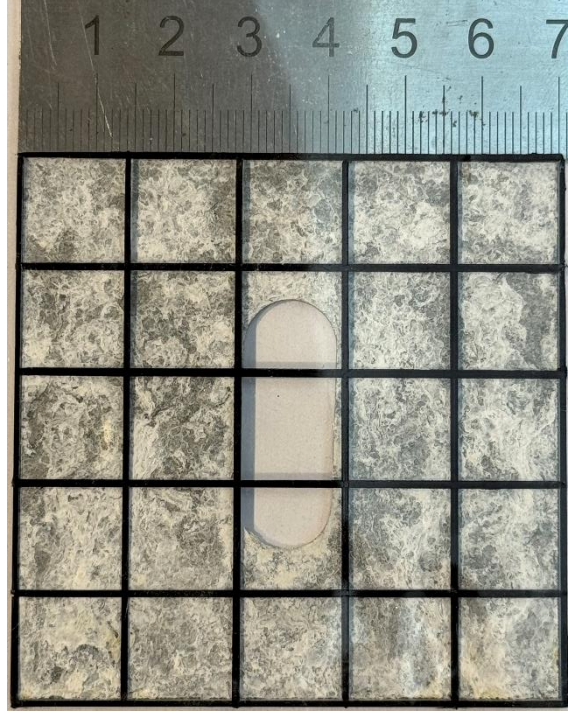


**Şekil E.31:** Şekil 8.23’de ki M<sub>29</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).



**Şekil E.32:** Şekil 8.24’de ki M<sub>95</sub> numaralı numune (Maksimum kırmızı pas).





**Şekil E.33:** Şekil 8.24'de ki M<sub>31</sub> numaralı numune (Minimum kırmızı pas).

**EK F: Tuz sisi testi deney sonuçlarının deney gruplarına göre % kırmızı pas ve % beyaz pas oranlarının tablo halinde verilmesi.**

**Tablo F.1:** A grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları.

A grubu	% Beyaz Pas	% Kırmızı Pas
M1	100	28
M2	100	16
M3	100	24
M4	100	8
M5	100	20
M6	100	4
M7	100	28
M8	100	4
M9	100	52
M10	100	88
M11	100	64
M12	100	22
M13	100	68
M14	100	64
M15	100	40
M16	100	48
M17	88	32
M18	100	28
M19	84	20
M20	80	4
M21	76	8
M22	76	8
M23	76	16
M24	80	12
M25	100	56
M26	58	4
M27	60	36
M28	92	20
M29	96	64
M30	100	16
M31	100	12
M32	100	22

**Tablo F.2:** B grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları.

B grubu	% Beyaz Pas	% Kırmızı Pas
M <sub>33</sub>	64	20
M <sub>34</sub>	56	4
M <sub>35</sub>	72	36
M <sub>36</sub>	52	8
M <sub>37</sub>	80	56
M <sub>38</sub>	100	0
M <sub>39</sub>	92	44
M <sub>40</sub>	96	20
M <sub>41</sub>	84	32
M <sub>42</sub>	88	36
M <sub>43</sub>	92	28
M <sub>44</sub>	88	16
M <sub>45</sub>	96	52
M <sub>46</sub>	60	12
M <sub>47</sub>	76	12
M <sub>48</sub>	88	32
M <sub>49</sub>	96	32
M <sub>50</sub>	96	24
M <sub>51</sub>	88	28
M <sub>52</sub>	88	24
M <sub>53</sub>	56	40
M <sub>54</sub>	80	52
M <sub>55</sub>	88	20
M <sub>56</sub>	92	16
M <sub>57</sub>	96	4
M <sub>58</sub>	52	8
M <sub>59</sub>	52	4
M <sub>60</sub>	60	44
M <sub>61</sub>	72	4
M <sub>62</sub>	80	20
M <sub>63</sub>	68	24
M <sub>64</sub>	64	28

**Tablo F.3:** C grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları.

C grubu	% Beyaz Pas	% Kırmızı Pas
M <sub>65</sub>	100	20
M <sub>66</sub>	100	8
M <sub>67</sub>	100	20
M <sub>68</sub>	100	12
M <sub>69</sub>	100	24
M <sub>70</sub>	100	4
M <sub>71</sub>	100	28
M <sub>72</sub>	100	8
M <sub>73</sub>	84	28
M <sub>74</sub>	72	48
M <sub>75</sub>	68	48
M <sub>76</sub>	92	20
M <sub>77</sub>	88	40
M <sub>78</sub>	92	8
M <sub>79</sub>	96	28
M <sub>80</sub>	100	52
M <sub>81</sub>	76	40
M <sub>82</sub>	92	36
M <sub>83</sub>	92	32
M <sub>84</sub>	100	56
M <sub>85</sub>	100	48
M <sub>86</sub>	100	50
M <sub>87</sub>	100	20
M <sub>88</sub>	100	20
M <sub>89</sub>	92	28
M <sub>90</sub>	52	8
M <sub>91</sub>	56	20
M <sub>92</sub>	100	24
M <sub>93</sub>	88	20
M <sub>94</sub>	80	20
M <sub>95</sub>	100	36
M <sub>96</sub>	100	16



**Tablo F.4:** D grubu numuneleri % Beyaz pas ve % Kırmızı pas oranları.

D grubu	% Beyaz Pas	% Kırmızı Pas
M <sub>97</sub>	100	12
M <sub>98</sub>	100	4
M <sub>99</sub>	100	20
M <sub>100</sub>	100	8
M <sub>101</sub>	100	20
M <sub>102</sub>	100	8
M <sub>103</sub>	100	36
M <sub>104</sub>	100	8
M <sub>105</sub>	100	20
M <sub>106</sub>	100	48
M <sub>107</sub>	100	40
M <sub>108</sub>	100	20
M <sub>109</sub>	100	40
M <sub>110</sub>	100	8
M <sub>111</sub>	100	36
M <sub>112</sub>	100	24
M <sub>113</sub>	100	56
M <sub>114</sub>	100	16
M <sub>115</sub>	100	32
M <sub>116</sub>	100	4
M <sub>117</sub>	100	16
M <sub>118</sub>	100	28
M <sub>119</sub>	80	24
M <sub>120</sub>	100	28
M <sub>121</sub>	100	24
M <sub>122</sub>	96	8
M <sub>123</sub>	92	4
M <sub>124</sub>	96	12
M <sub>125</sub>	100	20
M <sub>126</sub>	100	16
M <sub>127</sub>	100	8
M <sub>128</sub>	100	16

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa Dülger

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl