

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK YAPILARIN, ATMOSFERİK KOROZYONA
KARŞI KORUNMASINDA EPOKSİ BAZLI BOYA VE
KAPLAMALARIN KULLANIMI VE PERFORMANSI**

Endüstri Yük. Müh. A. Kerem PAKSOY

**FBE Metalürji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 24 Eylül 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet Topuz (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Selahattin GÖKMEN (Beykent Üni.)

: Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu (YTÜ)

: Prof. Dr. Yılmaz Taptık (İTÜ)

: Prof. Dr. Neşet Kadirgan (Marmara Üni.)

İstanbul, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
2 TEORİK ÇALIŞMALAR	4
2.1 Korozyon Nedir?	4
2.2 Korozyonun Oluşum Mekanizması	4
2.3 Korozyon Çeşitleri	5
2.3.1 Genel Korozyon Türleri	5
2.3.1.1 Galvanik Korozyon	5
2.3.1.2 Kaçak Akım Korozyonu	6
2.3.1.3 Biyolojik Korozyon	6
2.3.1.4 Yüksek Sıcaklık Korozyonu	6
2.3.2 Lokal Korozyon	6
2.3.2.1 Filiform (İpliğimsi) Korozyon	6
2.3.2.2 Çatlak Korozyonu	7
2.3.2.3 Çukur Korozyonu	7
2.3.2.4 Gerilmeli Çatlak Korozyonu	7
2.3.2.5 Tanelerarası Korozyon	8
2.3.2.6 Pullanma Korozyonu	8
2.3.3 Atmosferik Korozyon	8
2.4 Korozyon Hızı	10
2.5 Atmosferik Korozyon Alanları	11
2.6 Atmosferik korozyondan Korunma Yöntemleri	12
2.6.1 Tasarım	12
2.6.2 Alaşımlama	13
2.6.3 Kaplama	14
2.6.3.1 Metalik Kaplama Sistemi	15
2.6.3.2 Boyalar	17
2.7 Boya Tatbikatı	26
2.7.1 Doğru Boya Sisteminin Seçimi	26
2.7.2 Yüzey Hazırlığı Yöntemleri	31

2.7.3	Boyanın Uygulanışı	35
2.7.4	Boya Uygulamasında Kalite Kontrol	39
2.7.5	Boya Performans Testleri	45
2.7.5.1	Saha Testi	46
2.7.5.2	Laboratuar Testi	49
2.7.5.2.1	Tuz Püskürtme Testi	49
2.7.5.2.2	SO ₂ Testi	50
2.7.5.2.3	UV Testi	50
2.7.5.3	Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi	51
2.7.5.3.1	Yüzeye Yapışma	51
2.7.5.3.2	Yüzey Değerlendirmesi	51
2.7.5.4	Boyalar İçin Ömür Bazlı Ekonomik Değerlendirme	54
3	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
3.1	Boya Sistemleri	56
3.1.1	Boya Formülasyonu	57
3.2	Saha Testi	58
3.3	Tuz Testi	66
3.4	SO ₂ Testi	68
3.5	UV Testi	68
4	DENEY SONUÇLARI	69
4.1	Saha Testleri	69
4.1.1	Meteorolojik Bilgiler	70
4.1.2	Korozyon Hızı Hesaplamaları	71
4.1.3	Paneller	72
4.1.4	Paneller Üzerindeki Çizik ve Çevresi İçin Korozyon ve Delaminasyon Tabloları ve Grafikleri	76
4.1.5	Paneller Üzerindeki Çizikli Olmayan Bölgenin Yüzey Değerlendirme Tabloları	80
4.1.6	Paneller Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışma Kuvveti	84
4.1.7	Paneller Üzerindeki Boyanın UV Dayanımı	85
4.2	Laboratuar Testleri	88
4.2.1	Tuz Püskürtme Testi	88
4.2.1.1	Paneller Üzerindeki Çizik ve Çevresi İçin Korozyon ve Delaminasyon Tabloları ve Grafikleri	92
4.2.1.2	Paneller Üzerindeki Çizikli Olmayan Bölgenin Yüzey Değerlendirme Tabloları	97
4.2.1.3	Paneller Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışma Kuvveti	99
4.2.2	SO ₂ Testi	100
4.2.2.1	Paneller Üzerindeki Çizik ve Çevresi İçin Korozyon Tabloları ve Grafikleri	104
4.2.2.2	Paneller Üzerindeki Çizikli Olmayan Bölgenin Yüzey Değerlendirme Tabloları	106
4.2.2.3	Paneller Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışma Kuvveti	108
4.2.3	UV Testi	109
5	DENEY SONUÇLARIN İRDELENMESİ	112
5.1	Testler	112

5.1.1	Saha Testleri	112
5.1.1.1	Çizikli Alandaki Korozyon	112
5.1.1.2	Çiziksiz Alandaki Korozyon	113
5.1.1.3	Yapışma	113
5.1.1.4	UV Dayanımı	114
5.1.1.5	Yüzey Hazırlıkları Arasındaki Fark	114
5.1.1.6	Bölgeler Arasındaki Fark	114
5.1.1.7	Saha Testi Sonucu	115
5.1.2	Laboratuar Testleri	116
5.1.2.1	Tuz Püskürtme Testi	116
5.1.2.1.1	Çizikli Alandaki Korozyon	116
5.1.2.1.2	Çiziksiz Alandaki Korozyon	117
5.1.2.1.3	Yapışma	117
5.1.2.2	SO ₂ Testi	117
5.1.2.2.1	Çizikli Alandaki Korozyon	117
5.1.2.2.2	Çiziksiz Alandaki Korozyon	117
5.1.2.2.3	Yapışma	118
5.1.2.3	UV Testi	118
5.1.2.3.1	UV Dayanımı	118
5.2	Sistemlerin Ekonomik Ömür Analizi	119
6	SONUÇ	122
KAYNAKLAR		125
EKLER		130
Ek 1 Saha Testi Numunelerinin Sistemlere Göre Tüm Bölgelerdeki Durumları		130
Ek 2 Tuz Testi Numunelerinin Sistemlere Göre Tüm Bölgelerdeki Durumları		134
Ek 3 SO ₂ Testi Numunelerinin Sistemlere Göre Tüm Bölgelerdeki Durumları		138
ÖZGEÇMİŞ		142

SİMGE LİSTESİ

E_{ox}	Oksidasyon Enerjisi
E_{red}	Redükleme Enerjisi
St	Çelik
$\sqrt{}$	Var
x	Yok

KISALTMA LİSTESİ

ASM	American Society for Metals
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Korozyon Sınıfı
dE	İki renk arasındaki toplam fark
DIN	Deutsche Institut für Normung
Dol.	Dolgu
E – Modül	Elastisite Modülü
EN	European Norms
GÇK	Gerilmeli çekme korozyonu
Haz.	Hazırlığı
IFK	Islak Film Kalınlığı
IPDI	Isoforondiizosiyanat
ISO	International Standardization Organization
KFK	Kuru Film Kalınlığı
MDI	Difenilmetandiizosiyanat
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
Pig.	Pigment
Ri	Rust Index
SA	Kumla temizleyerek yüzey hazırlama
SIS	İsveç standartları
St	Elle ve motor tahrikli aletle temizleme
TDI	Toluendiizosiyanat
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UV	Ultra Violet
UVB	Fluoresan UV lambası
Vol.	Volume (Cilt)
Yüz.	Yüzey

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Svern Köprüsü	1
Şekil 1.2	Boğaziçi Köprüsü.....	1
Şekil 1.3	Korozyonun etkisi.....	3
Şekil 2.1	Çatlak korozyonu.....	7
Şekil 2.2	Çatlak korozyonu.....	7
Şekil 2.3	Çukur korozyonu	7
Şekil 2.4	Gerilmeli çatlak korozyonu.....	7
Şekil 2.5	Taneler arası korozyon.....	8
Şekil 2.6	Pullanma korozyonu	8
Şekil 2.7	Atmosferik korozyon	8
Şekil 2.8	Atmosferik korozyon	8
Şekil 2.9	Atmosferik korozyon	9
Şekil 2.10	Atmosferik korozyon	9
Şekil 2.11	Kötü tasarım.....	12
Şekil 2.12	Nikelin etkisi	13
Şekil 2.13	Bakırın etkisi	13
Şekil 2.14	Weathering çeliği	14
Şekil 2.15	Galvaniz kaplama.....	15
Şekil 2.16	Galvaniz kaplamanın ömrü	15
Şekil 2.17	Pigmentin etkisi	18
Şekil 2.18	Mikamsı cam.....	19
Şekil 2.19	Aktif epoksi grubu	24
Şekil 2.20	Amin veya amid grubu.....	24
Şekil 2.21	Poliadisyon reaksiyonu	25
Şekil 2.20	Poliüretan poliadisyon reaksiyonu	25
Şekil 2.23	Pas sınıfları.....	29
Şekil 2.24	SA yüzey hazırlığı sınıfları	30
Şekil 2.25	St yüzey hazırlığı sınıfları	30
Şekil 2.26	Kumlama.....	31
Şekil 2.27	Su jeti	32
Şekil 2.28	Kumlama ekipmanı.....	33
Şekil 2.29	Nozül.....	33

Şekil 2.30	Garnet.....	33
Şekil 2.31	Grit	33
Şekil 2.32	Fırça	36
Şekil 2.33	Rulo.....	36
Şekil 2.34	Püskürtme yöntemiyle uygulama.....	36
Şekil 2.35	Komparatör	40
Şekil 2.36	Pot life.....	41
Şekil 2.37	Islak film kalınlığı ölçümü.....	42
Şekil 2.38	Kuru film kalınlığı ölçümü	43
Şekil 2.39	Cross cut.....	44
Şekil 2.40	Pull off	44
Şekil 2.41	Tuz püskürtme kabini	49
Şekil 2.42	UV kabini.....	50
Şekil 2.43	Spectrofotometre.....	53
Şekil 2.44	Parlaklık ölçer	53
Şekil 3.1	Kesilmemiş plakalar.....	58
Şekil 3.2	Kumlama kazanı	58
Şekil 3.3	Kumlanan paneller	59
Şekil 3.4	Taşlanan paneller	59
Şekil 3.5	Numuneler.....	60
Şekil 3.6	Boya hazırlığı.....	60
Şekil 3.7	Islak film ölçümü	60
Şekil 3.8	Teorik ve pratik KFK değerleri.....	61
Şekil 3.9	Numunelerin çizilmesi	61
Şekil 3.10	Düzenek	62
Şekil 3.11	Google Earth'den Kimar'ın konumu	63
Şekil 3.12	Kimar'daki düzenek	63
Şekil 3.13	Google Earth'den Marshall'ın konumu	64
Şekil 3.14	Marshall'daki düzenek	65
Şekil 3.15	Kalamış'taki düzenek	65
Şekil 3.16	Google Earth'den Kalamış'ın konumu	66
Şekil 3.17	KFK teorik ve pratik değerleri.....	67
Şekil 4.1	Kimar'daki düzenek	69
Şekil 4.2	Marshall'daki düzenek	69
Şekil 4.3	Kalamış'taki düzenek	69

Şekil 4.4	Paslı numunelerin temizlenmesi	71
Şekil 4.5	Şahit saha testi numuneleri. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	72
Şekil 4.6	Şahit saha testi numuneleri. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	72
Şekil 4.7	Kimar saha testi numuneleri. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	73
Şekil 4.8	Kimar saha testi numuneleri. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	73
Şekil 4.9	Marshall saha testi numuneleri. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	74
Şekil 4.10	Marshall saha testi numuneleri. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	74
Şekil 4.11	Kalamış saha testi numuneleri. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	75
Şekil 4.12	Kalamış saha testi numuneleri. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	75
Şekil 4.13	Tuz püskürtme testi. Şahit numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	88
Şekil 4.14	Tuz püskürtme testi. Şahit numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	88
Şekil 4.15	480 saatlik tuz püskürtme testi için numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	89
Şekil 4.16	480 saatlik tuz püskürtme testi için numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	89
Şekil 4.17	720 saatlik tuz püskürtme testi için numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	90
Şekil 4.18	720 saatlik tuz püskürtme testi için numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	90
Şekil 4.19	960 saatlik tuz püskürtme testi için numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	91
Şekil 4.20	960 saatlik tuz püskürtme testi için numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	91
Şekil 4.21	SO ₂ testi. 4. gün. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	100

Şekil 4.22	SO ₂ testi. 4. gün. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	100
Şekil 4.23	SO ₂ testi. 10. gün. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	101
Şekil 4.24	SO ₂ testi. 10. gün. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	101
Şekil 4.25	SO ₂ testi. 16. gün. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	102
Şekil 4.26	SO ₂ testi. 16. gün. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	102
Şekil 4.27	SO ₂ testi. 21. gün. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	103
Şekil 4.28	SO ₂ testi. 21. gün. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.....	103
Şekil 4.29	SO ₂ test düzeneği	104
Şekil 4.30	Son katlı boyalar	109
Şekil 4.31	Son katlı boyalar	109
Şekil Ek 1.1	Sistem 1. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	131
Şekil Ek 1.2	Sistem 2. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	131
Şekil Ek 1.3	Sistem 3. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	132
Şekil Ek 1.4	Sistem 4. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	132
Şekil Ek 1.5	Sistem 5. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	133
Şekil Ek 1.6	Sistem 6. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	133
Şekil Ek 1.7	Sistem 7. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	134
Şekil Ek 1.8	Sistem 8. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış.....	134
Şekil Ek 2.1	Sistem 1. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	135

Şekil Ek 2.2	Sistem 2. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	135
Şekil Ek 2.3	Sistem 3. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	136
Şekil Ek 2.4	Sistem 4. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	136
Şekil Ek 2.5	Sistem 5. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	137
Şekil Ek 2.6	Sistem 6. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	137
Şekil Ek 2.7	Sistem 7. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	138
Şekil Ek 2.8	Sistem 8. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 saat	138
Şekil Ek 3.1	SO ₂ Testi. Sistem 1. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	139
Şekil Ek 3.2	SO ₂ Testi. Sistem 2. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	139
Şekil Ek 3.3	SO ₂ Testi. Sistem 3. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	140
Şekil Ek 3.4	SO ₂ Testi. Sistem 4. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	140
Şekil Ek 3.5	SO ₂ Testi. Sistem 5. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	141
Şekil Ek 3.6	SO ₂ Testi. Sistem 6. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	141
Şekil Ek 3.7	SO ₂ Testi. Sistem 7. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	142
Şekil Ek 3.8	SO ₂ Testi. Sistem 8. Üst sıra kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün	142

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Çelik ve diğer yapı malzemelerinin karşılaştırması.....	2
Çizelge 2.1	Korozyon türleri.....	5
Çizelge 2.2	Korozyon alanlarının sınıflandırılması	2
Çizelge 2.3	Galvanizli çelik, boyalı çelik ve galvanizli + boyalı çelik korozyon direnci karşılaştırması	16
Çizelge 2.4	Farklı reçine tiplerinin karşılaştırma tablosu	21
Çizelge 2.5	C3 Korozyon sınıfı.....	28
Çizelge 2.6	C4 Korozyon sınıfı.....	28
Çizelge 3.1	Deneylerde kullanılan sistemler.....	56
Çizelge 3.2	Kullanılan boya sistemlerinin özgün formülasyonları.....	57
Çizelge 4.1	Kocaeli Tem. 06 - Ağu. 07 arası meteoroloji istatistikleri.....	70
Çizelge 4.2	Göztepe - Kartal Tem. 06 - Ağu. 07 arası meteoroloji istatistikleri	70
Çizelge 4.3	Bölgelerin meteoroloji istatistiklerinin karşılaştırması.....	70
Çizelge 4.4	Numune tartımları.....	71
Çizelge 4.5	Alan hesaplamaları.....	71
Çizelge 4.6	Süre hesaplamaları	71
Çizelge 4.7	Korozyon hızları	71
Çizelge 4.8	ISO 4628 - 8'e göre korozyon ve delaminasyon genişlikleri	76
Çizelge 4.9	Saha testi: Kimar'da kumlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	77
Çizelge 4.10	Saha testi: Kimar'da taşlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	77
Çizelge 4.11	Saha testi: Marshall'da kumlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	78
Çizelge 4.12	Saha testi: Marshall'da taşlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	78
Çizelge 4.13	Saha testi: Kalamış'ta kumlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	79
Çizelge 4.14	Saha testi: Kalamış'ta taşlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	79
Çizelge 4.15	Saha testi: Çeşitli bölgelerde, kumlanmış veya taşlanmış numunelerde gözlemlenen maksimum delaminasyon genişliği, (mikrometre).....	80

Çizelge 4.16	SA 2½ mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin Kimar'daki deneyden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	81
Çizelge 4.17	St 2 mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin Kimar'daki deneyden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	81
Çizelge 4.18	SA 2½ mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin Marshall'daki deneyden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	82
Çizelge 4.19	St 2 mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin Marshall'daki deneyden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	82
Çizelge 4.20	SA 2½ mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin Kalamış'taki deneyden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	83
Çizelge 4.21	St 2 mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin Kalamış'taki deneyden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	83
Çizelge 4.22	ISO 2409 ve ISO 4624 standartlarına uygun olarak numunelerin üzerindeki boyanın yüzeye yapışması sonucu (testten önce)	84
Çizelge 4.23	ISO 2409 ve ISO 4624 standartlarına uygun olarak numunelerin üzerindeki boyanın yüzeye yapışması sonucu (testten sonra)	84
Çizelge 4.24	Saha testi yapılmış numunelerden oluşan tebeşirlenmenin ISO 4628 - 7 standardına göre değerlendirilmesi	85
Çizelge 4.25	ISO 7724 standardına uygun olarak Minolta cihazı ile yapılmış olan renk farkı ölçümleri.....	86
Çizelge 4.26	Sistem 1 ve Sistem 2 Minolta renk değişim ölçüm farkı	86
Çizelge 4.27	Sistem 5 ve Sistem 6 Minolta renk değişim ölçüm farkı	86
Çizelge 4.28	ISO 2813 standardına uygun olarak numunelerin parlaklık derecesinin değerlendirme tablosu	87
Çizelge 4.29	Saha testine maruz bırakılmış numunelerin parlaklık değişimi	87
Çizelge 4.30	ISO 4628 - 8'e göre korozyon ve delaminasyon genişlikleri	92
Çizelge 4.31	480 saatlik tuz testi sonucu kumlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre)	93
Çizelge 4.32	480 saatlik tuz testi sonucu taşlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre)	93
Çizelge 4.33	720 saatlik tuz testi sonucu kumlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre)	94
Çizelge 4.34	720 saatlik tuz testi sonucu taşlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre)	94
Çizelge 4.35	960 saatlik tuz testi sonucu kumlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama	

	korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	95
Çizelge 4.36	960 saatlik tuz testi sonucu taşlanmış numunelerde gözlemlenen ortalama korozyon çizgisi genişliği, (mikrometre).....	95
Çizelge 4.37	Tuz testi sonucu kumlanmış numunelerde görülen delaminasyon genişlikleri, (mikrometre)	96
Çizelge 4.38	Tuz testi sonucu taşlanmış numunelerde görülen delaminasyon genişlikleri, (mikrometre)	96
Çizelge 4.39	SA 2½ mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin tuz püskürtme deneyinden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	97
Çizelge 4.40	St 2 mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin tuz püskürtme deneyinden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	98
Çizelge 4.41	ISO 2409 ve ISO 4624 standartlarına uygun olarak numunelerin üzerindeki boyanın yüzeye yapışması sonucu (testten önce)	99
Çizelge 4.42	ISO 2409 ve ISO 4624 standartlarına uygun olarak numunelerin üzerindeki boyanın yüzeye yapışması sonucu (testten sonra)	99
Çizelge 4.43	SO ₂ testi sonucunda oluşan korozyon değerleri (mikrometre)	104
Çizelge 4.44	SO ₂ testi sonucunda kumlanmış numunelerin korozyon değeri	105
Çizelge 4.45	SO ₂ testi sonucunda taşlanmış numunelerin korozyon değeri	105
Çizelge 4.46	SA 2½ mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin SO ₂ deneyinden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	106
Çizelge 4.47	St 2 mertebesinde yüzey hazırlığı yapılmış olan numunelerin SO ₂ deneyinden sonraki yüzey değerlendirme sonuçları	107
Çizelge 4.48	ISO 2409 ve ISO 4624 standartlarına uygun olarak numunelerin üzerindeki boyanın yüzeye yapışması sonucu (testten önce)	108
Çizelge 4.49	ISO 2409 ve ISO 4624 standartlarına uygun olarak numunelerin üzerindeki boyanın yüzeye yapışması sonucu (testten sonra)	108
Çizelge 4.50	UV testi yapılmış numunelerden oluşan tebeşirlenmenin ISO 4628 - 7 standardına göre değerlendirilmesi	110
Çizelge 4.51	ISO 7724 standardına uygun olarak Minolta cihazı ile yapılmış olan renk farkı ölçümleri.....	110
Çizelge 4.52	Sistem 1, Sistem 2 ve Sistem 5 Minolta ile bulunan renk değişimi.....	111
Çizelge 4.53	ISO 2813 standardına uygun olarak numunelerin parlaklık derecesinin değerlendirme tablosu.....	111
Çizelge 4.54	UV testine maruz bırakılmış numunelerin parlaklık değişimi.....	111
Çizelge 5.1	Boya sistemlerinin performanslarına göre dizilişleri.....	112

Çizelge 5.2	Boya sistemlerinin performanslarına göre dizilişleri.....	116
Çizelge 5.3	Boya sistemlerinin performanslarına göre dizilişleri.....	117
Çizelge 5.4	Boya sistemlerinin toplam yatırım maliyeti.....	119
Çizelge 5.5	Sistem maliyeti ve sistemlerin korozyon sınıfına göre ömürleri	119
Çizelge 5.6	Sistemlerin maliyet hesaplaması (YTL/m ²) (SA 2½ Yüz. haz. için).....	120
Çizelge 5.7	Sistemlerin maliyet hesaplaması (YTL/m ²) (St 2 Yüz. haz. için).....	121
Çizelge 5.8	Sistemlerin korozyon sınıflarına göre yıllık maliyetleri (A) (YTL / m ²).....	121

ÖNSÖZ

Çelik, inşaat sektörünün büyümesinin de etkisiyle, giderek artan miktarda kullanılmaktadır. Söz konusu kullanım alanları, köprüler, yüksek binalar, fabrikalar, havaalanı, alışveriş merkezi gibi yapılardır.

Çelik inşaattan başka pek çok alanda kullanılmaktadır. Otomotiv, gemi inşa endüstrisi, askeri endüstri bunların başında yer almaktadır.

Son birkaç yıldan beri Çin ekonomisindeki görülmekte olan hızlı büyüme, tüm hammaddelerde olduğu gibi çeliği de etkilemiştir. Bu yüzden çelik fiyatları kısa sürede çok yüksek bir ivmeyle artmıştır. Artan kullanım miktarı ve fiyatlar, dünyanın en yüksek teknolojisine sahip ülkelerin dahi gayri milli hâsıllarının önemli bir kısmını tüketen korozyondan çeliğin korunmasını çok daha önemli hale getirmiştir.

Uygulandıkları yüzeye çok iyi yapışabilmeleri, yüksek mekanik ve kimyasal mukavemete sahip olmaları sayesinde, çelik konstrüksiyonların korozyona karşı korunmasında epoksi boyaların kullanımı çok yaygındır.

Dünyada epoksi esaslı boya üreten dev boyutlu pek çok firma vardır ve bunlar ülkemizde de faaliyet göstermektedir. Piyasada en yaygın şekilde kullanılan ürünler belirlenmiş ve formülasyonu % 100 yerli olan bir firmaya ait olan ürünler test edilmiştir. Firmanın ayırt edici bir diğer özelliği de, kendi hammaddesini de üretebiliyor olmasıdır. Bu sayede boya formülasyonları için gerekli olan ArGe çalışmasına bir adım geriden başlayabilmekte ve özgün tasarımlar geliştirebilmektedir.

Söz konusu firmanın ürünleri hem sahada hem de laboratuarda test edilmiştir. Saha testleri, testlerin en can alıcı noktası olmuştur. Mümkün olduğu kadar farklı koroziyon özelliğine sahip mümkün olduğu kadar farklı bölge seçilmeye çalışılmıştır. Bu bölgeleri seçerken dikkat edilen bir başka konu da, mümkün olduğu kadar kolay kontrol edilebiliyor olmalarıdır. Bu yüzden farklı koroziyon özelliğine sahip bölgeler, birbirlerine nispeten yakın seçilmişlerdir. Bu konuda bize yardımcı olan Kimar A.Ş.'ye, Kalamış Kuru Sitesi Yönetimi'ne ve Marshall Boya Fabrikası Müdürü Sn Atilla Dişcioğlu'na teşekkür ederiz.

Numunelerin hazırlanması ve test süreçlerinde büyük sabır göstermiş ve emek vermiş tüm Kimar personeline de teşekkür ederiz.

Zaman ayırıp çalışmalarla yakından ilgilenmiş ve bizi yönlendirmiş olan değerli jüri üyeleri, Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu, Prof. Dr. Selahattin Gökmen, Prof. Dr. Yılmaz Taptık ve Prof. Dr. Neşet Kadirgan'a da ayrıca teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Ahmet Topuz, Prof. Dr. Müzeyyen Marşoğlu ve Kimya Yük. Müh. Sevin Sunal başta olmak üzere tüm YTÜ öğretim üye ve yardımcılara, Yıldız Teknik Üniversitesi'ndeki öğrenimim sırasında bana vermiş oldukları destekten dolayı teşekkür ederim.

Tez danışmanım, değerli öğretmenim Prof. Dr. Ahmet Topuz'a, uzun süren çalışmamız sırasında her zaman büyük bir sabırla beni sürekli olarak etkin tecrübesiyle yönlendirdiği için minnetlerimi sunarım.

Annem, babam ve arkadaşlarım çalışmalarım sırasında her zaman bana destek olmuşlardır. Onlara da teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

Çeliği korozyona karşı korumak üzere pek çok araştırma yapılmıştır. Tezin teorik bölümünde, korozyon çeşitleri, atmosferik korozyon, atmosferik korozyondan korunma yöntemleri, korozyon hızı ölçümleri, atmosferik korozyona karşı boya uygulamaları, uygulanan boyaların saha ve laboratuvar testleri ile ilgili literatüre ve standartlara dayalı olarak bilgi verilmiştir. Bu araştırmalar arasında en çok öne çıkan yöntem, çeliği atmosferik korozyona karşı epoksi bazlı astar ve alifatik poliüretan esaslı son kat boya ile korumaktır. Deneysel çalışmalarda, özgün formülasyonlu, çeliklerin atmosferik korozyona karşı korunması için tasarlanmış sekiz değişik boya sisteminin saha ve laboratuvar testleri ile performansları değerlendirilmiş, optimum özelliklere sahip olan sistemler belirlenmiştir. Tüm denemeler literatürden alınan bilgiler ışığında ve TS EN ISO standartlarına uyguna olarak yapılmıştır. Hem SA 2 ½ sınıfında kumlama, hem de St 2 sınıfında mekanik temizlik yapılarak hazırlanan numuneler, yaklaşık 13 aylık saha testinin paralelinde, tuz püskürtme, SO₂ ve UV laboratuvar testleri yapılmış, saha ile laboratuvar testleri arasında bağlantı kurulmaya çalışılmıştır.

Denen boya sistemleri şunlardır: Sistem 1 shop primer; Sistem 2, Sistem 1 + epoksi ara kat ve poliüretan son kat boya; Sistem 3 çinkoca zengin epoksi astar, epoksi ara kat ve poliüretan son kat boya; Sistem 4 yüzey toleranslı epoksi astar, epoksi ara kat ve poliüretan son kat boya; Sistem 5 mikamsı cam içeren yüzey toleranslı astar; Sistem 6, Sistem 5 + poliüretan son kat boya, Sistem 7 yüksek dolgulu yüzey toleranslı epoksi astar ve poliüretan son kat boya ve en son olarak da Sistem 8 poliüretan astar, epoksi ara kat ve poliüretan son kat boyadan oluşmaktadır.

Saha testleri, Kalamış, Gebze ve Dilovası'nda yapılmıştır. Bölgelerin korozyon hızları tespit edilmiştir. ISO 7253 standardına göre tuz testi 480, 720 ve 960 saat olarak yapılmıştır. ASTM G 87 – 02 standardına göre SO₂ testi 21 gün sürmüştür ve çeşitli aralıklarda numuneler kontrol edilmiştir. ASTM G 154 standardına göre UV testi UVB 313 lambasıyla yapılmıştır ve 360 saat sürmüştür. Testlerin sonunda yine TS EN ISO standartlarına uygun olarak tüm numuneler değerlendirilmiştir. Sistemlerin ekonomik ömürleri de tespit edilmiştir.

Tüm testlerde, Sistem 3 en başarılı sonucu vermiştir. Sistem 3'ü takiben, Sistem 4 ile Sistem 7 gelmektedir. Sistem 6'nın performansı bu sistemin gerisindedir. Sistem 8'de zaman zaman delaminasyon problemleri görülmüştür. Sistem 5, sadece Sistem 6'nın astarına sahiptir. Sistem 5'in test edilmesi sayesinde, UV dayanımsız epoksilerin UV'ye maruz kaldıklarındaki durumları incelenmiştir. Sistem 1 ve 2'nin pratikte süregelen uygulama şeklinin ne derece doğru olduğu belirlenmiştir.

Sistemlerin ekonomik ömürleri karşılaştırıldığında, korozyon etkisinin yüksek olmadığı bölgelerde Sistem 3 pahalı kalsa da, uzun vadeli çözümün gerektiği durumlarda bu sistem kendini amorti etmektedir. Kısa vadeli çözümler için Sistem 4 ve 7 daha ekonomik alternatiflerdir.

Saha ve laboratuvar testlerinde sistemler benzer performans göstermişlerdir. Tüm testlerde aynı sistemler başarılı olmuştur. Tuz püskürtme ve UV testleri, saha testine göre numuneleri çok daha fazla yıpratmış, SO₂ testi ise saha testine göre daha az yıpratıcı sonuç vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik, korozyon, epoksi, boya, test.

ABSTRACT

Much research is done on corrosion protection of steel. In the theoretical part of the thesis, information about corrosion types, atmospheric corrosion, protection against atmospheric corrosion, corrosion rates, paint applications against corrosion and field and laboratory tests of these paints was given. The most common method for corrosion protection of steel is application of epoxy based primers and aliphatic polyurethane based top coats. Eight paint systems with unique formulations against steel corrosion were tested on the field and in laboratory. Performance of these systems was evaluated and the best ones were determined. With the help of the information obtained from literature and TS EN ISO standards, eight systems consisting of epoxy and polyurethane based primers and polyurethane based top coat were tested. Both SA 2½ sand blasting and St 2 mechanical surface preparation methods were used. Parallel to the approximately 13 month long field tests, salt spray, SO₂ and UV laboratory tests were also conducted and a correlation between field and lab tests were tried to be established.

Following paint systems were tested: System 1 consists of shop primer, System 2 consists of System 1 + epoxy based intermediate coat and polyurethane based top coat, System 3 consists of zinc rich epoxy primer, epoxy based intermediate coat and polyurethane based top coat, System 4 consists of surface tolerant epoxy primer, epoxy based intermediate coat and polyurethane based top coat, System 5 consists of glass flake containing surface tolerant epoxy primer, System 6 consists of System 5 + polyurethane based top coat, System 7 consists of high built surface tolerant epoxy primer epoxy based intermediate coat and polyurethane based top coat, and finally System 8 consists of polyurethane based primer, epoxy based intermediate coat and polyurethane based top coat.

Kalamis, Gebze and Dilovasi were chosen as field test locations. Corrosion rate of these locations were also calculated. 480 hours, 720 hours and 960 hours of salt spray tests were conducted according to ISO 7253. SO₂ test took 21 days and samples were checked periodically according to ASTM G 87 - 02. 360 hours UV test was conducted with UVB 313 lamb according G 154. All results were evaluated according to TS EN ISO. Economical life of systems was also calculated.

In all of the tests, best results were obtained from System 3. System 4 and System 7 follow System 3. System 6's performance is behind the mentioned systems'. Delamination was observed on System 8. System 5 has only the primer of System 6. The necessity of UV resistant top coat paints were confirmed by testing System 5. Practical way of application of System 1 and 2 was also evaluated.

When systems are compared economically, System 3 is expensive for areas where corrosion rate is low. When corrosion rate increases, System 3 pays itself off. For short term corrosion solutions, System 4 and 7 can be economical alternatives to System 3.

Field and lab tests gave similar results. Same systems were successful in all systems. However, salt spray and UV tests ruined samples much more in comparison to field tests, but SO₂ in contrary much less.

Key Words: Steel, corrosion, epoxy, paint, test.

1. GİRİŞ

Çeliğin yapılarda kullanımı 1700’lü yıllarda başlar. 1778 yılında İngiltere’de Severn Nehri üzerine 31 m’lik ilk çelik yol köprüsü inşa edilmiştir. Bu köprü hâlâ kullanılmaktadır (Dizayn ve Konstrüksiyon, Mart 2004). Çelik üretim teknolojisindeki gelişmeler, çeliğin inşaat endüstrisinde, özellikle fabrika, yüksek binalar, uçak hangarları, kat otoparkları,



Şekil 1.1. Severn Köprüsü

depolar, alışveriş merkezleri ve spor salonları gibi iddialı binaların yapımında vazgeçilmez bir malzeme haline getirmiştir. Ülkemizdeki çelik yapıların en önemlileri Boğaz Köprüleri’dir. Biri yaklaşık 45, diğeri de yaklaşık 25 yıl önce inşa edilen asma taşıyıcı sistemli köprülerin açıklığı 1km’den fazladır.



Şekil 1.2. Boğaziçi Köprüsü

Çelik, dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil verilebilen bir demir alaşımıdır. Saf demir özellikleri itibarıyla yapı malzemesi olarak kullanılamaz. Yapılarda karbon, silisyum, manganez, krom, bakır, nikel, molibden gibi maddelerle teşkil edilen demir alaşımları kullanılır. Çeliğin özelliğini belirleyen en önemli eleman karbondur. Karbon çeliğin sertliğini ve mukavemetini artırır. Aynı zamanda da kopma uzamasını ve çekme mukavemetini azaltır. Bunun için cevherden elde edildiği zaman %5 civarında olan karbon miktarı % 0,1 – 2,0’ye kadar düşürülmelidir (Karaduman, 2005).

% 0,1 ile % 0,2 arası karbon içeren çelikler az karbonlu çeliklerdir. Sertlik ve mukavemeti düşüktür. Kolay şekillendirilir ve kolay kaynak yapılabilir. Genel amaçlar için kullanılan ucuz çeliklerdir.

% 0,2 ile % 0,5 arası karbon içeren çelikler orta karbonlu çeliklerdir. Mukavemetleri ve toklukları yüksektir. Bu çelikler genellikle yapılarda, makine paçaları, buhar kazanları, demiryolu rayları gibi mukavemet istenen yerlerde kullanılır.

% 0,5 ile % 2,0 arası karbon içeren çelikler yüksek karbonlu çeliklerdir. Sertlikleri ve mukavemetleri yüksek olmakla beraber, süneklikleri ve toklukları düşüktür. Şekil vermek zordur. Kaynak yetenekleri düşüktür. Bu çelikler genelde takım, kalıp ve yay çelikleri olarak kullanılırlar (Onaran, 2008).

Çeliğin diğer yapı malzemeleriyle bir takım özellikleri aşağıdaki çizelgede karşılaştırılmıştır (Karaduman, 2005):

Çizelge 1.1 Çelik ve diğer yapı malzemelerinin karşılaştırması (Karaduman, 2005)

	Çelik	Alüminyum	Beton	Ahşap
Yoğunluk (gr/cm³)	7,85	2,70	2,50	0,60 – 0,80
E Modülü (N/mm²)	210.000	70.000	15.000 – 45.000	10.000 – 12.500
Çekme Muk. (N/mm²)	370 – 2.000	70 – 250	Çok küçük	30 – 200
Basınç Muk. (N/mm²)	350 – 2.000	70 – 110	100 – 600	30 – 70

Çeliğin başlıca avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- “Üretimi sıkı ve sürekli denetim altında olduğundan güvenlidir.
- Yüksek mukavemetli bir malzemedir, öz ağırlığının taşıdığı yüke oranı çok küçüktür; diğer bir deyişle hafiftir. Ayrıca bileşiminde kullanılan alaşım elementleri ile dayanımını arttırma olanağı vardır. Birçok başka malzeme, kendi öz ağırlığını taşıırken bir miktar yararlı yük taşıyabilir. Çeliğin kendi ağırlığı hesaplarda ihmal bile edilebilir.
- Çeliğin elastikiyet modülü diğer yapı malzemelerine kıyasla çok yüksektir. (Betonarmeye göre 11 kat). Bu da denge sorunlarına, dinamik yüklere, titreşimlere uygun davranış anlamı taşır.
- Çelik, sünek bir malzemedir. Büyük bir şekil değiştirebilme kabiliyeti vardır. (Betonarmeye göre 18 kat daha fazla). Bu, deprem gibi beklenmeyen olağandışı yük durumlarında çok etkili bir niteliktir.
- Çelik yapı elemanlarında değişiklik ve takviye olanağı vardır. Ayrıca sökülüp yeniden kullanılabilirler.
- Çelik yapı elemanları yerlerine monte edildikleri anda tam yüklerle çalışırlar. Betondaki gibi kuruma, donma süresi söz konusu değildir. Yapım süresi kısadır.
- Dünyanın en çok ve tam olarak geri dönüştürülen malzemesidir. Hurdası % 100 çeliğe dönüştürülebilir ve doğru yapılırsa kalite ve güvenilirlik kaybı olmaz (Dizayn ve Konstrüksiyon, Ocak 2004, Mart 2004).”

Çeliklerin tüm bu sayılan avantajlarının yanında bir takım önemli dezavantajları da vardır:

- “Çelik yanmaz, ancak yangından etkilenir. Tüm yapılar gibi, çelik yapılar da yangın ve etkilerinden korunmalıdır.” Çeliğin 400 °C’nin üzerinde E-Modülü ve akma sınırı çok düşer. Bu yüzden çelik yapılar yangına karşı izole edilmelidir (Karaduman, 2005).
- Çelik korozyona uğrar. Paslanmaya karşı önlem alınmazsa, çelik için yukarıda sayılmış olan tüm dayanımlar düşer, binanın ömrü kısalmır (Dizayn ve Konstrüksiyon, Ocak 2004). Paslanmaya karşı koruma boya, galvanizleme veya hava tesirine karşı dayanıklı özel çelik ile olur. Korozyon koruması artık maliyet bakımından esaslı bir değer taşımamaktadır (Karaduman, 2005).

En çok kullanılan yapısal çeliklerden olan St 52 (S 355) orta karbonlu çelik sınıfına girer ve 520 N / mm² çekme dayanımına sahiptir. Bu tip çeliklerde Mangan (Mn) oranı diğer çeliklere göre daha fazladır. % 1,3 – 1,6 arası değişir. Mangan, çeliğin kırılma dayanımını önler ve kaynak olabilmek kabiliyetini iyileştirir.

Korozyon, gelişmişlik oranına göre değişmek üzere bir ülkenin Gayri Milli Hasılası’nın her sene % 6’sını (Elisabete ve Almeida, 2005), bazı kaynaklara göre ise % 8’ini (Sangaj ve Malshe, 2004) yok eder. Bu kaybın yarısından fazlası ise çelik başta olmak üzere metallerin atmosferik korozyona uğramasından kaynaklanır (Elisabete ve Almeida, 2005).



Şekil 1.3: Korozyonun etkisi

1985 yılında ABD’de metal korozyonundan kaynaklanan toplam bir yıllık bedel 167 Milyar Amerikan Doları’dır! Bu bedele yenileme, iş kaybı, kullanımın ömrünün kısalması gibi bedeller de dahildir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Halk arasında daha çok “paslanma” olarak tabir edilen atmosferik korozyon, dünyadaki sınırlı metal kaynaklarının en önemli israf nedenidir. Korozyon nedeni ile “malzeme” kaybı yanında “sermaye - emek - enerji ve bilgi” de kaybolur. Korozyon ortamı kirletir ve ayrıca kirli ortam metal korozyonunu hızlandırır. En önemlisi de, özellikle yapılarda kullanılan çeliklerin atmosferik korozyon sonucu zayıflamaları, deprem veya benzeri doğal afetlerde dayanımlarını azaltarak can ve mal kaybına dahi mal olmalarıdır.

2. TEORİK ÇALIŞMALAR

2.1 Korozyon Nedir?

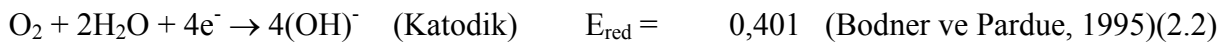
DIN 50900'e göre korozyon, bir malzemenin çevresiyle girdiği reaksiyon sonucu, malzeme üzerinde ölçülebilir bir yenim yaratması ve malzemeye zarar vermesidir. Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi, korozyona sadece metaller uğramaz. Mesela beton da zaman içinde korozyona uğrar ve ufalanır.

Metal korozyonunu TS 5731 EN ISO 8044, bir metalle çevresi arasında oluşan ve metalin özelliklerinde değişikliklere neden olarak metalin, çevresinin ya da bunların bir parçası olduğu teknik sistemin işlevlerinde ciddi bozulmalara yol açan elektrokimyasal etkileşim olarak tanımlamaktadır.

2.2 Korozyonun Oluşum Mekanizması

Elektrokimyasal korozyon reaksiyonları, metal yüzeyine temas eden bir elektrolit ve metal yüzeyinin çeşitli bölgelerindeki potansiyel farklılıklarının bir araya gelmesiyle oluşur.

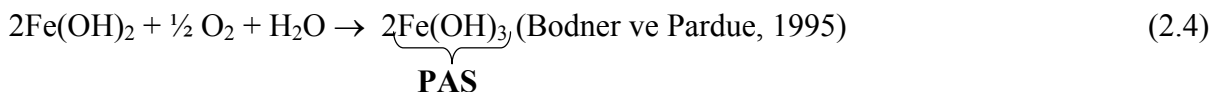
Standart elektrot potansiyeli düşük olan element anot, yüksek olan element de katot olur. Aşağıda da görüldüğü gibi, demir oksijene göre daha düşük seviyede potansiyele sahip olduğu için oksitlenip anot olur, oksijen ise demire göre daha yüksek potansiyele sahip olduğu için redüklenip katot olur.



Toplam potansiyel farkı 0,841 olduğu için de aşağıdaki reaksiyon oluşur:



Daha sonra Fe^{2+} ve OH^- diffüze olurlar ve $\text{Fe}(\text{OH})_2$ oluşur. $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 'nin tekrar oksijenle reaksiyona girmesi sonucunda da pas oluşur:



2.3 Korozyon Çeşitleri

Cizelge 2.1.: Korozyon Türleri (ASM Handbook, Vol. 13, 1992)

1. GENEL KOR. Korozif atak sonucu maddenin yüzeyinde homojen bir incelme söz konusudur. a. Atmosferik Kor. b. Galvanik Kor. c. Kaçak Akım Kor. d. Biyolojik Kor. e. Yüksek Stc. Kor.	2. LOKAL KOR. Korozif atak sonucu maddenin yüzeyinin belli bir yerinde bozulma görülür. a. Filiform Kor. b. Çatlak Kor. c. Oyuklanma Kor.	3. METALÜRJİK KOR. Metalin metalürjik yapısındaki heterojenlik korozyona sebebiyet verir. En yaygın tipleri taneler arası korozyon ve pullanma korozyonudur.	4. MEKANİK YIPRANMA Sürtünme, hidrodinamik etkiler gibi mekanik etkenlerden kaynaklanan ve genellikle yorulma kırılmalarla sonuçlanan korozyon türü mekanik yıpranma korozyonudur.	5. ORTAMDAN KAYNAKLANAN KOR. Bu korozyon tipi, metallerin doğal koşullara maruz kalmaları sonucu çatlamları ile ilgilidir. Bu tip korozyonun sonucu ya yavaş oluşan çatlaklardır ya da genelde olduğu gibi önceden kestirilemeyen bir felakete yol açabilecek türde kırılmalar.
--	---	---	--	---

2.3.1 Genel Korozyon Türleri

Genel korozyon türleri arasında en yaygını ve aynı zamanda en maliyetli olanı atmosferik korozyondur. Galvanik korozyon bir elektrokimyasal korozyon tipidir. Anodik alanları kurban ederek katodik alanları korur. Kaçak akım korozyonu galvanik korozyona benzer, ancak elektrokimyasal değildir. Biyolojik korozyon mikroorganizmalardan kaynaklanır. Yüksek sıcaklık korozyonu özellikle endüstriyel bölgelerde problem yaratan bir korozyon tipidir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Konumuz itibariyle atmosferik korozyon çok önemlidir. Ancak Bu korozyon türüne geçmeden önce, diğer korozyon türleri üzerinde kısaca durmakta fayda vardır.

2.3.1.1 Galvanik Korozyon

Bir metal başka bir metal veya iletken ametal ile elektriksel olarak birbirlerine bir elektrolit içinde bağlandıklarında oluşur. Galvanik korozyonun oluşması için, farklı yüzey potansiyeline sahip iki malzeme, ortak bir elektrolit ve ortak bir elektriksel akım bileşenleri bir araya gelmelidir.

Metaller arasındaki potansiyel farkı, aralarında bir elektron akımının oluşmasına sebep olur. Bu akımın yönü, hangi metalin daha aktif olduğuna bağlıdır. Daha aktif olan metal, aynı zamanda korozyona daha az dayanıklı olanıdır; anot olur, diğeri de katot. Akım anottan katoda doğrudur ve anot olan metal giderek yenime uğrar (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

2.3.1.2 Kaçak Akım Korozyonu

Doğru akım ile çalışan raylı taşıt araçları, doğru akım taşıyan yüksek voltajlı elektrik hatları ve kaynak makineleri zemin içine kaçak akım yayarlar. Bu kaçak akımlar çevrede bulunan metalik yapılara girerek korozyona neden olurlar. Örneğin bir yeraltı tren hattına paralel giden boru hattında kaçak akım korozyonu meydana gelebilir (Tamirci, 2007).

2.3.1.3 Biyolojik Korozyon

Mikroplar, bakteriler ve mantarlar tarafından başlatılan veya hızlandırılan korozyondur. 100 yılı aşkın bir süre önce ortaya çıkarılan bu korozyon tipi, modern endüstriyel sistemler için ciddi bir problem olduğunun farkına son 30 yılda varılmıştır. Biyolojik korozyon, normal korozyon olaylarından farklı yapıda olmayıp, bazı mikro canlıların korozyonun reaksiyon hızını artırması şeklinde kendini gösterir. Normal korozyon olayının mevcut olmadığı ortamlarda biyolojik korozyon olayına nadiren rastlanır. Başka sebeplerle meydana gelen korozyon olaylarına ayrıca biyolojik korozyon olayları da katılarak korozyon hızını artırıcı etki yapar (Tamirci, 2007).

2.3.1.4 Yüksek Sıcaklık Korozyonu

Metal yüzey, yüksek bir sıcaklıkta oksidasyon gazına maruz kalır. Bu durumda, reaksiyon sıvı bir elektrolite gerek kalmaksızın direkt olarak gaz ile oluşur. Korozyonun hızı sıcaklık ile doğru orantılı olarak artar (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

2.3.2 Lokal Korozyon

Lokal korozyon, genel korozyon gibi tüm yüzeyde değil, lokal olarak yüzeyin bazı bölgelerinde görülür. Bu yüzden bazen fark edilmesi çok zor olur. Hatta fark edilemediği için beklenmedik hasarlara yol açabilir. Filiform, çatlak, oyuklanma ve biyolojik korozyon en çok rastlanan tiplerdir.

2.3.2.1 Filiform (İpliğimsi) Korozyon

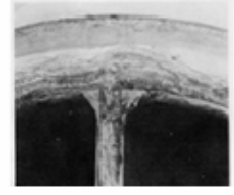
Yüzeylerinde organik katman içeren metallerde görülür. Bu tür korozyon, boya tabakasının altında ipliğimsi şekilde bıraktığı izden tanınır. İpliğimsi korozyon havadaki nem oranının % 78–90 arasında olduğu ve yüzeyin hafif asidik olduğu hallerde görülür. Bu tür korozyon bağlayıcıların çevresinde boya tabakasının kesintiye uğradığı çiziklerden başlar. Su ve havadaki oksijen bu çizgilerden boyanın altına nüfuz eder (Özbaş, 2005).

2.3.2.2 Çatlak Korozyonu

Metal – metal veya ametal – metal parçaların aralarındaki dar açıklıklarda veya boşluklarda görülür. Çatlaklar, metalürjik hatalar gibi bir takım kontrol edilemeyen çatlaklar da korozyona neden olur (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



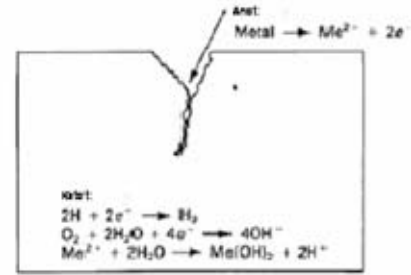
Şekil 2.1, Çatlak korozyonu
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)



Şekil 2.2 Çatlak korozyonu
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

2.3.2.3 Çukurcuk Korozyonu

Tüm yüzey alanına göre çok küçük bir alanda korozyondan dolayı oyukların oluşmasıdır. En sık görülen ve en tehlikeli lokal korozyon türlerindendir. Tekrarlanır servis hatalarının oluşmasındaki en büyük sebeplerdendir. Korozyondan dolayı oluşan hasarların %90'ı çukur korozyonu ile oluşur. Yandaki şekil, çukurcuk korozyonunun mekanizmasını gösterir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



Şekil 2.3 Çukurcuk Korozyonu
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

2.3.2.4 Gerilmeli Korozyon

Bu tip korozyonun oluşumu için saldırgan bir ortamın, bu ortama hassas bir alaşımın ve çekme gerilmesinin üçünün bir arada olması şarttır. Gerilmeli korozyonun etkisiyle çatlak oluşumu çekirdeklenme, çatlak başlaması ve çatlak ilerlemesi aşamaları sonucu gerçekleşir. Çekme gerilmesinin sebep olduğu kayma koruyucu filmi hasara uğratar. Hasara uğrayan yerde yeniden film oluşur. Yeni film tekrar hasara uğrar ve bu böyle gider. Korozyon hızı, film oluşma hızından fazla olduğu anda korozyon ilerler. Korozyon ilerlemesi sırasında çatlak kenar yüzeylerindeki korozyon hızı, çatlak dibindekinden fazlaysa, çatlak kenarlara doğru ilerler ve genel korozyon meydana gelir. Ancak tam tersi olursa, gerilmeli çatlak korozyonu oluşur (Cansever, 1997).



Şekil 2.4 GKÇ
(Öztaş, 2003)

2.3.2.5 Taneler Arası Korozyon

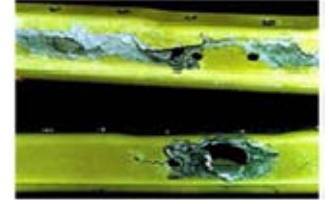
Tane sınırları boyunca oluşan korozyondur. Taneler arasındaki metal bileşimi tane içine göre farklıdır. Alaşım elemanları, çöktürleri, tane sınırlarına yerleşir. Hatalı ısıtma işlemi tane sınırlarını hasarlar ve onları tane içine göre daha anodik yapar. Taneler arası korozyon, gözle tespit edilemediğinden en tehlikeli korozyon türlerindendir (Özbaş, 2005).



Şekil 2.5. Taneler arası korozyon (Özbaş, 2005)

2.3.2.6 Pullanma Korozyonu

Taneler arası korozyonun ilerlemiş şeklidir. Burada hemen yüzeyin altına tane sınırları altında ilerleyen taneler arası korozyonun genişleyen ürünü, yüzeydeki metali pul pul kaldırır. Genellikle haddelenmiş veya kalıptan çekilmiş parçalarda, kabarma ve pul pul olma şeklinde kendini gösterir (Özbaş, 2005).



Şekil 2.6. Pullanma korozyonu (Özbaş, 2005)

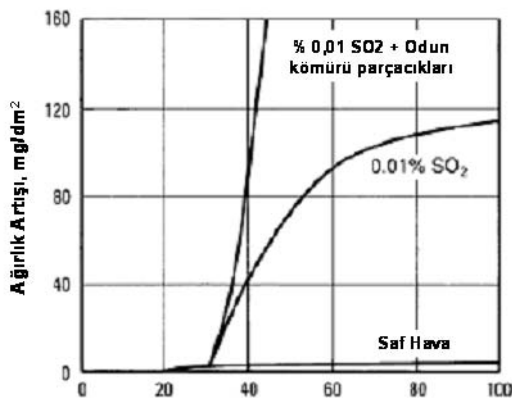
2.3.3 Atmosferik Korozyon

Atmosferik korozyon, atmosfere ve içerdiği kirliliklere maruz kalan malzemenin korozyona uğraması veya yıpranmasıdır. Sıcaklık, hava koşulları ve bağıl nem gibi atmosferik değişkenler, korozyona uğrayan malzemenin yüzey şekli ve yüzey koşulları, yüzeyin ıslak kalma süresi, korozyon hızını etkiler.



Şekil 2.7. Atmosferik korozyon

Islandıkları ve nem tuttukları yerlerde bulunan metal



Şekil 2.8 Atmosferik Korozyon

(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

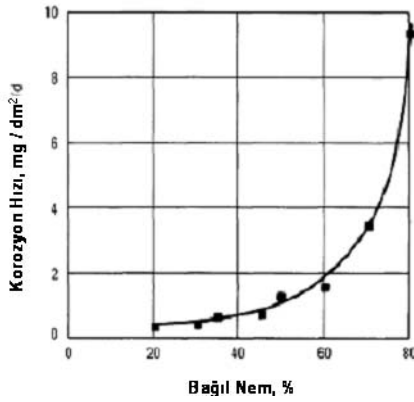
yüzeyler, yağmura maruz kalan yüzeylere göre daha fazla korozyona uğrar. Yağmur, yüzeyde bulunan gayri safiyetleri genelde silip süpürür. Ancak asit yağmurlarının olduğu bölgelerde korozyon yine hızlıdır. Hava koşullarının farklı olduğu aylarda korozyon hızı da değişir. Kış aylarında, hava kirliliğini oluşturan, fosil yakıtların daha fazla yanması sonucu ortaya çıkan kükürt dioksit gazı su veya nem ile reaksiyona

girerek sülfat asidi oluşturur. Sülfat asidi ve en yoğun olarak deniz kenarlarında etkili olan klorürler, elektrik iletkenliğini arttırarak korozyon akımını hızlandırır (Corus, 2002).

Şekil 2.8’de, %0,01 SO₂ içeren ortamda bağıl nem ile demirin korozyon hızı arasındaki ilişki görülmektedir. Deney süresi: 55 gün (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Öte yandan, çok sıcak yazların yaşandığı bölgelerde, yüzeyin çok ısınmasından dolayı da korozyon hızı artar.

Hava koşulları dışında, yüzeyin ıslak kalma süresi, yüzeydeki su filminin kimyasal yapısı ve kalınlığı da elektrokimyasal prosesin süresini belirlediği için korozyon hızını etkiler.

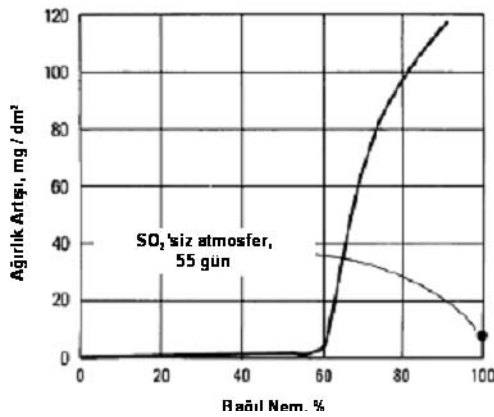


Şekil 2.9 Atmosferik Korozyon
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

Atmosferik koşullar, bölgenin denize veya endüstriyel bir bölgeye yakınlığına, kırsal olup olmamasına bağlı olarak pek çok yerde farklılık gösterdiği için, ISO 12944 sayılı standardın ikinci bölümü, atmosferik korozyonu kategorize etmiştir. Söz konusu standart ileriki bölümlerde incelenecektir.

Şekil 2.9, deniz suyu tuzu parçacıklarının olduğu ortamda korozyon hızı ile bağıl nem arasındaki ilişkiyi gösterir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Yüzeyde elektrokimyasal veya ıslak korozyona sebebiyet veren suyun oluşması için kritik



Şekil 2.10 Atmosferik Korozyon
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

bağıl nem seviyesi aşılmalıdır. Mesela demir yüzeyinde korozyon oluşması için gerekli olan kritik bağıl nem oranı yaklaşık %60'dır. Şekil 2.10., SO₂'nin olmadığı bir atmosfere 55 gün boyunca bırakılmış demirin korozyon hızının bağıl nem ile ilişkisi görülmektedir (ASM Handbook, Vol 13, 1992). Bu nem oranı, yüzey koşullarına göre değişkenlik gösterebilir. Yüzeyde mikro gözeneklilik varsa, buralarda kılcal yoğunlaşma oluşabilir.

Rüzgar, ani sıcaklık değişimleri, gece – gündüz sıcaklık farkı gibi iklimsel olaylar da korozyon hızını etkiler (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

2.4 Korozyon Hızı

Atmosferik korozyonun hızı zaman içinde sabit değildir. Genelde zaman uzadıkça hız azalır. Korozyon hızı hesaplaması ile ilgili pek çok denklem vardır. Bu denklemlerin çoğu korozyondan dolayı zaman içinde ne kadar ağırlık kaybı olduğunu hesaplamak üzerinedir. Bu denklemler kendi içinde pek çok tespit edilmesi zor değişken içerir. Bu yüzden, özellikle kısa süreli korozyon hesaplamalarında yanlış sonuç verir. Denklem 2.5 nispeten güvenilir bir denklemdir:

$$W = Kt^n \quad (2.5)$$

W = Korozyondan dolayı ağırlık kaybı,

t = Korozyona maruz bırakılma süresi,

K ve n = Alışma ve ortama bağlı sabitler.

Yukarıdaki denklem, K ve n değerleri bilindiği sürece, iki yıla kadar kısa sürelerde dahi yararlı sonuçlar verebilir. Ancak söz konusu sabitlerin tespiti, daha önceden bahsedilen değişkenlerin çokluğundan dolayı çok zordur (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Korozyon hızı bu yüzden genelde, korozyondan önceki ve sonraki numune ağırlık farkının bilindiği durumlarda daha sağlıklı hesaplanır (Fontana ve Grene, 1978):

$$\frac{87600 \times dW}{d \times A \times T} = \mu\text{m} / \text{yıl} \quad (2.6)$$

dW = Ağırlık farkı (mg)

d = Çeliğin yoğunluğu (gr / cm³)

A = Tüm yüzeylerin toplam alanı (cm²)

T = Toplam deney süresi (saat)

2.5 Atmosferik Korozyon Alanları

ISO 12944, çelik yapıların korozyondan korunması için kullanılan boya sistem ve kaplamalarını 8 bölüm halinde inceleyen standarttır. Çizelge 2.2 **TSE ISO EN 12944 Nisan 2002 sayılı standardının 2. bölümünün** 6. sayfasından alınmıştır. Söz konusu bölümde çevre şartlarının çelik yapılar üzerindeki etkileri tanımlanmıştır. Farklı atmosferik çevreler için, korozyon kategorileri sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırma tabii ki konunun çok büyük bir şekilde basitleştirilmesidir. Bir alan aynı anda hem deniz hem endüstri bölgesi olabilir. Kırsal olan farklı iki bölgenin yıl içinde aldığı yağış miktarında değişiklikler gözlemlenebilir. Kaldı ki bir seneki yağış miktarı, ortalama sıcaklık gibi unsurlar, bir sonraki sene ile aynı olmak zorunda da değildir. Tüm bu sebeplerden dolayı korozyon hızında belli bir tutarsızlık olabilir. Bu yüzden, deneyi yapan kişi sonuçları niteliksel olarak değil, belirtici olarak değerlendirmelidir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Çizelge 2.2 Korozyon alanlarının sınıflandırılması (TSE EN ISO 12944 – 2, 2002)

Korozyon Kategorisi	Birim yüzey kalınlık kaybı başına kütle kaybı (bir yıl maruz bırakmadan sonra)				Ilıman iklimli yörelerde tipik çevre örnekleri (bilgi için)	
	Düşük Karbon Çeliği		Çinko		Dış Mekanlar	İç Mekanlar
	Kütle kaybı g/m ²	Kalınlık kaybı µm	Kütle kaybı g/m ²	Kalınlık kaybı µm		
C1 Çok düşük	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Temiz havalı ve ısıtılmalı yapılar, örneğin bürolar, dükkanlar, okullar, oteller
C2 Düşük	> 10 – 200	> 1,3 – 25	> 0,7 – 5	> 0,1 – 0,7	Kirlenmenin düşük seviyede olduğu atmosferler. Çoğunlukla kırsal alanlar.	Yoğunlaşmanın olabileceği, ısıtılmayan yapılar, örneğin depolar, spor salonları.
C3 Orta	> 200 – 400	> 25 – 50	> 5 – 15	> 0,7 – 2,1	Şehir içi ve endüstriyel atmosferler, orta karar kükürt dioksit kirliliği. Düşük tuz oranına sahip sahil alanları.	Yüksek rutubetli ve kısmi hava kirlenmesi olan imalat mekanları. Örneğin fabrika, çamaşırhane, birahane, mandıra.

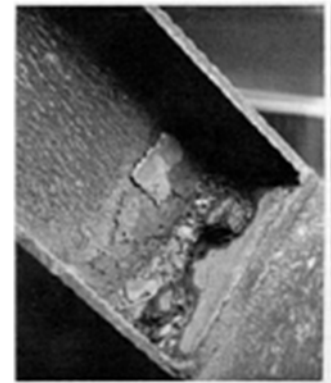
Çizelge 2.2 Korozyon alanlarının sınıflandırılması (Devam)

C4 Yüksek	> 400 – 650	> 50 – 80	> 15 – 30	> 2,1 – 4,2	Orta tuzlulukta sahil bölgeleri ve endüstriyel bölgeler	Kimyasal madde fabrikaları, yüzme havuzları, sahildeki gemi ve yat çekikleri
C5-I (çok yüksek, endüstriyel)	> 650 – 1500	> 80 – 200	> 30 – 60	> 4,2 – 8,4	Yüksek rutubetli, koroziif safsızlık içeren endüstriyel atmosferler	Hemen her zaman yoğunlaşma olan yüksek kirlenmeli binalar veya iç mekanlar
C5-M (çok yüksek, deniz)	> 650 – 1500	> 80 – 200	> 30 – 60	> 4,2 – 8,4	Tuzluluk oranı yüksek sahil ve açık deniz atmosferleri	Hemen her zaman yoğuşma olan yüksek kirlenmeli binalar veya iç mekanlar
Not 1 – Korozyon kategorileri için kullanılan değerler ISO 9223’de verilenlerle aynıdır. Not 2 – Sıcak ve rutubetli bölgelerdeki sahil alanlarında, kütle veya karanlık kayıpları C5-M kategorisindeki sınır değerleri aşabilir. Bu tür alanlardaki yapılar için koruyucu boya sisteminin seçiminde özel önlemler alınmalıdır.						

2.6 Atmosferik Korozyondan Korunma Yöntemleri

2.6.1 Tasarım

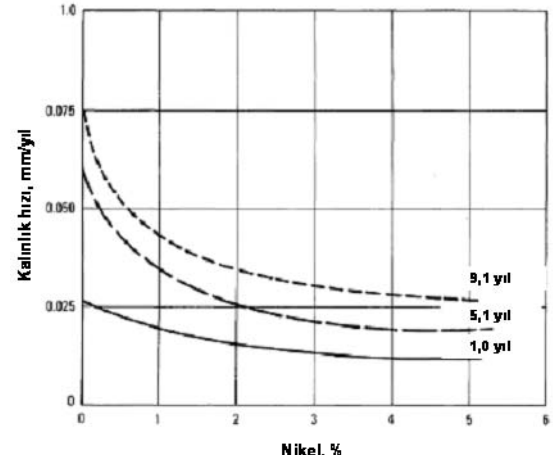
Metal parçaların şekilleri veya birleşim noktaları, suyun ve korozyona sebebiyet verecek her türlü safsızlığın birikmesine engel olacak şekilde tasarlanmalıdır. Suyun veya nemin birikmesine olanak sağlayacak yukarı bakan açıların veya kanalların ve kaynaklanmış bölgelerde birikintilerin oluşmasına sebep olacak ceplerin çatlak veya benzeri oyukların oluşmasını engelleyecek tasarımlar yapılmalıdır. Kaynak artıkları temizlenmelidir. Hava dolaşımı sağlanması, boya uygulamasının homojen kalınlıkta atılarak pürüzlü bir yüzeyin oluşması engellenmelidir. Eğimler, su birikintilerinin oluşmasına engel olacak açıda düzenlenmelidir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



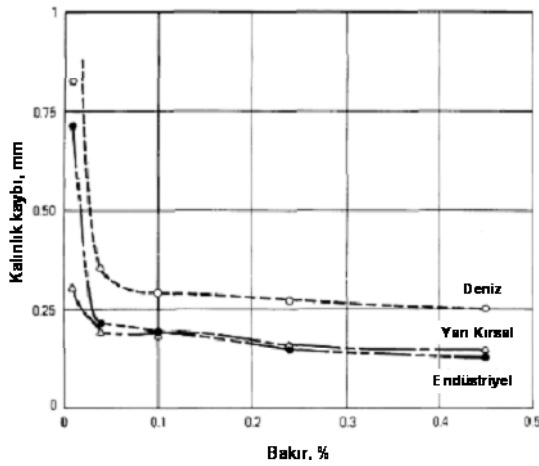
Şekil 2.11 Kötü Tasarım
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

2.6.2 Alaşımlama

Çeliğin yapısına bir takım elementler ilave edilerek, çeliğin korozyona karşı dayanımı artırılabilir. Bu bağlamda en sık kullanılan elementler bakır, nikel, vanadyum silisyum, krom, manganez ve molibdendir. Bakır, sayılan elementler arasında en etkili olanıdır. Çeliğin sünekliğini ve paslanmaya dayanıklılığını artırır. Nikel ve vanadyum, yüksek kaliteli çelik üretiminde kullanılır. Silisyum, çeliğin taşıma gücünü ve paslanmaya dayanıklılığını artırır. Krom, çeliğin mukavemetini, paslanmaya ve sürtünmeye



Şekil 2.12 Nikelin Etkisi
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

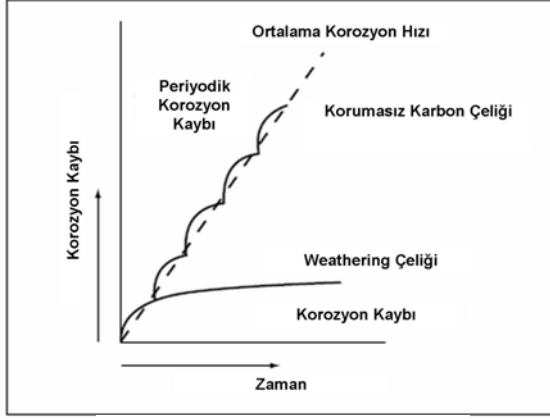


Şekil 2.13 Bakırın Etkisi
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

karşı dayanımını artırır. Manganez taşıma gücünü ve düşük sıcaklıkta taşıma gücünü artırır. Molibden ise çeliğin özellikle yüksek sıcaklıkta mukavemetini ve paslanmaya karşı dayanıklılığını artırır (Karaduman, 2005). Alaşımlamanın etkisini arttırmak için farklı elementler aynı anda kullanılabilir. Ancak etki, kümülatif olmaz. Şekil 2.12. ve 2.13. nikelin ve bakırın, çeliğin korozyona karşı korunmasındaki etkisini göstermektedir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Bu bölümde Weathering Çeliği adlı özel bir tip çelikten de bahsedilmesi gerekir. Bu çelik, yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı çelik türüdür. Normal atmosferik koşullarda, bilinen karbon çeliklerine göre çok daha az korozyona uğrar.

Weathering çeliği bünyesinde çok az karbon (% 0.015 - 0.035), bakır(% 0.20 - 0.40), krom (% 0.40 - 0.70), nikel (% 0.20 - 0.50), titanyum (0.02 - 0.05), niyobyum (% 0.03 - 0.06), bor (% 0.0015 - 0.003), magnezyum (% 2.0 veya daha az), fosfor (% 0.012 veya daha az), kükürt (% 0.005 veya daha az), silisyum (% 0.40 veya daha az), molibden (% 0.50 veya daha az), vanadyum (% 0.10 veya daha az), alüminyum (% 0.03 veya daha az), nitrojen (% 0.006 veya daha az) içerir (United States Patent 6315946).



Şekil 2.14 Weathering Çeliği
(Corus, 2002)

Normal karbon çeliği üzerinde, korozyondan dolayı bir koruyucu film oluşur; korozyon hızı düşer. Bu film bozulunca korozyon hızı artar ve yeni bir film oluşur. Korozyon mekanizması bu şekilde ilerler. Weathering çeliğinde, yüzeyde benzer bir şekilde korozyon filmi oluşur. Ancak film, çelik içinde bulunan özel bir alaşım sayesinde, normal çeliğe göre çok daha düz olan satha daha iyi yapışır. Bu sayede weathering

çeliğinin korozyon hızı daha düşük olur. Normal çelik ile weathering çeliğinin korozyon hızı ilerleme karşılaştırması Şekil 2.14’de görülmektedir.

Daha zor korozyona uğramaları, weathering çeliğinin karbon çeliklerine göre bir takım avantajlara sahip olmasını sağlar. Koruyucu bir boya kullanımı gerekmediğinden, hem daha ucuza mal olurlar, hem de yapılar daha hızlı kurulabilir. Aynı zamanda yine boya kullanımının gerekmemesi ve boya uygulaması için gerekli olan yüzey hazırlığı işleminin de otomatik olarak elimine olmasından dolayı, çevreye daha az zararlıdır.

Ancak weathering çeliklerinin kullanımını sınırlayan önemli faktörler vardır. Bu tip çelikler, deniz kenarından en az 2 km içeride bulunan yapıların inşasında kullanılmalıdır. Buzlanmayı çözmek için yapılan yola tuz serpme işlemi, bu tip çeliklerde kullanılmamalıdır. Yapının yağmur veya başka bir sebepten dolayı sürekli olarak ıslak kalma durumu varsa, veya ortamda SO_x gazı gibi korozyon gazları bulunuyorsa, weathering çeliği yine doğru seçim olmaz.

2.6.3 Kaplama

Elektrokimyasal olarak koruyan galvanik kaplamalar ve fiziksel olarak koruyan bariyer kaplamalar vardır. Bazı kaplamalar her iki işlevi de görür. Metalik kaplamalar ile boyalar arasında doğru seçim, yapının inşa edileceği çevrenin koşullarının durumuna, yapının sahip olması gereken ekonomik ömrüne ve ileride gerekebilecek tekrar kaplama olasılığı gibi hususlara göre yapılır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

2.6.3.1 Metalik Kaplama Sistemi

Vida, somun gibi küçük parçalar elektroliz, büyük parçalar ise sıcak daldırma galvanizleme yöntemi ile çinkoyla kaplanır. Elektroliz yönteminde kaplama kalınlığı daha azdır, dolayısıyla koruyucu vasıflarını daha kısa süre koruyabilir.

Galvanizleme bir difüzyon prosesidir. Çelik, erimiş çinko içine batırıldığında, bir seri metaller arası demir – çinko fazı oluşur. Bu sırada çinko içeriye, demir ise dışarıya doğru difüzyon eder. Galvanizlenmesi bitmiş çelik parça üzerinde 4 tabaka bulunur. En dıştaki en son tabaka sadece çinkodan oluşur. Diğer üç tabaka ise birbirine metalürjik olarak bağlanmış metaller arası tabakalardır. Dolayısıyla galvaniz kaplamalar diğer kaplamalara göre çelik yüzeye çok daha iyi yapışır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



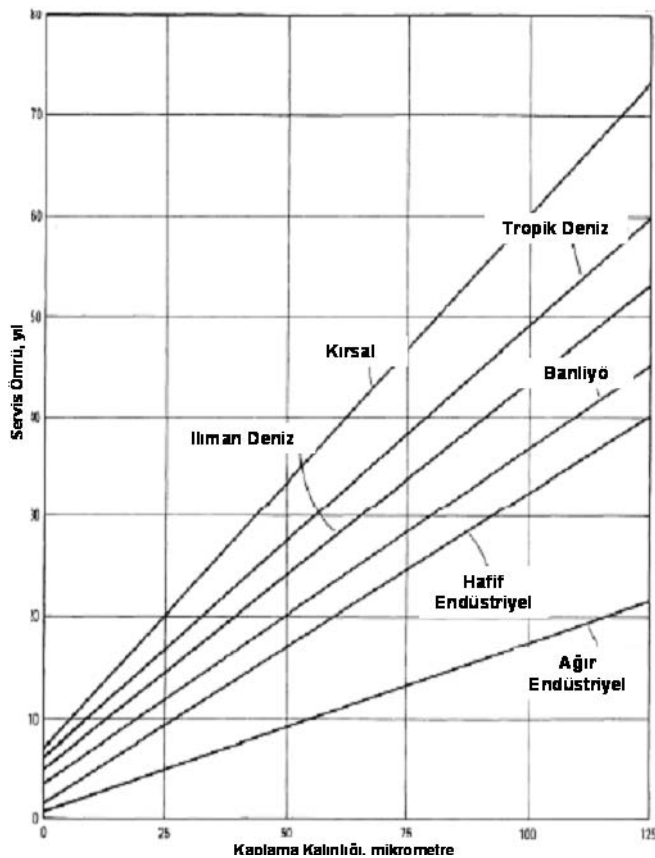
Şekil 2.15 Galvaniz kaplama
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

Galvanizlemenin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, yüzeyin çok iyi temizlenmiş olması gerekir. Yüzeyde pas, boya, yağ, kir veya benzeri bir safsızlık bulunması durumunda, söz konusu maddeler çinkonun çelik yüzey ile reaksiyona girmesine engel olabilir. Bir aşındırıcı malzeme ile aşındırarak, asit banyosuyla veya benzeri bir yöntemle yüzey temizlenmelidir.

Erimiş çinko, banyo içinde yaklaşık 450°C’de bekletilir. Dolayısıyla çelik yüzey bu sıcaklıkta bir banyoya daldırıldığında yapısal değişime uğramamalıdır.

Galvanizleyerek ulaşılması zor bölgelere kaplama ulaşabilir. Kaplama kalınlığı genel olarak homojendir. Yüzeye yapışma mükemmel olduğu için mekanik dayanım da yüksektir.

Çinko çeliği iki şekilde korur. Birincisinde, çinko çeliğe göre çok daha hızlı korozyona uğradığı için,



Şekil 2.16 Galvaniz kaplamanın ömrü
(ASM Handbook, Vol 13, 1992)

çelik ile atmosfer arasında bir bariyer görevi görür. İkicisinde çinko çeliği elektrokimyasal olarak korur. Çelik, çelik – çinko çiftinde katot olur ve yüzeyde çinko kaldığı sürece, kaplamanın yaralanması durumunda dahi paslanma görülmez; çinko kendini feda eder (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Çinko kuru havada oksitlenir ve ZnO oluşur. Nem olunca, ZnO su ile reaksiyona girer ve $ZnOH_2$ oluşur. Ne ZnO ne de $ZnOH_2$ alttaki çinko tabakası için koruyucu değildir. Ancak $ZnOH_2$, CO_2 ile de reaksiyona girer ve koruyucu olan çinko karbonat oluşur: $ZnCO_3$.

Çinkonun korozyon hızı, zaman ile doğru orantılıdır. Korozyon hızını, neme maruz kalma süresi, hava kirliliği parçacıklarının tipi ve konsantrasyonu, rüzgârın yönü ve şiddeti, denize olan mesafe gibi unsurlar da etkiler. Şekil 2.16, çeşitli atmosfer koşullarında, çeşitli kalınlıklardaki galvaniz tabakalarının ömrünü vermiştir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Grafikten de görüldüğü gibi, doğru olarak galvanizlenmiş yüzeylerin atmosferik korozyona dayanımı çok yüksektir. Bu dayanım, galvanizlenmiş yüzeyin boyanmasıyla daha da artabilir. Galvanizlenmiş yüzey sadece dayanım arttırmak için değil, aynı zaman da estetik kazandırmak, kamuflaj veya uyarı işaretleri koymak için de düşünülebilir. Bu tip kaplamalara dubleks kaplama denir. Çizelge 2.3 dubleks kaplamanın etkisini göstermektedir:

Çizelge 2.3 Galvanizli çelik, boyalı çelik ve galvanizli + boyalı çelik korozyon direnci karşılaştırması (ASM Handbook, Vol 13, 1992)

Atmosfer Tipi	Galvanizli Çelik		Boya		Galvaniz + Boya	
	Kalınlık	Servis	Kalınlık	Servis	Kalınlık	Servis
	Mikrometre	ömrü, yıl	Mikrometre	ömrü, yıl	Mikrometre	ömrü, yıl
Ağır Endüstri- yel	50	10	100	3	150	19
	75	14	150	5	225	29
	100	19	100	3	200	33
	100	19	150	5	250	36
Şehir İçi	50	19	100	4	150	34
	75	29	150	6	225	52
	100	39	100	4	200	64
	100	39	150	6	250	67
Deniz	50	20	100	4	150	36
	100	40	100	4	200	66
	100	40	150	6	250	69

Galvanizlenmiş yüzeyin boyanması sayesinde, yüzeydeki çinkonun atmosferik korozyona uğraması geciktirilmiş olur. Boya filminde bir hasarın oluşması durumunda, galvanizli yüzey

kendini korumaya alır. Ancak galvanizli yüzey çok düz bir satha sahip olduğu için, bu yüzeye boyanın yapışması çok zordur. Bu yüzden, galvaniz işleminden sonra korozyon direncini arttırmak ve / veya boya tatbikatında yapışmayı sağlamak için pasivasyon denen işlem yapılır. Bir takım kimyasallarla veya mekanik olarak galvanizli yüzey temizlenmelidir. Burada, galvanizin zarar görmemesine dikkat edilmelidir. Galvanizli yüzeye genelde ilk önce bir yapışma köprüsü görevi görecektir astar uygulanır. Gerekli renklendirmeyi veya UV korumasını son kat boya sağlar. Boyalar ile ilgili ileriki bölümlerde daha ayrıntılı bilgi vereceğiz (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Galvanizleme genel olarak zor bir süreçtir. Bu yüzden başlangıç maliyeti normal kaplamalara göre %25 daha pahalıdır. Ancak doğru seçimi yapmak için ekonomik ömür de göz önüne alınmalıdır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Çinko dışında, kadmiyum ve krom gibi metallerle kaplamalar da yaygındır. Kadmiyum kaplamalar genelde havacılık sektöründe kullanılır. Çeliğe göre anodiktir ve çeliği çizilmelere karşı korur. Ayrıca yüzey düzgünlüğünü ve iletkenliğini korur ve korozyon ürünleri biriktirmez. Kadmiyumun zehirli olması, kaplama sırasındaki bir takım zorluklar ve soyulma korozyonuna meyilli olması, zayıf noktalarıdır. Krom kaplamalar eskime, aşınma korozyonuna karşı koruyucu kaplama olarak kullanılırlar. Bir takım makine parçaları ve el aletleri krom ile kaplanır (Tuğral, 2006).

2.6.3.2 Boyalar

TS EN ISO 12944 standardında ayrıntılı olarak bahsedilen boya, herkesin çok iyi tanıdığı, ancak işlevini pek fazla bilmediği bir koruyucu malzemedir. Boyalar genelde bir güzellik unsuru olarak görülür. Halbuki boyanın birinci işlevi koruyuculuk, ikinci işlevi estetikdir (Paksoy, 2002)!

“Boya El Kitabı”nda, A. Selçuk Paksoy boyanın yapısını incelerken, boyayı beton ile karşılaştırmış:

Beton:

Çimento

Çakıl – Kum

Su

Beton katkıları

Boya:

Bağlayıcı (veya reçine)

Pigment – Dolgu

Solvent (Su bazlı sistemlerde su)

Katkılar

Bu karşılaştırmada, betonun bileşenlerinin işlevini boyada nelerin gördüğü belirtilmiştir.

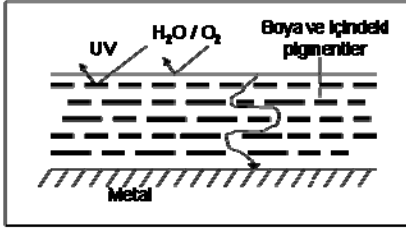
Bağlayıcı:

“Bağlayıcı boyanın tatbik edildiği satha yapışmasını sağlar, boya filminin mekanik ve kimyasal direncini, sertliğini / yumuşaklığını, parlaklığını tayin eder (Paksoy, 2002).”

Pigment - Dolgu:

“... Pigment, boyaya renk verdiği gibi, onun örtücülük kazanmasını da sağlar. Bağlayıcı içinde çözünmez, bağlayıcı içinde dağılmış halde bulunur (Paksoy, 2002).”

Pigmentlerin, renk vermenin dışında bir başka işlevi de korozyon dayanımı vermektir. DIN 55943, korozyon dayanımı veren pigmentin tanımını, metal üzerindeki kaplamanın içinde bulunan ve kimyasal veya fiziko kimyasal etkileşimle metal yüzeydeki korozyonu engelleyen pigmenttir, şeklinde yapar (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



Şekil 2.17 Pigmentin etkisi
(Brock, vd., 2000)

Şekil 2.17, pigmentlerin metal yüzeyi fiziksel olarak nasıl koruduğunu göstermektedir. Su ve diğer agresif maddelerin kaplama yüzeyinden metal yüzeyine olan yol uzatıyor. Bazı pigmentler yüzeye yapışmayı da artırır. Bazıları da UV'yi yansıtarak veya emerek bağlayıcının zarar görmesini engeller (Brock vd., 2000).

Kimyasal veya elektrokimyasal olarak da koruyan pigmentler de vardır. Bu pigmentler, metal yüzeyi pasifleştirir. Paslanmaya karşı yüksek potansiyelleri ile korozyonu yavaşlatan kromatlı pigmentler gibi pigmentler, katodik bölgede aktif olarak ifade edilir (Brock vd., 2000). Bu tip pigmentlerin en çok kullanılanı çinko kromat pigmentler. En zorlu korozyon durumlarında tercih edilen pigment kurşun içeren pigmenttir. Ancak kurşun ve kromat içeren pigmentlerin kullanımı, çevre ve sağlık sebeplerinden dolayı gerilemektedir. Alternatif olarak, anodik bölgede etkili olan pigmentler, yani fosfat içeren pigmentler kullanılmaktadır. Bu tip pigmentler, metal yüzeyde bir koruyucu tabaka oluşturarak korozyonu engeller. Çinko fosfat en çok kullanılan tiptir. Korozyondan koruyucu pigmentler arasında en yaygın olanı, çinko tozudur. Çinko tozu çelikle elektrokimyasal pil oluşturarak kurban anot gibi çalışır ve çeliği katodik olarak korur (Brock vd., 2000). ASTM D 6580'e göre, metalik çinkonun % 94'ü toz halinde olmalıdır. Kalan çinko taneciklerinin boyutu 1 – 10 mikrometre arası olabilir. Çinkoca zengin olarak tabir edilen astar boyalarda kullanılan söz konusu dolgu malzemesi, kuru filmde takriben % 90 – 95 oranında bulunmalıdır. Geri kalan oran reçinedir ve bu reçinenin görevi, diğer tüm boya sistemlerinden farklı olarak, çinko tozlarını kendi aralarında çok sıkı

bağlanmaksızın satha taşımaktır. Çinko tozunun metal yüzeyiyle mümkün olduğu kadar fazla temas etmesi ve katodik koruma sağlaması bu şekilde gerçekleşir.

Demir oksit, bir başka sık kullanılan pigment tipidir. Bütün demir oksitler iyi renk şiddetine ve örtücülük kuvvetine sahiptirler. Aynı zamanda ışık haslıkları ve alkali dirençleri çok iyidir. Bu özellikleri onların boyalarda tercih edilmesini sağlar.

Fiziksel koruma sağlayan pigmentler bariyer, kimyasal veya elektrokimyasal koruma sağlayan pigmentler ise galvanik koruma sağlar. Bu pigmentlerin kombinasyonu veya bir pigmentin her iki işlevi de görmesi mümkündür (Nanetti, 2002).

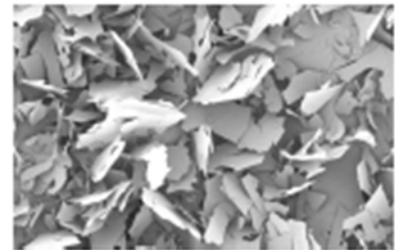
Dolgulara örnek olarak talk, kalsit, barit gibi mineraller verilebilir. Bunlar da pigmentler gibi bağlayıcı içinde dağılmış vaziyette bulunur. Fiyatları pigmentlere göre daha düşüktür, ancak örtücülükleri çok daha azdır (Paksoy, 2002).

Talk, tüm dolgu malzemeleri arasında en yumuşak olanıdır. Plaka formunda olduğu için korozyona karşı korumada sisteme çok iyi bir bariyer etkisi katar. Talk çok iyi zımparalanabilirlik özelliği katar. Bu yüzden macunlarda sıkça kullanılır. Ayrıca boyaya matlık verir (Nanetti, 2002).

Barit macun ve boyalara, yoğunluk kazandırmak için çok sık kullanılan bir dolgudur. Doğadan elde edilir veya sentetik olarak üretilir (Nanetti, 2002).

Karbonatlar boyaların ana dolgu maddelerindendir. En sık kullanılan karbonat C tipi kalsiyum karbonat, yani kalsittir. Kalsit halk dilinde tebeşir olarak da tariflenir. Bu tariften de anlaşılacağı gibi, beyaz pigmentin yerine kullanılabilecek daha ucuz bir alternatiftir. Ancak kalsit, asitlere dayanıksızdır, dolayısıyla endüstriyel ortamlarda kullanılacak boyalar için uygun değildir (Nanetti, 2002).

Yaygın olarak kullanılan metalik pigment ve mineral dolguların dışında, bazı özel dolgular da vardır. Bunların en önemlilerinden biri “mikamsı cam” olarak tabir edilen cam plakacıklarıdır. Cam plakacıkları, kırık cam parçacıklarına benzer, lamel yapıya sahiptirler. Diğer granül dolgulara oranla, boya filminin daha az nem ve buhar geçirgenliğine sahip olmasını sağlarlar. Aynı zamanda kimyasal direnci de artırır.



Şekil 2.18 Mikamsı cam

Solvent:

“Solventler, oda sıcaklığında katı halde bulunan bağlayıcıları çözerek, bir bağlayıcı çözeltisi oluşturur. Bu çözelti içinde pigment ve dolgular ezilir, bir boya imal edilir. En çok alkol, aseton, ksilen gibi çözücüler kullanılır. Su bazlı ürünlerde ise, su solventin işlevini görür. Ancak burada su, solvent gibi bağlayıcıyı çözmez, bağlayıcı su içinde emülsiyon ve / veya dispersiyon halinde dağılmış olarak bulunur. Boya yüzeye sürüldükten sonra solvent uçar, pigment, dolgu ve bağlayıcıdan oluşan homojen bir film oluşur. Bu film, uygulanan yüzeyin hava ile temasını keser ve yüzeyi korozyondan korur (Paksoy, 2002).”

Katkılar, boyaya çok az bir miktarda ilave edilir ve bağlayıcı, pigment ve diğer dolguların dışında boyaya, akmazlık, matlık, yanmazlık gibi bir takım özellikler kazandırır (Paksoy, 2002).

Boyalar kendi içlerinde inorganik veya organik kaplamalar olarak ayrılır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

İnorganik kaplamalar, organik kaplamalar ile galvaniz kaplamalar arasında yer alır. Organik bileşke içermediklerinden dolayı çeşitli solventlere karşı daha dayanıklıdır. Ancak organik kaplamalar, tüm diğer kaplamaların toplamından daha yaygın bir şekilde çelik yapıların korozyona karşı korunmasında kullanılır. Bunun başlıca sebepleri:

- Uygulama kolaylığı (hemen hemen herkesin kullanabileceği tipte boyalar vardır),
- Uygulama için kullanılan ekipmanın galvanizleme gibi diğer tipteki kaplamaların uygulanabilmesi için kullanılan ekipmana göre çok daha düşük bir yatırım maliyetine sahip olması (kaplamada kullanılan aletler fırça, rulo veya çeşitli tabancalardır),
- Nispeten daha az özen gösterilen yüzey hazırlığının bazı tip boyalar için yeterli olması (SA 2 ½ mertebesinde kumlama yerine St 2 mertebesinde mekanik temizlik bazı boyalar için yeterlidir),
- Hemen hemen her yerde boya uygulamasının yapılabilmesi (gerekli şartlara uyulduğu takdirde kulinin tepesinde hatta suyun altında dahi boya uygulaması yapılabilir),
- Hasar görmüş yapıların boya ile daha kolay tamir edilebilmesi,
- Boyaların fiyat olarak daha ucuz olmasıdır.

Çizelge 2.4, en çok kullanılan bağlayıcı reçine tiplerinin avantajlarını ve dezavantajlarını vermektedir:

Çizelge 2.4 Farklı reçine tiplerinin karşılaştırma tablosu (ASM Handbook, Vol 13, 1992)

Reçine Tipi	Avantajlar	Dezavantajlar	Yorumlar
Alkit	Atmosferik korozyona iyi, kimyasal gazlara ise orta dayanımlı, kimyasal saçılmalara dayanımsızdır. Uzun yağlı alkitler iyi nüfuz ederler ancak kürlenmeleri uzun sürer. Kısa yağlı alkitler ise hızlı kürlenir. 105 °C sıcaklığa kadar dayanır.	Kimyasal olarak dayanıksızdır. Taze beton gibi alkali yüzeylerin kaplanmasına uygun değildir.	Uzun yağlı alkitler paslı ve oyuklanmış çelik yüzeyler ve ahşap yüzeyler için mükemmel astar olur. Endüstriyel bölgelerde en yaygın duman tipi olan hafif kimyasal gazlara karşı korozyon direnci yeterlidir. Endüstriyel ve deniz bölgesinde iç ve dış cephe son kat boyası olarak kullanılır.
Vinil	Yağ, gres, alifatik hidrokarbon ve alkolde çözünmez. Su ve tuz çözeltilerine dayanır. Oda sıcaklığında inorganik asit ve alkalilere dayanır. Yanma direnci vardır; sürtünmeye dayanır.	Güçlü polar solventler vinili tekrar çözer. İlk uygulamadaki yapışması zayıftır. Fiyatına göre elde edilen kuru film kalınlığı düşüktür (0,04 – 0,05 mm). Bazı tipleri çıplak çeliğe astarsız yapışamaz. Kuru filmde diğer tip boyalara göre daha yaygın olarak iğne delikçikleri gözlemlenir.	Sağlam, esnek, düşük zehirlikli, tatsız, renksiz, yanma dirençli. İçme suyu tanklarında kullanılır. Endüstriyel boya olarak çok geniş bir alanda kullanılır. VOC uygulamalarına uygun olmayabilir.
Akrilik	Mükemmel ışık ve UV stabilitesi. Parlaklığını ve rengini korur. Kimyasal ve atmosferik korozyon direnci yüksektir. Kimyasal gazlara, çok agresif olmayan kimyasalların dökülme ve saçılmalarına dayanır. Tebeşirlenme minimaldir, ama çok uzun süre UV'ye maruz bırakılırsa renkte kararma olabilir.	Termoplastik ve suda emulge edilmiş akrilikler, asidik veya alkaline kimyasallara uygun değildir. Çoğu akrilik kaplama atmosferik ortamlarda son kat olarak kullanılır.	Çoğunlukla ışık stabilitesinin, parlaklık ve renk korunmasının gerektiği yerlerde kullanılır. Çapraz bağlanma ile daha iyi kimyasal dayanım elde edilir. Bu tip boyalar otomotivde sıkça kullanılır. Emülsiyonlaştırılmış akrilikler genelde beton bloklar veya inşaat yüzeylerinde kullanılır.
Epoksi Ester	İyi atmosferik korozyon dayanımı var. Kimyasal dayanımı genelde alkitlerden daha iyidir. Normal derecedeki atmosferik korozyona genelde dayanır.	Genelde en dayanıksız epoksi reçinedir. Kuvvetli kimyasal gazlara, saçılmalara veya dökülmelere dayanmaz. 105 °C sıcaklığa dayanıklıdır. Suyun içine daldırılan uygulamalara uygun değildir.	Diğer sistemlerle iyi uyum sağlayan yüksek kaliteli yağ bazlı bir kaplama. Kolay uygulanır. Kimyasal bölgelerdeki çelik yapıların, tankların, vs'nin atmosferik korozyona karşı korunmasında yaygın olarak kullanılır.

Çizelge 2.4 Farklı reçine tiplerinin karşılaştırma tablosu (Devam)

Reçine Tipi	Avantajlar	Dezavantajlar	Yorumlar
Amin kürlenmeli epoksi	Alkalilere, pek çok organik ve inorganik asitlere, suya ve sulu tuz çözeltilerine mükemmel dayanım. Solvent dayanımı ve oksidasyon ajanlarına dayanımı, sürekli olarak maruz bırakılmadığı sürece yüksektir. Amin aduktlarının kimyasal dayanımı ve nem toleransı biraz daha azdır.	Diğer epoksilere göre daha sert ve daha az esnektir. Uygulama sırasında neme daha az toleranslıdır. Kaplama UV'ye maruz kalırsa tebeşirlenir. Kuvvetli solventler kaplamayı kaldırabilir. 105 °C kuru, 90°C ıslak sıcaklığa dayanır. 5 °C'nin altında kürlenmez. En fazla 72 saat içinde bir sonraki kat atılmalı, aksi takdirde delaminasyon olabilir. Özelliklerinin en yüksek seviyeye ulaşması 20 °C'de 7 günü bulur.	Kimyasal ve hava direnci iyidir. Epoksi ailesi içinde en iyi kimyasal dirence sahip olanıdır. Çeliğe ve betona mükemmel yapışır. Tank bohçalamada ve bakım amaçlı kaplamalarda yaygınca kullanılır.
Poliamid kürlenmeli epoksiler	Amin kürlenmeli epoksilere göre su dayanımında daha iyidir. Yapışması mükemmeldir; parlaklık, darbe direnci ve aşınma direnci yüksektir. Amin kürlenmeli epoksilere göre daha esnek ve sağlamdır. 105 °C kuru, 65 °C ıslak sıcaklık dayanımı vardır.	5 °C'nin altında çapraz bağlanma olmaz. Özelliklerinin en yüksek seviyeye ulaşması 20 °C'de 7 günü bulur. Kimyasal dayanımı amin kürlenmeli epoksilere göre biraz daha azdır.	Amin kürlenmeli epoksilere göre daha kolay uygulanabilir ve kaplanabilir. Nem toleransı daha fazladır. Çelik ve beton yüzeye mükemmel yapışır. Endüstriyel ve deniz bölgelerinde bakım amaçlı çok yaygın olarak kullanılır. Bazı formülasyonları ıslak veya su altı uygulamalarında da kullanılabilir.
Poliüretan (aromatik veya alifatik)	Alifatik üretanlar kimyasal olarak mükemmel parlaklık, renk ve UV dayanımı gösterir. Kullanılan poliyole göre özellikler değişir. Genel olarak kimyasal ve nem dayanımı poliamid kürlenmeli epoksiler gibidir. Aşınma direnci mükemmeldir.	İsosiyanat reaksiyonundaki değişkenlikten dolayı spesifik kaplama özelliklerinde farklılıklar görülebilir. Kullanıcılar isosiyanata fazla maruz bırakılırlarsa, astım şeklinde yan etkiler görülebilir. Nemli durumlarda, kaplamanın kabarcıklanmasına veya köpürmesine sebebiyet veren karbon dioksit salıverilir. Aromatik üretanlar UV'ye maruz kaldıklarında kararabilir veya sararabilir.	Alifatik üretanlar, korosif ortamlarda yaygın olarak parlaklığını koruyan hızlı kürlenen son kat boya olarak kullanılırlar. Pahalıdırlar ama dayanıklıdırlar. Kimyasal, nem, düşük sıcaklık ve aşınma dirençlerini arttırmak için isosiyanat farklı malzemelerle kombine edilebilir.

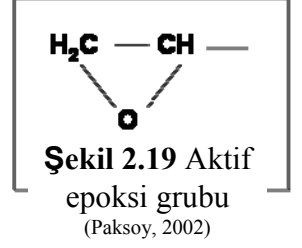
Çizelge 2.4 Farklı reçine tiplerinin karşılaştırma tablosu (Devam)

Reçine Tipi	Avantajlar	Dezavantajlar	Yorumlar
Organik çinkoca zengin kaplama	Kimyasal dayanımı ve nem toleransı organik bağlayıcıya bağlıdır. Galvanik koruma çinko içeriği sayesinde sağlanır. pH değeri 5 – 10 aralığının dışında kalan kimyasal ortamlarda üzerine boya gelmelidir. Yüzey hazırlığına ve üzerine gelecek katın kabulüne inorganik çinkoca zengin kaplamaya göre daha toleranslıdır.	İnorganik çinkoca zengin kaplamalara göre genelde daha kısa ömürlüdürler. Ancak uygulama kolaylığı ve yüzey hazırlığına karşı daha toleranslı olduğu için giderek daha fazla kullanılmaktadır.	Avrupa ve Uzakdoğu organik çinkoca zengin kaplamayı tercih ederken, Amerika’da inorganik çinkoca zengin kaplama daha sık kullanılmaktadır. Organik bağlayıcılardan organik çinkoca zengin kaplamanın üzerine gelecek boyalar üretilebilir (epoksi gibi). Organik çinkoca zengin kaplamalar, galvanizli veya inorganik çinkoca zengin kaplamaların tamirinde sıkça kullanılır.
İnorganik çinkoca zengin kaplama	Nötr veya nötre yakın atmosferlerdeki ve daldırma uygulamalarındaki oyuklanma korozyonuna karşı mükemmel uzun vadeli koruma sağlar. Aşınma dürenci mükemmeldir. Kuru sıcaklık dayanımı 370 °C’yi aşar. Su bazlı inorganik silikatlar, kapalı alanlara ve VOC uygulamalarına uygundur.	İnorganik yapıdan dolayı, mükemmel bir yüzey hazırlığı gereklidir. Organik bir son kat ile kaplanması zordur. Kimyasal gazların olduğu ortamlarda son kat uygulaması, pH değeri 5 – 10 aralığının dışındaki alanlarda çinko tozunun aktif olmasından dolayı mecburidir. Uygulaması zordur. 0,13 mm’den daha kalın uygulamalarda çamur çatlağı gibi oluşumlar gözlemlenir.	Etil silikat çinkoca zengin kaplamalar kürlenmek için atmosferik neme ihtiyaç duyar. Bunlar en yaygın tipdir. Köprülerde, deniz aşırı yapılarda, bina ve kimyasal endüstri yapılarının çeliklerinde astar olarak yaygın olarak kullanılır. Otomotiv ve gemi endüstrilerinde kaynaklanabilir özellikle astar olarak kullanılırlar. Oyuklanma korozyonunu elimine eder.

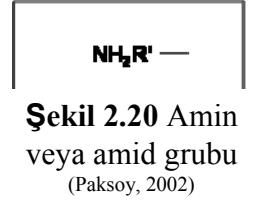
Endüstriyel amaçlı kullanılan boyalarda en çok epoksi ve poliüretan bazlı reçineler tercih edilir. Santos, Brites, Costa ve Santos’un (2005) birlikte yaptıkları ve yüksek atmosferik korozyonun olduğu ortamlarda boyaların performanslarını test ettikleri araştırmada, astar olarak genelde epoksi, ara kat olarak sadece epoksi, son kat olarak da sadece poliüretan esaslı boyalar kullanılmıştır. Steel Dynamic, Inc.’nin “Corrosion and Protection” adlı bir yayımında, Corus Construction & Industrial, “A Corrosion Protection Guide” adlı yayımında, kapalı yüzme havuzlarının çelik yapılarının korunmasında önerdiği üç kaplama sisteminin ikisinde, epoksi astar ve poliüretan son kat boya vardır (Corus, 2004). TS EN ISO 12944 standardının 5. bölümü, farklı tipteki boya sistemlerinden uygun olanını seçme konusunda rehber olarak düzenlenmiştir. Bu standart korozyonun önlenmesi için kullanılan boya tiplerini ve

sistemlerini kapsar. Aynı standardın 2. bölümünde açıklanmış olan korozyon kategorilerine uygun boya sistemlerinden, değişik yüzey hazırlıklarına göre beklenecek dayanıklılığı, düşük, orta ve yüksek olarak sınıflandırmıştır. Söz konusu standarttaki Çizelge A.5'e bakıldığında, en zorlu korozyon kategorileri olan C5 I ve C5 M kategorileri için en yüksek dayanımı verecek olan sistemlerde yine epoksi astar ve ara kat ile poliüretan son kat boyaları görülmektedir.

Epoksi sistemleri, epoksi reçine ve sertleştirici olmak üzere, iki bileşenden oluşur. Epoksi reçineler, katılma (poliadisyon) prensibine göre çapraz bağlanma yapan ve reaksiyona, içerdiği aktif epoksi grupları ile giren reçinelerdir. Aromatik, alifatik ve sikloalifatik olmak üzere epoksi reçineler üç gruba ayrılır. Aromatik epoksi reçineler, Bisfenol A bazlıdır. Bisfenol F bazlı olanları da vardır (Paksoy, 2002).



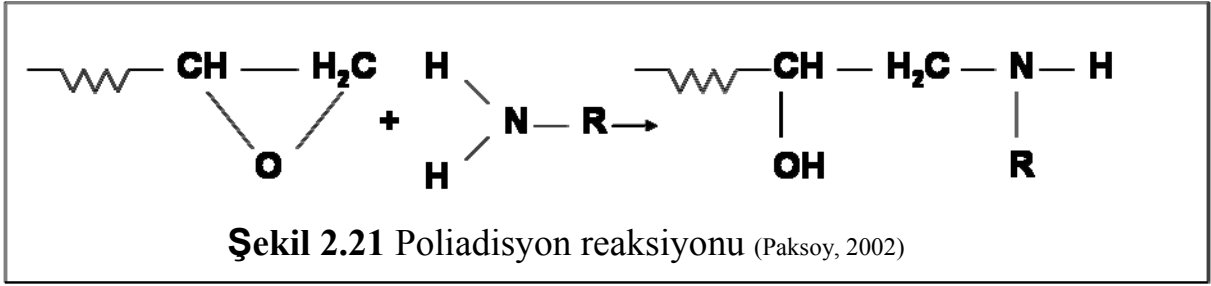
Epoksi reçineler molekül uzunluklarına göre iki gruba ayrılır. Sıvı epoksilerin molekül uzunluğu 1000 kadardır ve solventsiz epoksi reçine olarak da anılırlar. Katı epoksilerin molekül uzunluğu 1000'den fazladır ve solventli reçine olarak da anılırlar. Moleküllerinin uzun olmasından dolayı, katı epoksiler daha elastiktir. Sıvı epoksiler genelde endüstriyel



zemin kaplamalarında, tank içi kaplamalarda, yapıştırıcılarda, elektrik endüstrisinde, kompozitlerde ve parça imalatında, katılar ise genelde atmosferik korozyona karşı dirençli boyalarda, kısaca Solventli epoksi boyalarda, ayrıca toz boyalarda kullanılır (Paksoy, 2002).

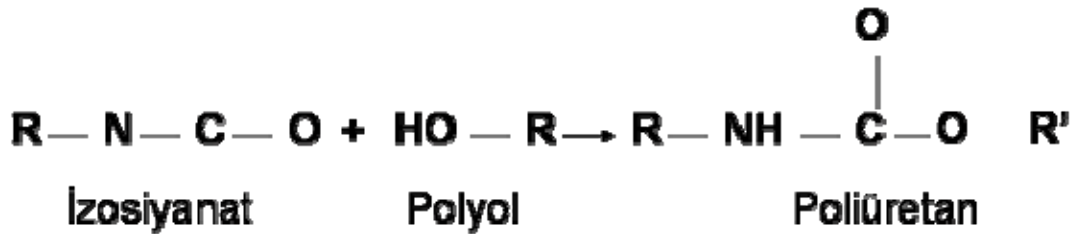
Amin / poliamin ve poliamidler olmak üzere iki tür sertleştirici vardır. Poliaminler, kimyasal ve çözücülere daha dayanıklıdır. Poliamidler, suya karşı daha dayanıklıdır. Aynı zamanda daha iyi elastikiyet ve yapışma özellikleri vardır (Paksoy, 2002).

Epoksi sistemlere özelliğini daha çok sertleştiriciler verir. Bu yüzden birkaç epoksi reçine tipi olmasına rağmen, pek çok sertleştirici tipi vardır. Örneğin, aynı epoksi reçine iki farklı sertleştirici ile kombine edilirse, bir sistem kırılkan, diğer sistem ise elastik olabilir (Paksoy, 2002).



Poliüretan sistemler, biri izosiyanat, diğeri de poliyol olmak üzere iki bileşenden oluşur. Bazı poliüretan sistemlerin tek bileşenli oldukları iddia edilir. Ancak uygulamada, izosiyanat ortamdaki hava nemi ile reaksiyona girer. Bu tip poliüretanları kullanırken çok dikkatli olmak lazımdır. Ortamdaki nem miktarını kontrol etmek zordur; sistemin kürlenmesinde problem yaşanabilir (Paksoy, 2002).

Poliüretanlarda, epoksilerin sertleştiricilerinde olduğu gibi, izosiyanatlar sistemin karakterini belirler. En çok kullanılan izosiyanatlar TDI (Toluendiizosiyanat) ve MDI (Difenilmetandiizosiyanat)'dır. TDI ve MDI içeren poliüretan sistemler aromatik poliüretan olarak adlandırılır. Fiyatları uygundur ancak UV dayanımları yoktur. IPDI, hidrojene edilmiş MDI ve heksametilen diizosiyanat poliüretanlar ise siklo alifatik ve alifatik poliüretanlardır ve UV dayanımları yüksektir (Paksoy, 2002).



Şekil 2.22 Poliüretan Poliadişyon reaksiyonu (Paksoy, 2002)

Epoksi sistemler, yüzey toleranslıdır. Hafif paslı yüzeylere dahi uygulanabilirler. Rutubetli satırlara, yağmur altında veya su altında uygulanabilirler. Karışım ömürleri nispeten uzundur; böylece uygulamaları daha kolaydır. Ancak UV'ye dayanıksızdır (Paksoy, 2002).

Poliüretanların (alifatik olanları) UV dayanımı vardır. Bu yüzden genelde epoksi ile kaplı bir yüzey eğer UV'ye maruz kalan bir yer ise, üzerine 50 µm poliüretan boya sürülür. Poliüretanın elastikiyeti de üstündür. Ancak poliüretanlar uygulama sırasında suya ve rutubete karşı hassastır (Paksoy, 2002).

Görüldüğü gibi epoksiler ve poliüretanların özellikleri birbirini tamamlar (Paksoy, 2002).

Yukarıda bahsettiğimiz ve araştırmalarda da yer alan boyalar, genelde astar, ara kat ve son kat olarak uygulanırlar. TS EN ISO 12944 – 5 standardı, astar, ara kat ve son kat terimlerini şöyle açıklamıştır:

Astar kaplama: Bir boya sisteminde astar uygulanmasıyla elde edilen ilk tabaka. Astar kaplama temizlenmiş metal ve/veya temizlenmiş eski kaplamanın yeterli seviyede pürüzlendirilmiş yüzeylerine sıkıca tutunarak müteakip kaplamaların yüzeye sıkıca yapışması için uygun bir taban oluşturur. Astar kaplamalar esas kaplamanın uygulanmasına kadar geçen süre ve ayrıca boya sisteminin hizmet ömrünün tamamında korozyona karşı koruyucu özellik gösterir.

Ara Kat kaplama: Üst kaplama ile astar arasındaki kaplamalar.

Son Kat kaplama: Boya sistemindeki en son kaplama. Alttaki kaplamaları çevrenin etkisinden korumak, sistemin korozyonu önlemesine katkıda bulunmak ve istenen rengi vermek için tasarlanır (TS EN ISO 12944 – 5, 2002).

Metal yüzeylere ilk önce astar sürülür. Metalin korozyondan korunmasını astar sağlar. Önceden bahsedilmiş olan korozyondan koruyucu pigmentleri astar içerir. Ancak astar katlar üzerine genelde bir de son kat boya sürülür. Son katlar renklidir. Rengin verdiği hoş görünümün dışında, UV, mekanik ve kimyasal maddelere karşı direnç de sağlarlar. Yüksek mekanik direncin gerekli olduğu durumlarda, astar ile son kat arasında ara kat boya da bulunabilir (Nanetti, 2002).

2.7 BOYA TATBİKATI

2.7.1 Doğru Boya Sisteminin Seçimi

Çevre koşulları. Uygulanacak boya sistemi, ortamdaki kimyasallara, sıcaklığa, neme ve benzeri koşullara dayanıklı olmalıdır.

Görünüm. Özellikle görülür yerlerde boyanın görünüm kalitesini koruyabilmesi gerekir.

Emniyet. Bazı zehirli hammaddeler içeren boyaların kullanımı yasak olabilir. Ayrıca uygulanmış boyanın daha sonraki bir zamanda temizlenmesi olanakları göz önünde tutulmalıdır. Patlayıcı ve parlayıcı solventlerin saklanma şekillerine dikkat edilmelidir.

Yüzey hazırlığı. Rafineri gibi patlayıcı malzeme depolanan yerlerde, kule, baca gibi yüksek yapılarda kumlama mümkün olmayabilir.

Uygulayıcının becerisi. Bazı kaplama sistemleri ustalık gerektirir. Eldeki işgücünün becerisi ve tecrübesi bilinmelidir.

Kaplanacak malzeme. Alüminyum, galvanizli çelik gibi yüzeylerin kaplanması, çelik yüzeylerin kaplanmasından farklıdır.

Sahip olunan ekipman. Dayanımı yüksek olan kaplamalar genelde kumlanmış yüzey üzerine tabanca ile uygulanırlar.

Tasarım ömrü. Ömrü uzun olacak yapılarda kullanılacak boya sistemi de aynı dayanıma sahip olmalıdır.

Maliyet. Genelde dayanıklı olan sistemlerin uygulanmış maliyeti, daha az dayanıklılara göre daha fazladır.

Tamir edilebilirlik. İleride tamir etmek zor olacaksa, dayanımı yüksek olan boyalar kullanılmalıdır.

Hatanın bedeli. Eğer kaplamadan doğacak hatanın bedeli yüksek olacaksa, dayanımı yüksek, uygulaması az hata doğuracak kaplama sistemi seçilmelidir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

TS EN ISO 12944 – 2 sayılı standardın atmosferik korozyon bölgelerini sınıflandırdığından bahsetmiştik. Bu sınıflara göre çeşitli dayanımlarda boya sistemlerini tavsiye eden standart ise TS EN ISO 12944 – 5’dir. Söz konusu standarttan aşağıdaki çizelgeler alınmıştır. Bu çizelgeler, C3 Orta Dereceli Endüstriyel ve Şehir İçi Atmosferleri (Çizelge 2.5) ve C4 Yüksek Endüstriyel Korozyonlu Atmosferi (Çizelge 2.6) için tavsiye edilen boya sistemlerini ve kuru film kalınlıklarını içerir.

Çizelgelerde belirtilen kısa, orta ve uzun ömürlerin ne kadar zamana denk geldiği ISO 12944 – 1 standardında aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

Kısa: 2 – 5 yıl

Orta: 5 – 15 yıl

Uzun: 15 yıldan fazla.

Çizelge 2.5. C3 Korozyon sınıfı (TSE EN ISO 12944 - 5, 2002)																
Boya Sistem No:	Yüzey Hazır. Sınıfı		Astar Boyalar				Orta Kaplamaları da İçeren Üst Kaplamalar			Boya Sistemleri		Beklenen Day. (Bak 5.5 ve ISO 12944-1)				
	St 2	SA 2 1/2	Bağlayıcı	Astar Tipi	Kaplama Sayısı	NDFT mikron	Bağlayıcı	Kaplama Sayısı	NDFT mikron	Kaplama Sayısı	NDFT mikron	K	O	U		
S3.01	X		AK	MUH-TELIF	2	80	AK	1	40	3	120					
S3.02		X			1 - 2	80		1	40	2 - 3	120					
S3.03	X				2	80		1 - 2	80	3 - 4	160					
S3.04		X			1 - 2	80		1 - 2	80	2 - 4	160					
S3.05	X				1 - 2	80		2 - 3	120	3 - 5	200					
S3.06		X			1 - 2	80		2 - 3	120	3 - 5	200					
S3.07		X			AY, CR, PVC	MUH-TELIF	1 - 2	80	AY, CR, PVC	2 - 3	120	3 - 5	200			
S3.08		X					1 - 2	80		2 - 3	160	3 - 5	240			
S3.09		X					1 - 2	80	BIT	2	160	3 - 4	240			
S3.10		X					1 - 2	80		2	160	3 - 4	240			
S3.11	X		AY, CR, PVC	MUH-TELIF			2	80	AY, CR, PVC	1 - 2	80	3 - 4	160			
S3.12		X					1 - 2	80		1 - 2	80	2 - 4	160			
S3.13		X					1 - 2	80		2 - 3	120	3 - 5	200			
S3.14		X					1 - 2	80		2 - 3	160	3 - 5	240			
S3.15		X					1	160	AY	1	40	2	200			
S3.16		X	EP				Zn(R.)	1 - 2	80	EP, PUR	1	40	2 - 3	120		
S3.17		X			1 - 2	80		1 - 2	80		2 - 4	160				
S3.18		X			1 - 2	80		2 - 3	120		3 - 5	200				
S3.19		X			1 - 2	80		2 - 3	160		3 - 5	240				
S3.20		X	EP, PUR		1 - 2	80		-	-	-	1 - 2	80				
S3.21		X	EP, PUR	Zn(R.)	1	40		EP, PUR	1 - 2	120	2 - 3	160				
S3.22		X			1	40			2 - 3	160	3 - 4	200				
S3.23		X			1	40			AY, CR, PVC	1 - 2	120	2 - 3	160			
S3.24		X			1	40			2 - 3	160	3 - 4	200				
S3.25		X			ESI	Zn(R.)		1	80	-	-	-	1	80		
S3.26		X	1				80	AY, CR, PVC	1 - 2	80	2 - 3	160				
S3.27		X	1				80	2 - 3	120	3 - 4	200					
S3.28		X	1				80	EP, PUR	1 - 2	80	2 - 3	160				
S3.29		X	1				80	2 - 3	120	3 - 4	200					

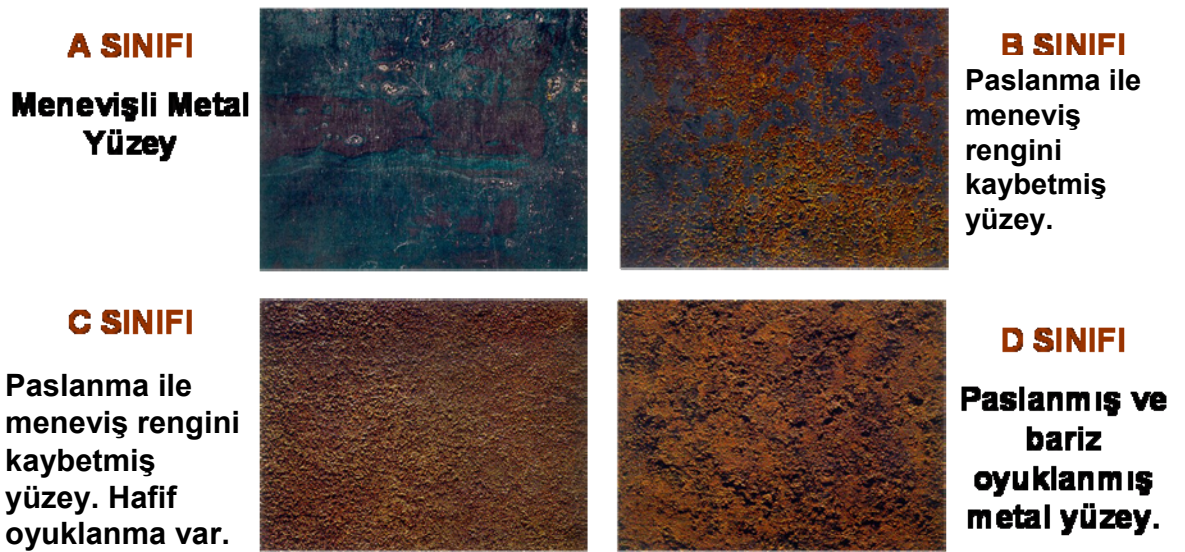
Çizelge 2.6. C4 Korozyon sınıfı (TSE EN ISO 12944 - 5, 2002)														
Boya Sistem No:	Yüzey Hazır. Sınıfı		Astar Boyalar				Orta Kaplamaları da İçeren Üst Kaplamalar			Boya Sistemleri		Beklenen Day. (Bak 5.5 ve ISO 12944-1)		
	St 2	SA 2 1/2	Bağlayıcı	Astar Tipi	Kaplama Sayısı	NDFT mikron	Bağlayıcı	Kaplama Sayısı	NDFT mikron	Kaplama Sayısı	NDFT mikron	K	O	U
S4.01		X	AK	MUH-TELIF	1 - 2	80	AK	2 - 3	120	3 - 5	200			
S4.02		X			1 - 2	80	2	160	3 - 4	240				
S4.03		X			1 - 2	80	BIT	2 - 3	200	3 - 5	280			
S4.04		X			1 - 2	80	AY,CR, PVC	2 - 3	120	3 - 5	200			
S4.05		X			1 - 2	80	2 - 3	160	3 - 5	240				
S4.06		X	AY, CR, PVC		1 - 2	80	BIT	2	160	3 - 4	240			
S4.11		X			1	160	1	120	2	280				
S4.12		X			1 - 2	80	2 - 3	120	3 - 5	200				
S4.13		X			1 - 2	80	2 - 3	160	3 - 5	240				
S4.14		X			1 - 2	80	2 - 3	200	3 - 5	280				
S4.15					1 - 2	80	3 - 4	240	4 - 6	320				
S4.16		X	EP, PUR		Zn(R.)	1	40	AY,CR, PVC	1 - 2	120	2 - 3	160		
S4.17		X		1		40	2 - 3	160	3 - 4	200				
S4.18		X		1		40	2 - 3	200	3 - 4	240				
S4.19		X		1		40	1 - 2	120	2 - 3	160				
S4.20		X		1		40	2 - 3	160	3 - 4	200				
S4.21		X		1		40	EP, PUR	2 - 3	200	3 - 4	240			
S4.22		X		1		40	2 - 3	240	3 - 4	280				
S4.23		X		1		40	3 - 4	280	4 - 5	320				
S4.24		X		1		80	-	-	-	1	80			
S4.25		X		1		80	AY,CR, PVC	1 - 2	80	2 - 3	160			
S4.26		X	1	80		2 - 3	120	3 - 4	200					
S4.27		X	1	80		2 - 3	160	3 - 4	240					
S4.28		X	1	80		1 - 2	80	2 - 3	160					
S4.29		X	1	80		2 - 3	120	3 - 4	200					
S4.30		X	1	80		EP, PUR	2 - 3	160	3 - 4	240				
S4.31		X	1	80		2 - 3	200	3 - 4	280					
S4.32		X	1	80		3 - 4	240	4 - 5	320					
Astar Kaplamalar İçin Bağlayıcılar				Boyalar (sıvı)			Üst kaplamalar için bağlayıcılar			Boyalar (sıvı)				
				Kullanım anında bir-leştirilen kısım sayısı		Su bazlı hazırlanabilme e özelliği				Kullanım anında bir-leştirilen kısım sayısı		Su bazlı hazırlanabilme özelliği		
				1. Kısım	2. Kısım				1. Kısım	2. Kısım				
AK = Alkil				X		X	AK = AlkiD		X		X			
CR = Klorlanmış kauçuk				X			CR = Klorlanmış		X					
PVC = Poliniklorürür				X			PVC = Poliniklorürür		X					
AY = Akrilik				X		X	PVC = Poliniklorürür		X					
EP = Epoksi					X	X	AY = Akrilik		X		X			
ESI = Etilsilikat					X		BIT = Bitüm		X		X	X		
PUR = Poliüretan				X			EP = Epoksi				X	X		
							PUR = Poliüretan		X					

Tatbik edilen veya tatbik edilecek boyanın kalitesi ne kadar iyi olursa olsun, performansı doğrudan doğruya tatbikat kalitesine bağlıdır. Boya tatbikatı iki kademedede incelenir. Bunlardan ilki yüzey hazırlığı, ikincisi de boyanın uygulanışıdır.

TS EN ISO 12944 – 4 sayılı standart yüzey hazırlığı üzerinedir. “Yüzey hazırlamanın esas amacı, kaplamaya zarar verebilecek maddelerin uzaklaştırılması ve böylece çeliğe uygulanacak astar ile yüzey arasında tatminkâr bir yapışmanın sağlanmasıdır. Yüzey hazırlama ayrıca korozyonu başlatacak kirleticilerin miktarının azaltılmasına da katkı sağlar.” Başka bir deyişle, uygulanacak boya, yüzeydeki pas, yağ, gres, tuz, kir ve benzer kirlilikler üzerine değil, çeliğin kendisi üzerine yapışmalıdır. Pas üzerine yapışan boya, pasla birlikte dökülür.

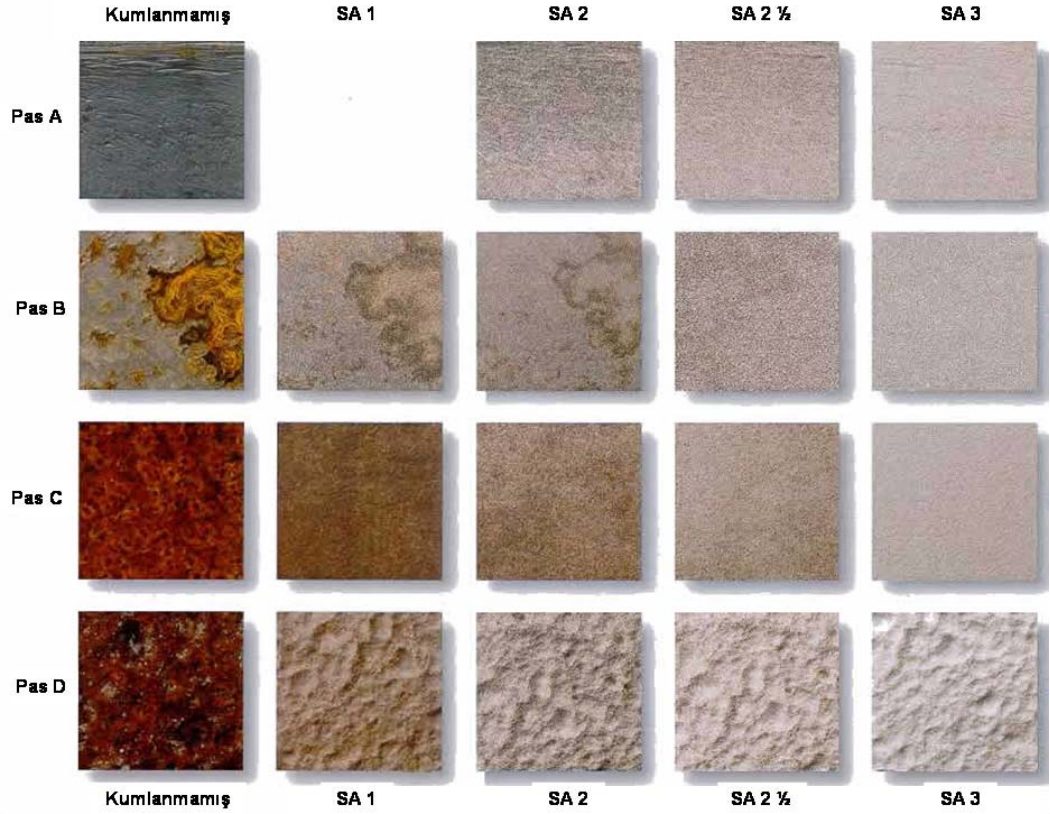
Çelik yüzeylerin üzerinde farklı derecelerde pas vardır. Bu pasın sınıflandırılması ISO 8501 – 1 standardında A, B, C ve D sınıfları olarak ayrılmıştır (International Standardization Organization yayını olan ISO 8501 standardı, İsveç Standardı olan SIS 055900’ın aynıdır). A sınıfı pas nispeten azdır, D sınıfı pas ise aşırı fazladır. Mekanik veya kimyasal, manüel veya otomatik bir takım yüzey hazırlama şekilleri vardır. Bu yöntemlerin bazılarının doğru yapılmışlığı, görsel olarak TS EN ISO 8501 – 1 standardında yer alan resimlerle kontrol edilir. TS EN ISO 8501 – 2 no’lu standartta ise, daha önceden kaplanmış çeliklerin durumunu TS EN ISO 8501 – 1’deki gibi açıklar.

A, B, C ve D sınıfında paslı çelik yüzeyler:



Şekil 2.23 Pas sınıfları (TSE EN ISO 8501-1, 1999)

Şekil 2.23’de görülen yüzeylerin, SA mertebesindeki temizlikten sonra olması gereken yüzey durumlarını Şekil 2.24 göstermektedir:



Şekil 2.24 SA yüzey hazırlığı sınıfları (SIS 055900)

Şekil 2.23’de görülen yüzeylerin, St mertebesindeki temizlikten sonra olması gereken yüzey durumlarını Şekil 2.25 göstermektedir:



Şekil 2.25 St yüzey hazırlığı sınıfları (TSE EN ISO 8501-1, 1999)

Şekil 2.24 ve 2.25'deki resimlerden de anlaşılacağı üzere, püskürtmeli temizleme yöntemi için SA 3, mekanik temizlik yöntemi için de St 3 en iyi derecedir.

2.7.2 Yüzey Hazırlığı Yöntemleri

Solvet temizliği. Görsel bir kontrol standardı yoktur. Yüzeydeki yağ, kir, toz, toprak ve benzeri safsızlıkların temizlenmesine yarar. Pası almaz.

El aleti ile mekanik temizlik. St3 standardında temizlik yapılabilir. Metalden çabuk kopan pas ve diğer parçacıkları alır. Genelde tel fırçalar, kazıma aletleri, zımpara gibi el aletleri kullanılır. Küçük alanların temizliği için pratiktir.

Tahrikli bir aletle mekanik temizlik. St3 standardında temizlik yapılabilir. Metalden çabuk kopan pas ve diğer parçacıkları alır. Taş motoru gibi aletler kullanılır. Genelde küçük alanların temizliği için pratiktir. Motorlu temizlik aletleri her zaman el aletleri ile yapılan temizlikten daha etkilidir.

Beyaz metal püskürtme temizliği. SA 3 standardında temizlik yapılabilir. Tamamen temizlenmiş bir yüzey gerektiği zaman kullanılır. Temizlenmiş yüzey homojen bir satha ve gri mavi bir renge sahip olmalıdır. Yağ, kir, toz, vs kalmamalıdır. Eski boya ve tüm yabancı maddeler sökülmiş olmalıdır.

Ticari püskürtme temizliği. SA 2 standardında temizlik yapılabilir. Yüzeydeki safsızlıklar uzaklaştırılır. Pastan dolayı oluşan renk değişimleri, hafif pas veya eski boya kalıntıları yüzeyde kalabilir. Yüzey oyukluysa, bu oyukların içinde pas veya eski boya kalmış olabilir. Bu oran 1 cm²'de %30'u geçmemelidir.

Süpürme amaçlı püskürtme temizliği. SA 1 standardında temizlik yapılabilir. Yüzeydeki yağ, kir, hafif pas, metalden çabuk kopan pas parçacıklarının tamamı temizlenir. Yüzey bir aşındırıcı ile temizlenene kadar, yüzeyde iyi yapışmış pas, boya ve kaplama parçacıkları kalır.

Dağlama. Görsel bir kontrol standardı yoktur. Kimyasal veya elektrokimyasal olarak yüzeydeki tüm pas ve pas parçacıkları uzaklaştırılır.



Şekil 2.26, Kumlama

Beyaz metale yakın püskürtme temizliği. SA 2 ½ standardında temizlik yapılabilir. Hemen hemen tamamen temizlenmiş bir yüzey gerektiği zaman kullanılır. Temizlenmiş yüzeyde çok hafif gölgelenmeler, pastan dolayı renk değişiklikleri, oksitlenmeler veya eski boya parçacıkları kalabilir. Bu oran 1cm²'de %5'i geçmemelidir. Yağ, kir, toz, vs kalmamalıdır. Eski boya ve tüm yabancı maddeler sökülmiş olmalıdır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Su jetiyle temizlik. Görsel bir kontrol standardı yoktur. Ayrılması kolay, tabaka halindeki pası alır. Aşındırıcı ile yüzey temizliğinin çeşitli sebeplerden dolayı yapılmasında mahsur olan durumlarda kullanılsa da, su jetine aşındırıcı bir takım maddeler katılarak temizleme özelliği iyileştirilebilir. Su jetinin uygulanmasının dezavantajı ani veya çabuk pas denen bir pasın yüzeyde oluşmasıdır. Bunu engellemek için temizlikten sonra bir takım inhibitörler kullanılabilir ama bunlar da daha sonra boya maddesinin yüzeye yapışmasına engel olabilirler (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



Şekil 2.27. Su Jeti

Sayılan temizleme yöntemleri arasında en yaygın olan yöntem, aşındırıcı püskürten bir makine yardımıyla yapılan yüzey temizliğidir. Bu tip bir makine son derece teferruatlıdır ve aşağıdaki bölümlerden oluşur:

Hava kompresörü. Makinenin enerji kaynağıdır. Saatlerce hep aynı seviyede hava sağlayabilecek özellikte olmalıdır. Kompresör ne kadar büyükse, makinenin ucundaki nozül de aynı şekilde büyük olabilir ve iş o kadar hızlı biter. Minimum 8 bar hava basıncı gereklidir. 5 m³/dak hava basıncı ile çalışan vidalı kompresör kullanılmalıdır.

Hava hortumu. En azından 32 mm çapında, havanın sürtünmeden sürat kaybetmesini önleyecek özellikte olmalıdır. Kompresör ile aşındırıcı haznesini bağlar (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Püskürtme makinesi veya kum haznesi. Aşındırıcı malzemeyi barındıran haznedir. Verimli olması için, haznenin minimum sayıda doldurulmasını gerektirecek boyutta olması gerekir. Bu haznenin muhakkak bir emniyet vanası bulunmalıdır. Bu vana açıldığında, şiddetli hava aşındırıcıyı alıp nozüle iletmeye başlar. Kumlama işlemini yapan eleman bayılırsa, kumlama bir otomatik silah gibi operatörü yaralayabilir. Bu yüzden söz konusu vananın başında bir başka operatör bulunmalı veya vana otomatik olarak devreden çıkabilecek özellikte olmalıdır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



Şekil 2.28 Kumlama ekipmanı

Püskürtme hortumu. Aşındırıcı madde ile nozülü bağlar. En azından 32 mm'lik bir iç çapa sahip olmalıdır. Bazen ulaşılması zor yerlere ulaşmak amacıyla daha kısa ve ince bir hortum da uca takılabilir. Ancak bu hortum amacı dışında kullanılamamalıdır. Basıncı düşürdüğü için temizlik kalitesi de düşer (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Nozül. Makinenin en önemli parçasıdır. Çeşitli çaplarda ve tiplerde nozüller vardır. Bu özellikler, püskürtmenin debisini belirler.

Nem ve yağ separatörleri. Özellikle taşınabilir kompresörlerin oluşturduğu nemi ve yağı kesmek için kullanılır. Aşındırıcı haznesinin girişine, kompresörden mümkün olabildiğince en uzak mesafeye yerleştirilmelidir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



Şekil 2.29 Nozül

Her ne kadar makinenin parçası olmasa da, kullanılan **aşındırıcı** da en az makinenin kendisi kadar önemlidir. Dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar, aşındırıcının boyutu, sertliği, şekli ve maddesidir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Büyük parçacıklar her ne kadar yüzeyden daha büyük parça koparsa da, küçük parçacıklar ile daha verimli temizlik sağlanır, çünkü yüzey daha çok darbe yer.



Şekil 2.30 Garnet

Sert aşındırıcılar genelde daha hızlı bir şekilde daha büyük parçacıklar koparırlar. Yumuşak parçacıklar çarpışma sırasında parçalanırlar ve temizliğin etkisini azaltırlar.

Parçacığın şekli, elde edilecek yüzey profilini belirler. Yuvarlak çelik bilyeler yüzeyde dalgalı bir efekt bırakır. Bu tip parçacıklar ile yüzeydeki kırılğan tabakalar uzaklaştırılır. Gritler ise köşelidir ve yüzeyi dişlendirir. Bu tip yüzeylere boyanın yapışması daha iyidir (ASM Handbook, Vol 13, 1992).



Şekil 2.31. Grit

Çok farklı tipte maddeler kullanılır. Ancak hepsinin pH'ı 6 ile 8 arasında olmalıdır. Tuzlu su veya başka bir kirli su ile yıkanmamış olmalıdırlar. En çok kullanılan tipteki aşındırıcılar doğal oksitlerdir. Silisyum hem ucuz hem de etkilidir. Ancak silisyumun kullanımı tozduğu için sağlık açısından zararlı olduğundan, kullanımına pek çok yerde sınırlama getirilmiştir. Metalik aşındırıcılar, özellikle çelik gritler, sert, köşeli, tozsuz ve verimlidir. İlk yatırım maliyeti pahalı olsa da, elenip birkaç kez tekrar kullanılabilirler. Depolarken paslanmamasına dikkat etmek lazım. Grit ile silisyumun karıştırılıp kullanılması da mümkündür. Bakır, nikel gibi bazı cevherlerin atık yan ürünleri de kullanılabilir. Ancak bunlar hem kırılğan hem de asidik olabilir. Sentetik aşındırıcılar da vardır. Bunlar çok sert, hızlı kesen ve az tozuyan tiptedir. Ancak çok pahalıdırlar. Bu yüzden geri dönüşüm şarttır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Aşındırıcının sarfiyatına da dikkat edilmelidir. En az 90 kg/m² aşındırıcı kullanılmalı. İyi eleme yapılabildiği takdirde, sarfiyat 45 kg/m²'ye düşer (TS EN ISO 8504, 2001).

Yüzey temizliğinin dışında, boyanın yüzeye yapışabilmesi için yüzeyin pürüzlendirilmesi de gereklidir. Bu pürüzlülük sayesinde boyanın yapışma alanı artar, boya daha geniş bir yüzeye yapışır. Bu en iyi yüzeye bir aşındırıcı püskürtme yöntemiyle sağlanır. Yüzey pürüzlendirilmesi sırasında oluşan dişlerin tepelerinin çok yüksek olmaması gerekir. Aksi takdirde bu tepecikler boyanın kuru film kalınlığı altında kapanmaz ve koroziyel etki başlar. Genel olarak mineral aşındırıcılar püskürtme yöntemiyle 13 – 100 mikrometrelik yüzey pürüzlülüğü oluşturur. Bu derinlik kullanılan aşındırıcının tane boyutuna ve fırlatılma hızına bağlıdır. Metalik aşındırıcıların pürüz derinliği 180 mikrometre'yi bulabilir. Ancak tane boyutları iyi bir şekilde elenerek ayrılırsa, açılan pürüzün aralığı 50 – 115 mikrometre arası değişebilir. Bu aralık da pek çok kaplama sistemi için uygundur (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Yüzey hazırlığından sonra ve boyamadan önce yüzeyde oluşan bir takım gözle görülemeyen kimyasal kirin uzaklaştırılması çok önemlidir. Bu tip kirler bazen SA 3 mertebesindeki

temizlik dahi uzaklaştıramayabilir. Bu durumda da yüzeyde boya öncesi korozyon filmi oluşabilir.

Kaynak bölgelerinin temizliği çok önemlidir. Kaynak sıçramaları uzaklaştırılmalıdır. Aksi takdirde keskin yüzeyler kaplama dışında kalabilir. Kenar ve köşeler de fazla boyanın birikmesine sebebiyet verebilir. Bu alanların da doldurulması gerekir. Deliklerin ve oyukların doldurulması veya kaynakla kapatılması şarttır (ASM Handbook, Vol 13, 1992).

Uygulanacak temizlik yönteminin seçimi,

- temizliğin yapılacağı çelik yüzeyin konumu ve ulaşılabilirliği (mesela yüksek bir baca mı, yoksa yerdeki bir plaka mı),
- temizliğin yapılacağı yerin açıkta veya kapalı bir alanda bulunması,
- korozyonun hangi sınıf korozyon olduğu (A sınıfı $\Leftrightarrow$ D sınıfı),
- işin bütçesi,
- çevre koşulları (yangın tehlikesi olan bölgelerde en uygulanamayacak yöntem alevle dağlamadır),
- uygulanacak boyanın gerektirdiği minimum temizlik kriteri (çinkoca zengin astarlar minimum Sa 2 ½ sınıfı temizlik ister) (Not: Bazen yapılması mümkün olan yüzey hazırlık yöntemine göre boya sistemi seçilir!),
- temizlik için gerekli ekipmanın yeterliliği (mekanik temizlik için sadece bir taş motoru yeterli olabilir, ancak kumlama için kompresör, vs gibi pek çok ekipman gerekir),
- temizlik işini yapacak olan ekibin eğitim yeterliliği,
- hava koşulları,

gibi pek çok kriterle bağlı olsa da, yüzey hazırlığı tüm kaplamanın temelini oluşturduğundan, söz konusu kriterler gerekli yüzey hazırlığına uygun hale getirilmelidir. Bütün bu kriterler göz önüne alındığında, en çok kullanılan yöntemler, mekanik temizlik ve üfleli temizlik yöntemlerinden kumlama ve püskürtme yöntemidir. Büyük alanlar püskürtme yöntemiyle, kaynak yapılmış alanlar ise mekanik olarak temizlenir. Büyük alanların mekanik olarak temizlenmesi, özellikle büyük projelerde verimli değildir. Bu tip yerlerde şartları püskürtme yöntemine uydurmak şarttır.

2.7.3 Boyanın Uygulanışı

Boyanın tipine göre uygulamada yöntemi de değişir. Düşük viskoziteli boyalar fırça, yüksek viskoziteli boyalar ise tabanca ile uygulanabilir. Fırça, rulo ile uygulama ve püskürtme olmak üzere üç temel boya uygulama yöntemi vardır.

Fırça ile uygulama

En basit boya uygulama yöntemidir. Özellikle astarların yüzeydeki küçük delikçiklere dahi nüfuz edebilmesini sağlar. Küçük işlerde ve ulaşılması güç şekillere sahip parçaların boyanmasında tercih edilir.

Ancak uygulama hızı çok yavaştır. Ayrıca homojen bir film kalınlığı elde etmek zordur.



Şekil 2.32. Fırça

Rulo ile uygulama



Şekil 2.33. Rulo

Rulolar, spreyle elde edilebilecek düzgünlüğün ve film kalınlığının homojenliğinin gerekmediği büyük ve düz yüzeylerin kaplanmasında tercih edilir. Püskürtme yöntemi ile uygulama yapılacaksa, boyanın bulaşmasının istenmediği bölgeler çok iyi maskelenmelidir. Püskürtme uygulaması sırasında boya partikülleri istenmeyen bölgelere konarak buraların lekelenmesine sebep olabilirler. Bu tip yerlerde, uygulama sürati fırça uygulamasına göre daha fazla olan rulo uygulaması tercih edilebilir. Rulo yöntemi kompleks şekilli parçaların boyanmasına uygun değildir. Ayrıca, uygulama sırasında boya filminin içine hava kabarcıklarının karışmasına da sebep olabilir. Özellikle yüksek performanslı boyalarda bu dezavantajlar problem yaratır. Rulo, başka bir yöntemle astar uygulaması yapılmış yüzeylerin ara veya son kat uygulamalarında tercih edilmelidir.

Püskürtme ile uygulama

İki tip püskürtme uygulaması vardır: Havalı (konvansiyonel) ve havasız (airless) tabanca uygulamaları.



Şekil 2.34. Püskürtme yöntemiyle uygulama

Havalı tabanca: Basınçlı hava, tabancanın ucundaki nozül veya memede boya ile karışıp, boyayı atomize ederek, boyanın yüzeye konduğunda homojen bir film tabakası oluşturmasını sağlar. Bu işlem sırasında boyanın içine büyük miktarda hava karışır ve yüzeyden geri tepmeye veya fazla püskürtmeye sebebiyet verebilir. Dolayısıyla %30 – 40 arası fazladan boya sarfiyatı olabilir. Ancak tabancanın atış şeklinin neredeyse sonsuz ayarlanabilirliği sayesinde, boyanın atomizasyonu ayarlanabilir ve yüzeye istenilen homojenlikte ve şekilde boya atılması sağlanabilir. Konvansiyonel yöntem ile havasız tabancalara göre daha düzgün bir yüzey kalitesi elde edilir ve tabancanın kontrolü daha kolaydır. Havalı sistemin, havasız sisteme göre dezavantajları, daha yavaş olması, sarfiyatın fazla ve köşe, kenar, çatlak gibi ayrıntıların daha zor kaplanır olmasıdır.

Havalı tabanca makinesinin temel parçaları, hava kompresörü, yağ ve nem tutucu, boya haznesi, bağlantı hortumları ve sprej tabancasıdır.

Hava kompresörleri, makinenin enerji kaynağıdır. Orta viskozitede bir boyayı atabilmek için, 276 – 414 kPa basınç kuvvetiyle çalışan kompresörlerle 0,25 m³/dak debi sağlanır.

Boyanın kalitesinin bozulmasını engellemek için, kompresör ile boya haznesi arasına bir yağ ve nem tutucu takılmalıdır. Boyanın içine kompresörden yağın ve nemin karışmamasını sağlar.

Boya haznelerinin içinde genelde 19 – 38 lt boya bulunur. Boyanın tabancaya ulaşan miktarını ayarlamak için, haznede bir adet sıvı basıncı regülâtörü bulunur.

Konvansiyonel tabancalarda iki tip besleme hortumu vardır: Hava ve sıvı hortumu. Kompresörden boya haznesine hava sağlayan hava hortumlarının iç çapı en az 12,7 mm, hazneden tabancaya ulaşan hava hortumlarının iç çapları ise 6,4 – 7,9 mm arasında olmalıdır. Sıvı hortumları solvente dayanıklı olmalıdır. Boyanın hazneden tabancaya ulaşmasını sağlar. 7,9 – 9,5 mm iç çapa sahip hortumlar orta viskozitedeki boyaların atımı için yeterlidir. Söz konusu hortumlar mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. Aksi takdirde, hortum içinde katılaşmış boya taneciklerinin kalmasına neden olabilir.

Püskürtme tabancası, boyayı hava ile karıştırarak atomize eder. Tabancaya gelen havanın ve boyanın miktarı ayarlanarak, yüzeye atılacak boyanın film kalınlığı ve boyanın yüzeyde alması istenen yüzey şekli ayarlanabilir. Boyanın atıldığı memenin veya iğnenin boyutunu değiştirmekle de, tabancadan atılan boya miktarı ayarlanabilir. Eğer fazla miktarda boya atılıyorsa, tabancadaki ayar düğmesi ile oynanarak veya daha küçük bir meme / iğne takılarak, sarfiyat düşürülebilir.

Havasız tabanca: Daha hızlı film oluşumunu, yüzeydeki bozukluklara boyanın daha iyi ulaşmasını ve daha hızlı bir kaplamayı sağlar. Yüksek bir sıvı basıncı ile tabancanın ucundaki memeden boya küçük parçacıklar halinde çıkar. Yüksek sıvı basıncı sayesinde boya, havalı tabancaya göre daha hızlı ve daha kalın film halinde uygulama yapılabilir. Havasız tabanca ile boya boşluklara çok az bir yüzeyden geri tepme ile işler. Havasız tabanca ile uygulama yaparken, iyi bir yüzey kalitesi için çok iyi bir uygulama tekniğine sahip bir işçilik kuvveti önemlidir. Aksi takdirde kaplama kalınlığında heterojenlik ve bozukluklar oluşabilir.

Havasız tabancalarla havalılara göre daha kalın boya filmi elde edilebilir. Boyanın tozması veya yüzeyden tepmesi daha azdır. Tek bir hortum olduğu için kullanımı daha kolaydır. Yüksek viskoziteli boyalar da uygulanabilir. Makinenin temizliği daha kolaydır. Ancak havasız tabancalar çok yüksek basınçlarla çalışır. Bu da emniyet açısından problem yaratabilir. Sprey şeklini ayarlamak mümkün değildir. Çalışan çok fazla parça vardır. Daha pahalıdır. En önemlisi de daha nitelikli işçiliğe gereksinim vardır. Örneğin, gereğinden fazla boya atılırsa, film gereğinden fazla kalın olur ve boya filmi içinde, ileride iğne delikçikleri, buruşma, sarkma gibi problemler yaratacak olan solvent hapsolmesi oluşur.

Havasız tabancalar, enerji kaynağı, hortumlar, yüksek sıvı basıncı pompası, boya filtresi, sıvı hortumu ve tabancadan oluşur.

115 V'luk bir elektrikli enerji kaynağı hava kompresörü yerine kullanılabilir.

12,7 mm iç çaplı bir hortum ile hava kompresörden pompaya iletilir. 15 m'lik hortum kullanımı yaygındır. Daha uzun hortum kullanıldığı zaman veya kompresörün gücü arttırıldığında, hortumun çapı da arttırılmalıdır. Sıvıyı ileten, solventlere dayanıklı bir malzemeden üretilmiş olan 12,7 – 19,0 mm iç çapında bir sıvı hortumu da kullanılır. Sıvı hortumunun kullanılması şart değildir. Bazen boya direkt olarak pompaya da verilebilir. Ancak hortum kullanılırsa muhakkak bir filtre ile kullanılmalıdır.

Yüksek basınçlı hava pompası makinenin en önemli parçasıdır. Kompresörden gelen basıncı 30 hatta 45 kat arttırarak boyanın tabancaya iletilmesini sağlamaktadır. Söz konusu basınç 31 MPa'ya kadar çıkabilir. Ayrıca pompaların debisi 0,8 l/dak ile 11,4 l/dak arası değişir. Yüksek debili pompalara aynı anda üç veya dört tabanca takılabilir. Pompanın sıvı çıkışına, parçacıkları tutmasını sağlayacak bir boya filtresi takılmalıdır.

Sıvı hortumu 2040 kg'lık bir basınca ve solventlere dayanıklı olmalıdır. Aynı zamanda statik elektrik oluşumunu engellemek için hortumlar topraklanır. İç çapları 6,4 – 12,7 mm, uzunlukları da 15 – 30 m arası değişir.

Havalı tabancalardaki benzer bir tabanca kullanılır, ancak sadece sıvı besleme hortumu vardır. Tabancanın ucuna sıvı basınçla iletildiği zaman boya atomize olur. Tabancanın üzerinde, boyanın atış hızını ve şeklini belirleyecek ayarlar yoktur. Tabancanın deliği, ucu, memesi değiştirilerek gereken ayarlamalar yapılabilir.

2.7.4 Boya Uygulamasında Kalite Kontrol

Gerekli bir takım önlemlere yeterince önem verilmezse, uygulamadan sonra boyada bir takım hatalar görülür. Boyanın gelişi güzel atılmasından dolayı oluşan düzensiz film kalınlığı; yaş boya üzerine atılan ikinci kat boyanın alttaki boya ile uyumsuz olmasından dolayı yaşanan kuma problemi; ikinci kat boyanın solventinin alttaki boyayı çözmesi; gereğinden fazla solvent katılmasından dolayı boyanın akma ve torbalama yapması; yanlış solvent kullanılmasından dolayı boyanın bozulması; yine yanlış solvent kullanılmasından veya olması gerekenden kalın atılan boyanın filminin altında solventin hapis olmasından dolayı oluşan, boyacı dilinde “kaynama” olarak tabir edilen, iğne ucu boyutunda ufak delikçiklerin oluşması gibi problemler en yaygın olanlarıdır.

TS EN ISO 12944 – 7 standardı, boyanın uygulanması ve uygulamanın denetlenmesi üzerinedir. Şimdiye kadar boya seçiminden yüzey hazırlığına ve uygulama yöntemine kadar bütün konuların nasıl yapılması gerektiği anlatıldı. Tüm bu konular kadar, yapılan tüm uygulamaların, boyama sırasında ve sonrasında kontrolü de önemlidir. Kaplama kontrolörlüğü, teorik ve pratik tecrübe gerektirir. İş başlamadan önce, dikkat edilmesi gereken hususlar ve işin kuralları çok detaylı ve açık bir şekilde kontrolör tarafından ilgililere aktarılmalıdır. İş başladıktan sonra da kontrolör, aşağıdaki maddeleri izler, kontrol eder ve belgeler:

- Yüzey hazırlığı öncesi yüzey kontrolü.
Hazırlık ve uygulama işlemlerinden önce, yüzeydeki yağ, toz, kir ve diğer safsızlıkların uzaklaştırılması gerekir. Yüzeydeki bir takım çıkıntılar temizlikten önce uzaklaştırılmalıdır. Kaynak çapakları temizlenmeli, oyuklar kontrol edilmeli, gerekirse kaynakla doldurulmalıdır.
- Dış şartların kontrolü.

Özellikle yoğuşmanın yoğun olduğu sabah saatlerinde veya mevsim dönüşümlerinin yaşandığı zamanlarda, uygulama yapılmamalıdır. Yüzeyde film halinde ince bir nem tabakası oluşursa, kaplama sağlıklı olmaz. Bu, çiğ noktasının kontrolü veya yüzey sıcaklığının kontrolüyle fark edilebilir. Çiğ noktası, bir higrometreden alınan değerler ile uygun bağıl nem çizelgesinin karşılaştırması ile bulunur (TS EN ISO 8502 – 4, 2001).

- Kompresör havasının ve yüzey hazırlığı ekipmanının temizliği.

Kompresörden çıkan havanın önüne birkaç dakika bir bez tutulur. Bezde kirlenme veya bir koku varsa, kompresörden çıkan hava temiz değildir.

- Gerekli yüzey temizliği derecesinin ve yüzey profilinin belirlenmesi.

Bu adımdan herhangi bir ödün, tüm yapılan işin tamamen gözden çıkartılmasına sebep olabilir. Yüzey temizliği, daha önceden de bahsedildiği gibi, görsel olarak kontrol edilebilir. Yüzey profili ise, bilinen bir profil ile görsel ve temassal olarak karşılaştıran yüzey komparatörüyle; profil hatları üzerine bastırılan bandın üzerindeki tepe ve çukur noktaları arasındaki mesafeyi ölçen bir mikrometre ile; veya iğnesi profil çukuruna, tabanı profil tepesine temas eden bir yüzey profili ölçer ile ölçülebilir (TS EN ISO 8503 – 1, 2000).



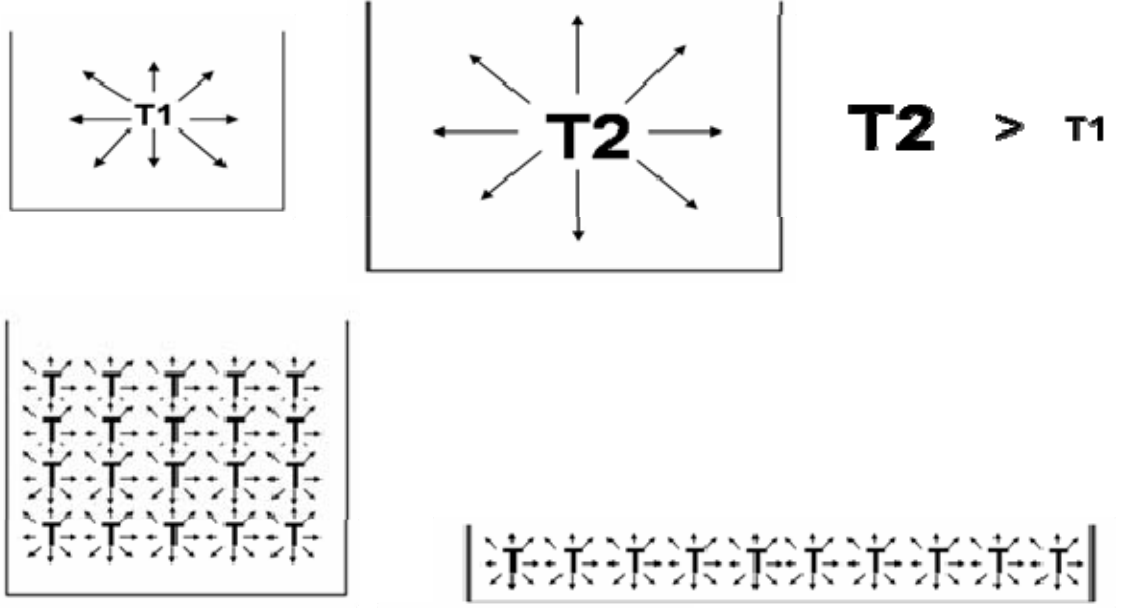
Şekil 2.35.
Komparatör

Boya karışımının ve inceltme işleminin izlenmesi.

Özellikle iki bileşenli epoksi ve poliüretan boyalarda rastlanan problem, A ve B bileşenlerinin birbirleriyle iyi karıştırılmamasıdır. A ve B bileşenleri birbiriyle homojen olarak karıştırılarak reaksiyona sokulur. Reaksiyon sonucu C maddesi oluşur. Ancak homojen yapılmayan karışımlarda, reaksiyona girmemiş bileşenler kalır. Bunun sonucunda boya hiçbir zaman kürlenmez ve korozyondan koruyucu etkisini gösteremez.

Karışımın yapılmasından sonra, epoksi ve poliüretan gibi iki bileşenli boyalarda pota ömrü, pot life veya en yaygın haliyle karışım ömrü dediğimiz kavrama da dikkat edilmesi gerekir. Karışım ömrü, farklı bileşenler halinde tedarik edilen kaplama malzemesinin birbiriyle karıştırıldıktan sonra kullanılabileceği en uzun süredir. Bir başka deyişle, karışım yaptıktan sonra geri dönüşümsüz ekzotermik reaksiyon başlar. Reaksiyon belli bir aşamaya geldiğinde, karışımın viskozitesi artarak, malzemenin artık tüketilmesinin sağlıklı olacağı, malzemenin jelleştiği noktaya ulaşılır. Karışım ömrünü etkileyen unsurların başında sıcaklık gelir. Malzemenin ve ortamın sıcaklığı yüksekse, ekzotermik reaksiyona dışarıdan ısı enerjisi verilmiş olur ve reaksiyon hızlanır. Tam tersine sıcaklık düşerse, reaksiyon yavaşlar.

Yapılan karışımın miktarı da önemlidir. Fazla miktarda karışım yapılırsa, reaksiyona giren malzeme miktarı fazla olduğundan, reaksiyon yine daha hızlı olur. Karışım miktarı aynı fakat karışımın yapıldığı kap daha yayvansa, bu sefer de malzemeden atmosfere ısı geçişi daha kolay olur ve reaksiyon yine yavaşlar. Üretici firmalar malzemelerin teknik bültenlerinde karışım ömrünü genelde 20 – 25 °C’de 100 – 500 gr’lık karışımlar için verirler. Pratikte yapılan karışım miktarı ve ortam sıcaklığı genelde farklı olduğu için, yukarıdaki bilgiler göz önüne alınmalıdır.



Şekil 2.36. Pot Life

Karışım ömrünü etkileyen bir başka unsur da, karışımı yapılan sistemin reçine özelliğidir. Epoksiden örnek vermek gerekirse, epoksi sistemlerin özelliklerini sertleştirici bileşeni belirler. Aynı epoksi reçine ile farklı iki sertleştirici kombine edilirse, aynı şartlarda biri 5 dakikada, diğeri 5 saatte karışım ömrüne ulaşabilir.

Ayrıca depolama sırasında boyalarda, bazı dolguların çökmesi gözlemlenebilir. Karıştırarak veya incelterek boyadaki çökmüş dolguların reçine içinde tekrar homojen olarak dağılması sağlanabilir. Karıştırarak veya incelterek çökmenin önüne geçilemiyorsa, boya kullanılmamalıdır. Söz konusu boyanın raf ömrü geçmiş demektir. Raf ömrü, orijinal sızdırmaz ambalajları içinde ve normal depolama şartları altında muhafaza edilen kaplama malzemesinin özelliklerini kaybetmeden beklenebilecek en uzun süredir (TS EN ISO 12944 – 5, 2002). Üretici firmalar, boya kutularının üzerine üretim tarihini ve raf ömrünü yazmalıdır.

İnceltme işlemi her zaman üretici firmanın tavsiye ettiği tiner ile yine üretici firmanın tavsiye ettiği oranlarda yapılmalıdır. Yanlış tiner kullanılırsa, boyanın yapısı bozulabilir. Gereğinden fazla tiner katılırsa, istenilen kuru film kalınlığı elde edilemeyebilir, boyada akmalar gözlemlenir.

- Uygulama donanımının kontrolü.

Önceki uygulamadan sonra donanım temizliği yapılmamışsa, bu bir sonraki uygulamanın kalitesini de etkiler. Ekipman üzerindeki boya her zaman yaşken veya tam kürlenmemişken daha kolay temizlenir. Ancak bu işlem ihmal edilirse, temizlik çok zorlaşır, hatta bazen donanım kullanılamaz hale gelir. Bu da hem maddi kayba hem de zaman kaybına yol açar. Özellikle tabancaların parçalarında kuru boya parçaları kalmışsa, tıkanıklığa yol açabilir, çeşitli parçaları bozulabilir.

- Islak film kalınlığı kontrolü.

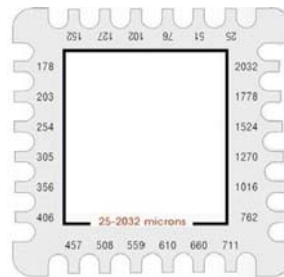
Gerekli olan kuru filmi elde edebilmek için ne kadar ıslak film tabakası gerektiğini bilmek gereklidir. Hacimce %100 katı madde oranına sahip boyalarda ıslak film kalınlığı ile kuru film kalınlığı aynıdır. Solventli boyalarda kuru film kalınlığı 2.7 ve 2.8 numaralı denklemler ile hesaplanır:

$$\text{Islak Film Kalınlığı} = \frac{\text{Arzu Edilen Kuru Film Kalınlığı}}{\text{Hacimsel \% Katı Madde Oranı}} \quad (2.7)$$

Eğer boyanın içine solvent katılmışsa:

$$\text{Islak Film Kalınlığı} = \frac{\text{Arzu Edilen Kuru Film Kalınlığı}}{(\text{Hacimsel \% Katı Madde Oranı} / (100\% + \% \text{ ilave edilen tiner}))} \quad (2.8)$$

Ölçüm, resimdeki gibi bir ıslak film tarağıyla yapılabilir. Bu taraklar genelde alüminyum, plastik veya paslanmaz çelikten olurlar. Her halükarda, alet boya veya solventten etkilenmemelidir. Tarağın tüm yüzeylerinde kalibre edilmiş çeşitli



Şekil 2.37 Islak film kalınlığı ölçümü

ölçüm kalınlıklarına uygun dişler vardır. Bu dişler, ölçümün yapılması gereken yüzeye yerleştirilir. Islak film kalınlığı, ıslanmış en yüksek diş ile ıslanmamış en düşük diş arasındadır. Bu aletlerle yapılan ölçümler kesin sonuç vermezler ancak son derece pratiklerdir ve daha hassas ölçüm yapabilen cihazların kullanımının zor olduğu zorlu yüzeylerde dahi kullanılabilirler. Ayrıca ucuzdurlar, her uygulayıcının cebinde bir tane bulunur. Hızlı kürlenene boyalarda ölçüm çabuk yapılmalıdır. Diğer boyalarda da ölçüm, boya kürlenmeden yapılmalıdır.

- Kuru film kalınlığı kontrolü (TS 4772 ISO 2808, 1999).

Kuru film kalınlığı, kaplama kuruyup sertleştikten sonra yüzeyde kalan kaplama kalınlığıdır (TS EN ISO 12944 – 5, 2002). Manyetik olmayan kaplamalarda ölçümler genelde manyetik olarak yapılır. Manyetik kalınlık ölçme cihazı, kaplamanın altındaki çelik yüzeye manyetik olarak yapışır ve çelik yüzey ile kaplama arasındaki kalınlığı tespit eder.



Şekil 2.38 Kuru film kalınlığı ölçümü

Elektrik akımı vererek de benzer bir şekilde kaplama kalınlığı ölçülür. Kaplamayı tahrip eden, ancak beton, ahşap veya metal yüzeye uygulanmış astar, ara kat ve son katın her birinin kuru film kalınlığını ayrı ayrı da ölçebilen yöntemler vardır. Bunlar, kaplamadan bir parça alarak mikroskop altında inceleme yöntemi veya “V” şekliden bir yarık oluşturarak, oluşan yarık genişliğinden bilinen V açısı yardımıyla kaplama kalınlığını bulmaktır.

- Katlar arası uygulama öncesi temizliğin kontrolü.

Birkaç kattan oluşan bir kaplama yapıldığı zaman, katlar arasında belli bir süre beklenir. Bu sırada kaplanacak katın üzerinde kesinlikle yağ, kir, toz veya herhangi bir safsızlık birikimi olmamalıdır. Aksi takdirde yapışma bu birikmelerin üzerine olur ve kalkmalar görülür.

Birkaç kattan oluşan kaplamaların uygulanmasında dikkat edilecek bir başka husus da, katlar arası kaplama süresini geçirmemektir. Aynı tip boya sisteminden (mesela epoksi) oluşan katlar, 23 oC’de en fazla 48 saat içinde uygulanırlarsa, katlar arasında kimyasal bir kenetlenme olur; tüm katlar tek bir kat halinde kürlenir. Sürenin aşılması durumunda, alttaki katın önce zımparalanması gerekir. Ancak bu şekilde yapılan kaplamalarda, katlar arasında sadece fiziksel bir kenetlenme söz konusu olur.

- Delikçikler veya süreksizlik gibi arazların oluşup oluşmadığını kontrol etmek.

Boya filmi külendikten sonra, filmde oluşan delikçikler veya süreksizlikler tespit edilmelidir. Bu tip yerler, korozyona hassas bölgelerdir ve kaplamanın tamamını tehdit

eder. Düşük veya yüksek voltajlı ölçüm aletleri ile söz konusu hatalar tespit edilebilir. Bir detektör yüzeyde gezdirilir, hatalı bölge bulunduğu anda alet uyarıcı bir ses çıkararak kontrolörü uyarır.

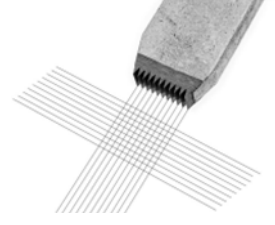
- Yapışma kontrolü.

Boyanın yüzeye ne kadar iyi yapıştığını test etmek için kullanılan en yaygın yöntem, “cross cut” adlı yöntemdir (TS 4313 EN ISO 2409, 1999). Kaplama üzerine bir “X” şeklinde ve özel bir kesici



Şekil 2.40.
Pull Off

aletle kareler veya elmaslar şeklinde çizikler oluşturulur. Daha sonra yine özel bir bant bu kesğin üzerine yapıştırılır ve dik olarak yüzeyden koparıncasına çekilir.



Şekil 2.39.
Cross Cut

Bant üzerinde kalan boya parçacıkları boyanın yapışma kalitesini belirler. Bu testler, kuru film kalınlığı 250 mikrometre’nin altındaki

kaplamalar için geçerlidir. Kaplama kalınlığı 250 mikrometre’nin üzerindeyse, “pull off” yöntemi kullanılmalıdır (TS EN ISO 4624, 2006). Bu yöntemde göre kaplama yüzeyine metal, silindirik bir parça yapıştırılır. Daha sonra silindirin çevresi çizilir. Makine yardımıyla yüzeyden parça çekilmeye çalışılır. Kopma anındaki çekme kuvveti boyanın yapışma kuvvetini verir. Silindirik parçayı boyalı yüzeye yapıştırmada kullanılan malzeme, teste uygun özellikte seçilmelidir.

- Kürlenme kontrolü.

Kaplamaların kürlenme süresi, yüzey sıcaklığı, hava şartları, kaplama formülasyonu ve film kalınlığı gibi değişkenlere göre farklılık gösterir. Boyanın tam olarak kürlendiğini anlamak için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan ilki, bir bezin MEK gibi kuvvetli bir solvent ile ıslatılıp, boyanmış yüzeye sürülmesidir. Beze boya bulaşmışsa, ya karışım doğru yapılmamıştır ya da boya henüz kürlenmemiştir. Alkit, vinil gibi bazı tip boyalarda bu solvent testi uygulanmamalıdır. Bir başka yöntem ise yüzeyi zımparalamaktır. Eğer boya yüzeyi zımparalandığında tozuyorsa eğer, boya kürlenmiştir. Zımparaya boya bulaşıyorsa, kürlenme tamamlanmamıştır. Kurşun kalem sertliği veya ucunda iğne olan yaylı bir sistemle yüzeye bu iğneyi batırarak yüzey sertliğini ölçen aletlerle de kürlenme kontrol edilebilir. Ölçülen sertlik, spekt değerlerine ulaşmışsa, boya kürlenmiştir.

2.7.5 Boya Performans Testleri

Boyanın uygulanacağı alandaki korozyon hızını ve mekanizmasını ve uygulanacak boyanın ömrünü belirleyerek, yapının korozyondan koruyacak en ekonomik boya sistemi saptanır.

Literatürde, performans testleri ile ilgili pek çok kaynak bulunmaktadır. Bu kaynakların hemen hemen hepsi, numunelerini çeşitli süreler için saha testine maruz bırakmış, aynı anda doğada yaşanabilecek etkileri çeşitli laboratuvar testleri ile yaşatmaya çalışmışlardır. Daha sonra saha testleri ile laboratuvar testleri arasında bir korelasyon kurmaya çalışmışlardır.

Almeida, Santos ve Uruchurtu (2005), yapısal çeliklerin kaplanmasında kullanılan su bazlı boyaların korozyon performansını inceledikleri çalışmalarında, 8 farklı sistemi birbirleriyle karşılaştırırken, numuneleri 1000 saat boyunca ISO 7253'e uygun bir şekilde tuz testine ve ISO 8565'e uygun bir şekilde 2 farklı bölgede, birinde 24 ay diğerinde 30 ay olmak üzere saha testine maruz bırakmışlardır. Yine iki test arasında korelasyon kurabilmişlerdir. Santos (2005), son katı poliüretan bazlı olan boya sistemlerinin yüksek korozif atmosferde performansını ölçtükleri deneylerinde, 18 aylık bir saha testi yapmışlardır. Aynı anda ISO 12944 – 6'ya göre rutubet ve nötral tuz püskürtmesine (sisine) dayanıklılık testi ve ASTM G 154'e uygun olarak da su kondensasyonlu UV dayanım testi yapmışlardır. Rutubet testi için 240, 480 ve 720 saat; tuz testi için 480, 720 ve 1440 saat, UV testi için de 30 gün deneme yapmışlardır. Tuz testi ile saha testi sonuçları paralel çıktığı için aralarında korelasyon kurulabilmiştir. UV testinin sonucunda, tebeşirlenme kıstasında saha testi ile iyi bir korelasyon kurulmuş, ancak parlaklık kaybı konusunda sonuçlar tam örtüşmemiştir. Ancak UV dayanımı konusunda poliüretan esaslı son kat boyanın faydası kanıtlanmıştır. Katayama vd. (2005), karbon çeliklerin atmosferik çevrelerde korozyon simülasyonu yaparak hazırladıkları incelemede, her ne kadar çelik plakalar üzerine herhangi bir kaplama uygulanmamışsa da, atmosferdeki tüm etkenlerin, değişkenlikleriyle birlikte laboratuvarda taklit edilemediği sürece, saha ve laboratuvar sonuçlarının birebir örtüşmesinin imkansız olduğu neticesine vardıklarından dolayı, bu tez çalışması için önem arz eder. Morales vd.'nin yapmış olduğu çalışma da bu sonucu destekler konumdadır. Atmosferik korozyonu etkileyen en önemli unsurlardan olan, bölgedeki hakim rüzgar yönü, ortamdaki SO₂ ve Cl miktarı ve bu miktardaki değişkenlik, korozyona maruz kalan numunelerin ıslak kalma ve güneş altında kalma süreleri gibi etkenlerin ve bu etkenlerin her sene değişkenlik gösterebilmelerinin, ISO 9223'de tarif edilen tuz püskürtme testinde hesaba katılmamasından dolayı, saha testini tam olarak canlandıramamaktadır. Ayrıca laboratuvar testlerine standart boyutlarda numuneler

kullanılırken, pratikte konstrüksiyonların kompleks dizaynından kaynaklanan korozyonu artırıcı bir takım etkenler de vardır. Bunlar laboratuvar testlerinde hesaba katılmamaktadır. Lane'in (1991) boyaların saha testi ile değerlendirmesini yaptığı çalışma da aynı tezi desteklemektedir. Dünyanın çeşitli yerlerindeki iklim farklılıkları, atmosferik korozyonu doğrudan etkilediği gibi, aynı bölgede iki kış arka arkaya da aynı atmosferik koşulların yaşanmasının beklenemeyeceği, bir senenin korozyon ilerleme hızı ile diğer senenin korozyon ilerleme hızının eşit olamayacağını belirtmiştir.

Sonuç olarak, tüm kaynaklar, boyayı, özellikle uygulanacağı sahanın şartlarında denenin önemi konusunda birleşmişlerdir. Ancak bu deneme yıllarla ölçülecek uzun zaman aralıkları gerektirir. Çünkü, denemenin yapıldığı zaman diliminde, mümkün olduğunca fazla iklim ve çevre koşulu yaşanmalıdır. Böylece normal koşullardan farklı seyreden durumlar da deney sırasında örneklenebilmiş olabilir. Fakat bu sırada boyanması ve korozyondan korunması gereken çelik yapılar vardır ve bu yapılar söz konusu saha testlerinin sonucunu bekleyemez.

Bu gibi durumlarda tuz testi, SO₂ ve UV gibi yapay yaşlandırma testlerine başvurulmuştur. Laboratuvar şartlarında maalesef tüm gerçek ortam faktörlerinin hızlandırılması mümkün değildir. Her ne kadar suni yaşlandırma testleri normal çevre şartlarına maruz bırakılan numunelerdeki etkiyi birebir gösteremese de, verdikleri sonuçlar dikkate almaya değerdir.

Bu sebeplerle hem saha testlerinin hem de laboratuvar testlerinin aynı anda yapılmasında fayda vardır. Bu sayede yeni suni testler de geliştirilip, saha testlerine mümkün olan en yakın sonuçlar elde edilmeye çalışılır.

2.7.5.1 Saha Testi

TS EN ISO 12944 – 6 ve TS EN ISO 8565 standartları saha testlerinin nasıl yapılması gerektiğini tarif eder:

- Numunenin boyutu 150 mm x 100 mm x 3 mm olmalıdır.
- Her deneyden en az 3 numune hazırlanmalıdır. Önceki bölümlerde, yüzey hazırlığından, boya uygulamasına kadar pek çok unsurdan bahsedildi. Tüm bu unsurlar sisteme bir bilinmeyen, bir değişken katar. Bu değişkenleri indirmek, çıkan sonuçların tekrarlanabilirliğini arttırmak için mümkün olduğunca fazla numune kullanmakta fayda vardır. Projenin maliyeti, deney için sahip olunan alan gibi bir takım limitler, numune sayısını sınırlar.

- “Boya panel üzerine tercihan püskürtülerek uygulanır. Uygulamada boya imalatçısı tarafından verilen talimatlara uyulmalıdır. Her bir kaplama homojen kalınlıkta ve görüntüde olmalı, akmalara, sarkmalar, boyanmadan kalmış bölgeler, iğne delikleri gibi açıklıklar, katlanmalar, parlaklık değişimi, boya içine parçacık karışması, fazla püskürtülmüş bölgeler ve boya tabakası içinde kalmış kabarcıklar olmamalıdır. TS 4772 ISO 2802’e göre ölçülen kuru film kalınlığı belirtilen değeri % 20 den daha fazla aşmamalıdır.”
- Deney panellerinde çizik oluşturulabilir. Çizikli bölgede hızlandırılmış korozyon gözlemlenir. Tekrarlanabilir sonuçlar elde edebilmek için çizme makinesi kullanılır. Bu makine ISO 2409’da tarif edilmiştir. Çizik, yatay, düşey veya köşegen olabilir. En az 50 mm uzunluğunda ve herhangi bir kenardan en az 20 mm uzakta olmalıdır. Bu çizikin korozyonunu değerlendirebilmek için aşağıdaki denklemden faydalanılır:

$$M = \frac{C - W}{2} \quad (2.9)$$

C = Püskürtme deneyinden sonraki maksimum genişlik (mm)

W = Püskürtmeden önceki ortalama genişlik (mm)

M = Başlangıç ve deneyden sonraki çizik genişliği farkı (mm)

Yukarıda bahsedilen çalışmaların her ikisi de, saha deneylerinde de bu kurallara uygun çizik açmışlar ve korozyonu değerlendirmişlerdir (Elisabete ve Almeida, 2005; Santos vd., 2005)

- Şahit numune oluşturulmalı ve bu numuneler deney boyunca TS EN ISO 4543’e uygun olarak saklanmalıdır. Deney numuneleri, raf gibi depolama odasının özel yerlerinde bulundurulmalıdır. Deney numunesinin bozulmasından sakınmak için etkiye maruz bırakılacak tarafının, çevre şartlarından koruyacak şekilde ayrılması önerilir. Deney numunelerinin yerleşim yerleri, yerel ısı kaynaklarından, hava akımından, dolaşım fanından vb. etkilenmemelidir.
- Boya seçiminde TS EN ISO 12944 – 2 Çizelge 1’e göre korozyon ortamı belirlenir ve TS EN ISO 12944 – 5 Çizelge A’ya göre de belirlenen korozyon ortamına uygun boya sistemine karar verilir.
- Deneyler için uygun süre 1, 2, 5, 10 veya 20 yıldır. Numune üzerinde oluşan korozyon filmi, korozyonun ilerleme hızını düşürür. Ancak herhangi bir etkenden dolayı filmin

bozulması, korozyonu yeniden hızlandırır. Bu etkenler, asit yağmurları, bölgedeki klorür iyonları veya fosil yakıtların yanmasından dolayı oluşan SO_x veya NO_x gibi gazların mevcudiyeti olabilir. Söz konusu etkenlerin mümkün olduğunca fazla örneklenebileceği test süresinin seçilmesi, elde edilen sonuçların gerçeğe en yakın olması için faydalıdır. Süre derken yıllardan bahsedildiği için, burada proje maliyeti dikkate alınmalıdır.

- Numuneler taşıma sırasında zarar görmemelidir.
- Numunelerin üzerine konduğu düzenek, vernikli ahşap gibi numunelerle etkileşmeyecek bir malzemeden seçilmelidir.
- Numuneler, yataya göre 30 veya 45 derecelik açı yapacak şekilde yerleştirilmelidir. Özel deneylerde açı değişebilir.
- Düzenek yerleştirilirken önünde ağaç, duvar gibi bir engelin olmamasına dikkat edilmeli. Düzenek yüksekliği, numunelerin kar yığının veya su birikintisinin altında kalmayacağı şekilde, yerden en az 0,75 m yüksekte olması gereklidir.
- Düzenek yönü Kuzey Yarım Küre’de genelde güneydir. Ancak deniz veya okyanus gibi bir korozyon kaynağı varsa, bu dikkate alınmalı. Numunelerin yönü denize veya okyanusa çevrilebilir.
- Deney bölgesinin atmosferik korozyonun şartlarını belirleyen çevresel faktörler, TS EN ISO 8565 Ek A’ya uygun bir şekilde belirlenmelidir.
- Düzenek bulunduğu bölgelere periyodik olarak gidilerek numunelerin durumu kontrol edilmeli.
- Numuneler, deneyden önce, deneyden sonra çıkmayacağı şekilde arkasından işaretlenmelidir.

Numunelerin arka ve yan yüzleri de korozyona karşı korumaya alınmalıdır.

- Deney raporu, TS EN ISO 12944 – 6 bölüm 7’ye uygun olarak hazırlanır.
- Rapora, hakim rüzgârın hızı ve yönü, ortalama nem ve sıcaklık, düşen yağmur miktarı ve güneş ışınımına maruz kalma süreleri gibi atmosferik değerler de katılmalıdır.

Her bölgede her düzenek üzerine, üzerinde hiçbir kaplama bulunmayan, tartımı önceden alınmış en az bir panel yerleştirilir. Deney bittikten sonra paneller uygun bir asit ile banyo edilerek pas ürünlerinden arındırılır ve yeniden tartılır. Korozyon hızı $\mu\text{m} / \text{yıl}$ olarak 2.6 no’lu denkleme göre hesaplanır.

2.7.5.2 Laboratuvar Testi



Şekil 2.41. Tuz püskürtme kabini

2.7.5.2.1 Tuz Püskürtme Testi

TS ISO 7253 normu, nötral tuz püskürtmesine (sisine) dayanıklılığın tayinini açıklar. Deney sırasında, 50 ± 5 gr / lt'lik bir konsantrasyon elde edecek şekilde, sodyum klorürün suda çözülmesiyle elde edilen deney çözeltisi kullanılır. Korozyona dayanıklı malzemeden üretilmiş ve yeterli hacme (en az $0,4 \text{ m}^3$) sahip kabinde, ayarlanabilir ısıtıcı, püskürtme aleti, püskürtme sıvısı toplama kabı ve deney paneli tutucuları bulunmalı. Deneyde $150 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ boyutunda numuneler kullanılır. Saha testlerindeki gibi seçilen ve uygulanan boya sistemleri üzerinde, yine saha testlerinde açıkladığımız şekilde çizik oluşturulur. Çizikler $0,3 \text{ mm}$ 'den $1,0 \text{ mm}$ 'ye kadar genişleyen bir kesite sahip olmalıdır. Aksi bildirilmediği sürece, numuneler düşey ile $15 - 25$ derece arası açı yapacak şekilde yerleştirilirler. Makine, ilgili standardın 10. maddesine uygun bir şekilde çalıştırılır. Deney için gerekli olan süre, ISO 12944 – 6 normunun 6.2 numaralı maddesinde belirtilmiştir. Deney bittikten sonra numuneler, saha testinde olduğu gibi TS ISO 4628 – 2, 3, 4, 5, 7 standartlarına göre muayene edilir.

2.7.5.2.2 SO₂ Testi

Endüstriyel bölgelerde, nemli hava içindeki kükürt dioksit, metal yüzeyinde gözle görülebilir korozyonun oluşumuna sebep olur. Bunun nedeni, SO₂'nin havadaki rutubet ile birleşerek H₂SO₄ oluşturmaktır. Yaklaşık 300 lt kapasitesi olan bir kabin, kükürt dioksit kaynağı ve haznesi, numunelerin yerleştirilebileceği bir düzenek, kabin içi ısıtıcıları ve kontrol cihazlarından oluşan bir test aleti kullanılır. % 99,9 saflıkta SO₂ gazı kullanılmalıdır. Yaklaşık 2 litre saf su, kabinin tabanına konur. Kabin içinde numuneler birbirlerine ve kabin yüzeylerine belirli uzaklıklarda, neredeyse tamamen dik olacak şekilde yerleştirilirler. Daha sonra gaz kabinin içine verilmeye başlanır. Yaklaşık 1,5 saat içinde kabin içi sıcaklığı 40 °C'ye gelmelidir. Test için iki metot vardır. Birinci metot sürekli metottur ve bir devir 24 saatlik SO₂ atmosferine maruz bırakmadır. İkinci metot ise birbirini izleyen metottur ve burada bir devir içinde önce 8 saat SO₂ atmosferine maruz bırakılır, sonra da 16 saat boyunca numuneler 20 – 30 °C arasında ve % 75 bağıl nemin altında tutulur. Her iki metotta da, her devirden önce kabin içindeki su ve gaz değiştirilmelidir. Devir sayısı kullanıcının seçimine kalmıştır. Bazen test, numuneler üzerinde ilk korozyon ürünleri oluştuğu anda sonuçlandırılır (ASTM G 87 – 02, 2007). Değerlendirmeler, numuneler hava ile kurutulduktan, numunelerin üzerlerinde oluşmuş olan korozyon artıklarının temizlendikten sonra, saha testinde olduğu gibi TS ISO 4628 – 2, 3, 4, 5, 7 standartlarına göre yapılır.

2.7.5.2.3 UV Testi

UV testlerinde, bir flüoresan UV lambası yardımıyla numuneler üzerindeki boyaların UV ışınlarından etkilenişi test edilir. Çeşitli flüoresan UV lambaları vardır. Bazıları gün direkt ışığını (UVA-340), bazıları siyah bir cam arkasından gelen gün ışığını (UVA 351), bazıları da güneş ışınımı dışındaki UV ışınımını (UVB 313) simüle eder. UVB 313, yeryüzündeki UV ışınımından daha kuvvetlidir. Dolayısıyla



Şekil 2.42. UV kabini

UVA lambasına göre etkin sonuç verir. Testin süresi amaca göre değişkenlik gösterir. Otomotiv firmaları bazen 1000 saate kadar süren UV testi şart koşar. Değerlendirme, önceden saklanmış olan şahit numuneler ile teste maruz bırakılmış olan numuneler arasındaki renk ve parlaklık farkının ölçülmesiyle yapılır (ASTM G 154, 2006).

SO₂ testi de UV testi de atmosferik korozyon, biyolojik korozyon gibi korozyon türlerini ölçmez.

2.7.5.3 Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

2.7.5.3.1 Yüzeye yapışma. Uygulanan boyanın yüzeye yapışma kuvveti, numuneler yaşlandırmadan önce ve yaşlandırıldıktan sonra ISO 2409 veya ISO 4624'e göre test edilir. ISO 2409 ve ISO 4624 standartları “Boya Uygulamasında Kalite Kontrol Testleri” bölümünde açıklanmıştır. Bir boya sisteminin korozyondan dolayı uğradığı yüzeye yapışma kuvveti, yaşlandırma testinden önce kayıt edilmiş değerlerin, yaşlandırmadan sonraki değerlerle karşılaştırılmasıyla tespit edilir.

2.7.5.3.2 Yüzey değerlendirmesi. ISO 4628 – 2, 3, 4, 5, 7 ve 8 standartlarına göre boya filmi üzerinde oluşan hatalar değerlendirilir. Değerlendirme sübjektif olarak yapılır ve numaralarla puanlandırılır. En düşük puan “0” bir değişiklik olmadığını, en yüksek puan “5” ise çok keskin bir değişiklik olduğunu belirtir.

ISO 4628 – 2 standardı, boya filminde oluşmuş olan kabarcıklanmayı değerlendirir. Zaman içinde boyanın altında kalmış olan yüzeyde korozyonun oluşmasından dolayı, boya filminin o bölgede kalkmasına kabarcıklanma denir.

ISO 4628 – 3 standardı paslanmayı değerlendirir. Boya filminin zayıf olduğu, hasar gördüğü noktalarda paslanma görülür.

ISO 4628 – 4 boya filminin çatlama derecesini değerlendirir. Boya filmi ile metalin genleşme katsayıları aynı değildir. Boya filminin yeterli esnekliğe sahip olmaması veya dış etkenlerden dolayı boya filminin esnekliğini kaybetmesi sonucu çatlamalar oluşur.

ISO 4628 – 5 boya filmini pullanmasını değerlendirir. Pullanma da kabarcıklanma gibidir ancak nispeten düzgün şekilli baloncuklar şeklinde değil, kanallar halinde oluşur.

ISO 4628 – 7 de boya filminin tebeşirlenmesini değerlendirir. UV dayanımı olmayan boya filmi, zaman içinde bozulur ve kolayca ufalanır. Standart bu ufalanma yöntemini, boya filminin üzerine sürülen nemli bir bezin üzerine bulaşan bozulmuş boya tozu miktarına göre değerlendirir.

ISO 4628 – 8 Standardına göre, boya filmi üzerinde açılmış olan çizgi etrafındaki korozyon ve delaminasyon değerlendirilir. Standart korozyonu, koroziif ürünlerin oluşturduğu alan, delaminasyonu da kaplamanın yapışma özelliğini kaybetmesi olarak tanımlamaktadır. Her ikisini ölçme + hesaplama veya standartta yer alan resimlerle karşılaştırma yöntemleri ile değerlendirmek mümkün. Standart ölçme + hesaplama yöntemini, sübjektif olmamasından dolayı tavsiye etmektedir.

Korozyon veya delaminasyon değerleri ölçülmek istenen numuneler temizlenir ve çizgi etrafında yüzeyden ayrılmış kaplama keskin bir alet veya bir bant yardımıyla uzaklaştırılır. Boyanın yüzeyden ayrılmadığı nokta, korozyon veya delaminasyonun bittiği noktadır.

Korozyon veya delaminasyon eğer düzgün oluşmuşsa, çizginin başı ve sonu hariç diğer bölgelerinde 6 ölçüm alınır ve aritmetik ortalaması bulunur. Bulunan değer korozyon için “ w_c ”, delaminasyon için ise “ d_1 ” olarak tanımlanır.

“ w_c ” veya “ d_1 ” daha sonra Çizelge 2.7’deki denklemlere yerleştirilir ve korozyon veya delaminasyon değeri bulunmuş olur:

Çizelge 2.7 Korozyon ve delaminasyon hesaplamaları (çizgi genişliğine göre) (ISO 4628 – 8, 2005)

KOROZYON	DELAMİNASYON
$c = \frac{w_c - w}{2} \quad [\text{mm}] \quad (2.10)$	$d = \frac{d_1 - w}{2} \quad [\text{mm}] \quad (2.11)$
c: Korozyon değeri	d: Delaminasyon değeri
w_c : Bulunan ortalama korozyon genişliği	d_1 : Bulunan ortalama delaminasyon genişliği
w: Çizginin korozyondan önceki genişliği	w: Çizginin korozyondan önceki genişliği

Eğer oluşan korozyon veya delaminasyon düzgün değilse, çok daha sık ve birbirine yakın olarak ölçümler alınıp ortalama hesaplanmalıdır. Bir başka yöntem de, korozyon veya delaminasyon bölgesi üzerine 1 mm’lik kenarlar uzunluğu olan kareli şeffaf bir kağıt konarak, bölgenin kapsadığı kare sayısı sayılır. Bu takdirde bulunan değer korozyon için “ A_c ”, delaminasyon içinse “ A_d ” olarak tanımlanır. Bu takdirde aşağıdaki denklemler kullanılır:

Çizelge 2.8 Korozyon ve delaminasyon hesaplamaları (alana göre) (ISO 4628 – 8, 2005)

KOROZYON	DELAMİNASYON
$c = \frac{A_c - A_1}{2} \times \frac{1}{l} \quad [\text{mm}] \quad (2.12)$	$d = \frac{A_d - A_1}{2} \times \frac{1}{l} \quad [\text{mm}] \quad (2.13)$
c: Korozyon değeri	d: Delaminasyon değeri
A_c : Bulunan korozyon alanı	A_d : Bulunan delaminasyon alanı
A_1 : Çizginin korozyondan önceki alanı	A_1 : Çizginin korozyondan önceki genişliği
l: Çizginin uzunluğu	l: Çizginin uzunluğu

Çizelge 2.7 veya Çizelge 2.8'deki denklemlere göre korozyon ve delaminasyon değerleri bulunur.

ISO 4628 serisi standartlar dışında, boya filminin kalitesindeki değişimler, renk değişimi ve parlaklık değişimi olarak da değerlendirilebilir.

ISO 7724 – 2 standardı, bir spektrofotometre yardımıyla boya filmindeki renk değişimini tespit edilmesini tarif eder. Spektrofotometre, optik bir okuyucusu olan renk ölçme makinesidir. Bu makine boya üretiminde, önceden hafızasına kayıt edilen renk standardını, daha sonra ölçümü yapılan renk numunesi ile karşılaştırır ve numunenin standarttan ne kadar farklı bir yerde olduğunu gösterir. Deneylerde standart şahit numune olarak alınır ve hafızadaki bilgi, teste tutulmuş numunelerin rengiyle karşılaştırılır.

Her ne kadar spektrofotometreler renk kontrolünde kullanılsa da, ne olursa olsun, renk konusunda son karar, bu işe yıllarını vermiş gerçek bir renk ustası tarafından verilir. Spektrofotometre gibi cihazlar, gözle yapılan kontrolün yerini almaz, bu kontrolün daha sağlıklı sonuç vermesini sağlar. Bu sayede subjektif olmayan sayısal bir takım değerler elde edilebilir. Makineden elde edilen renk farklılık değeri dE (delta E) olarak ifade edilir. Makine değerinin, gözle yapılan değerlendirmeye göre karşılıkları Çizelge 2.9'da verilmiştir:



Şekil 2.43.

Spektrofotometre

Çizelge 2.9

<u>Enstrümantal (dE):</u>	<u>Göz:</u>
0,00 – 0,25	Çok çok az fark
0,25 – 0,50	Çok az fark
0,50 – 1,00	Az fark
1,00 – 2,00	Ortalama fark
2,00 – 4,00	Çok büyük fark

TS 4318 EN ISO 2813 standardı, boya filminin parlaklık derecesinin ölçümünü tarif eder. “Glossmetre” olarak tariflenen makine, boya yüzeyine bir ışık huzmesi atar. Yüzeyden gelen yansımayı makinede tanımlı olan açı ile yakalayarak yüzeyin



Şekil 2.44.

Parlaklık ölçer

parlaklık derecesini verir. Düşük, orta ve yüksek parlaklıktaki boyalar 60°'lik, çok yüksek parlaklıktaki boyalar da 20°'lik, çok düşük parlaklıktaki boyalar da 85°'lik açıyla ölçülür. 60°'lik açıya göre 10 birim ve aşağısı çok düşük parlaklık, 70 birim ve yukarısı çok yüksek parlaklık derecesine girer. Her açıya göre en düşük parlaklık değeri 0, en yüksek parlaklık değeri de 100'dür. Test numunelerinin parlaklığı test edilirken, şahit numunelerin veya yaşlandırma işleminden önce kayıt edilen değerler ile, yaşlandırmadan sonra kayıt edilen değerler karşılaştırılır.

2.7.5.4 Boyalar İçin Ömür Bazlı Ekonomik Değerlendirme

E.D. Verink, Jr., korozyon mühendisliği problemleri için genel bir denklem geliştirmiştir. Denklem, vergi, düz amortisman, operasyon giderleri ve hurda bedeli gibi unsurları hesaba katarak şimdiki değeri bulmaktadır (Corrosion doctors, 2008).

$$PW = -P + \left\{ \frac{t(P-S)}{n} \right\} \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - (1-t)(X) \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + (S)(1+i)^{-n} \quad (2.14)$$

1. Kısım
2. Kısım
3. Kısım
4. Kısım

- % i = Faiz oranı
- n = Zaman (yıl olarak)
- PW = Şimdi Değer
- P = 0 zamanda sistemin maliyeti
- S = Hurda Bedeli
- t = Vergi Oranı
- X = Operasyon Giderleri

Denklem 4 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım, yatırımın başlangıç maliyetini gösterir. İkinci kısım sistemin zaman içindeki değer kaybını hesaplar. Üçüncü kısım gider bölümü sigorta, bakım gibi giderleri, gelir bölümü de yatırımın vergiden düşülme kısmını kapsamaktadır. Son kısım ise, sistemin hurda değerinin şimdiki değerini hesaplar. Ancak boya sistemlerinde hurda değeri olmadığı için bu kısım sıfır olarak alınır.

Denklem 2.14 yardımıyla yıllık maliyet (A) Denklem 2.15'e göre bulunur:

$$A = PW \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.15)$$

Bir örnek ile denklemleri açıklamak gerekirse:

Örnek: Bir boya sisteminin maliyeti 5,12 Euro/m²'dir. Sistem 4. yılın sonunda tamamen yenilenmek zorunda kalınıyor. Faiz oranının % 8, vergi oranının da % 44 olduğunu farz ediniz. 12 yıl boyunca boya sisteminin 4. ve 8. yıllarda olmak üzere iki kere tamamen yenilendiği düşünülürse, sistemin yıllık maliyeti nedir? Yenileme maliyetlerini gider olarak düşününüz.

Çözüm:

1. Kısım: $P = 5,12 \text{ Euro} / \text{m}^2$

2. Kısım:

$$\left\{ \frac{t(P - S)}{n} \right\} \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \left\{ \frac{0,44 \times 5,12}{4} \right\} \frac{(1,08)^4 - 1}{0,08(1,08)^4} = 1,87 \text{ Euro} / \text{m}^2$$

3. Kısım: $n = 4 \text{ yıl}$

$$- (1 - t) (X) (1 + i)^{-n} = -0,56 \times 5,12 \times 1,08^{-4} = 2,11 \text{ Euro} / \text{m}^2$$

3. Kısım: $n = 8 \text{ yıl}$

$$- (1 - t) (X) (1 + i)^{-n} = -0,56 \times 5,12 \times 1,08^{-8} = 1,55 \text{ Euro} / \text{m}^2$$

4. Kısım: 0

$$PW = - 5,12 + 1,87 - 2,11 - 1,55 = - 6,91 \text{ Euro} / \text{m}^2$$

$$\Rightarrow A = PW \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = - 6,91 \frac{0,08(1,08)^{12} - 1}{(1,08)^{12} - 1} = - 0,917 \text{ Euro} / \text{m}^2$$

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tezde özgün formülasyonlarla üretilen boya sistemlerinin performansı saha ve laboratuvar testleri ile denenmiştir.

3.1 Boya Sistemleri

Kullanılan boya sistemleri Çizelge 3.1’de belirtilmiştir:

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan sistemler

Sistem No:	Astar			Ara Kat			Son Kat		
	Bağlayıcı Tipi	Pigment	KFK (µm)	Bağlayıcı	Pigment	KFK (µm)	Bağlayıcı	Pigment	KFK (µm)
1	Wash Primer – Polyvinil Butiral Epoksi + Fenolik Reçine	Demir Oksid	15	Kullanılmadı.			Kullanılmadı.		
2	Wash Primer – Polyvinil Butiral Epoksi + Fenolik Reçine	Demir Oksid	15	Bis A Reçine + Poliaminoamid Sertleştirici	Antikoroziif Pigmentler	50	Alifatik Poliüretan (MDI)	UV dayanımlı ve antikoroziif pigmentler	50
3	Çinkoca Zengin Epoksi Astar (Poliaminoamid)	Çinko tozu	40	Bis A Reçine + Poliaminoamid Sertleştirici	Antikoroziif Pigmentler	50	Alifatik Poliüretan (MDI)	UV dayanımlı ve antikoroziif pigmentler	50
4	Yüzey Toleranslı Epoksi Astar (Poliaminoamid)	Demir Oksid	50	Bis A Reçine + Poliaminoamid Sertleştirici	Antikoroziif Pigmentler	50	Alifatik Poliüretan (MDI)	UV dayanımlı ve antikoroziif pigmentler	50
5	Yüzey Toleranslı, Yüksek Dolgulu Epoksi Astar Poliamin + Poliaminoamid	Mikamsı Cam	200	Kullanılmadı.			Kullanılmadı.		
6	Yüzey Toleranslı, Yüksek Dolgulu Epoksi Astar Poliamin + Poliaminoamid	Mikamsı Cam	200	Kullanılmadı.			Alifatik Poliüretan (MDI)	UV dayanımlı ve antikoroziif pigmentler	50
7	Yüzey Toleranslı, Yüksek Dolgulu Epoksi Astar Poliamin + Poliaminoamid	Demir Oksid	200	Kullanılmadı.			Alifatik Poliüretan (MDI)	UV dayanımlı ve antikoroziif pigmentler	50
8	Solventli Poliüretan Astar (MDI)	Demir Oksid	50	Bis A Reçine + Poliaminoamid Sertleştirici	Antikoroziif Pigmentler	50	Alifatik Poliüretan (MDI)	UV dayanımlı ve antikoroziif pigmentler	50

3.1.1. Boya Formülasyonu

Çizelge 3.2. Kullanılan boya sistemlerinin özgün formülasyonları

	Sistem No:	Konu:	Ağırlıkça %			Hacimsal %		
			Bağlayıcı	Pig. + Dol.	Solvent	Bağlayıcı	Pig. + Dol.	Solvent
ASTAR	Sistem 1 & 2	Islak Fim	19	25	56	21	9	70
		Kuru Film	44	56	-	70	30	-
		Açıklama	Solventli epoksi ile polinilbutiralden yapılan wash primer, pigment ve dolgu demir oksid (kırmızı), talk, çinko fosfat.					
	Sistem 3	Islak Fim	5	83	12	15	42	43
		Kuru Film	5	95	-	27	73	-
		Açıklama	Solventli epoksi reçine ve poliaminoamid sertleştirici. Dolgu olarak yalnız çinko tozu.					
	Sistem 4	Islak Fim	35	49	16	46	29	25
		Kuru Film	41	59	-	61	39	-
		Açıklama	Solventli epoksi reçine ve poliaminoamid sertleştirici. Dolgu olarak demir oksid pigment ve çinko fosfat.					
	Sistem 5 & 6	Islak Fim	42	47	12	54	28	18
		Kuru Film	48	52	-	66	34	-
		Açıklama	Solventli epoksi reçine ve poliaminoamid sertleştirici. Dolgu olarak demir oksid pigment, mikamsı cam ve çinko fosfat.					
	Sistem 7	Islak Fim	45	45	10	67	16	17
		Kuru Film	50	50	-	81	19	-
		Açıklama	Solventli epoksi reçine ve poliaminoamid sertleştirici. Dolgu olarak demir oksid pigment ve çinko fosfat.					
	Sistem 8	Islak Fim	43	41	16	54	19	27
		Kuru Film	51	49	-	74	26	-
		Açıklama	Solventli poliüretan bağlayıcı. Dolgu olarak demir oksid ve çinko fosfat.					
ARA KAT	Sistem 2, 3, 4, & 8	Islak Fim	30	40	30	40	16	44
		Kuru Film	43	57	-	72	28	-
		Açıklama	Solventli epoksi reçine. Dolgu olarak titan dioksit ve talk.					
SON KAT	Sistem 2, 3, 4, 6, 7 & 8	Islak Fim	41	25	34	45	16	39
		Kuru Film	62	38	-	74	26	-
		Açıklama	Solventli poliüretan reçine. Dolgu olarak pigment ve titan dioksit.					

3.2 Saha Testi

- Şekil 3.1’de görülen 5 – 6 mm kalınlığındaki plakalar temin edilip, 150 mm x 100 mm boyutlarında kesilmiştir.



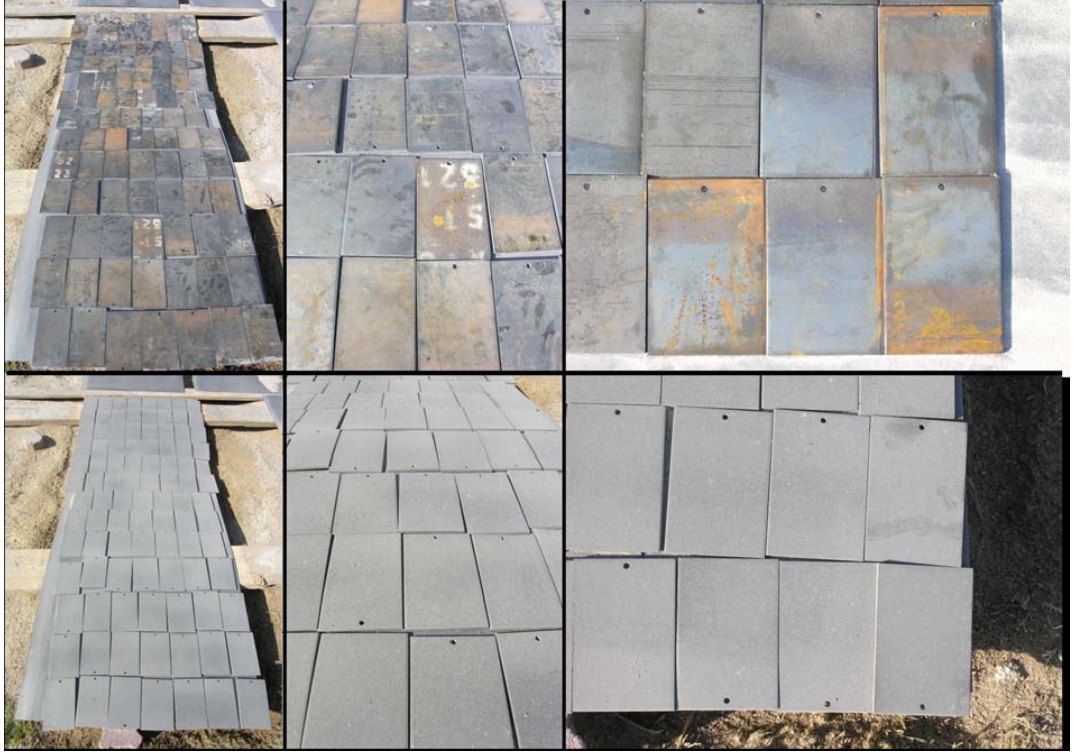
Şekil 3.1 Kesilmemiş plakalar

- Söz konusu panellerin YTÜ Metalürji Mühendisliği Laboratuvarları’nda, optik emisyon spektrofotometresi ile ölçümü yapılmış ve % 0,260 C, % 0,293 Si, % 1,400 Mn, % 0,028 P ve % 0,019 S içerdikleri tespit edilmiştir.
- Her sistem için St 2 ve SA 2½ sınıfında yüzey hazırlıkları yapılmıştır. Şekil 3.2, kumlama sırasında kullanılan 8 bar’lık kompresörü, 1000 – 3000 tane iriliğindeki kuvars taneciklerini, kumlama kazanını ve kumlamanın yapılmasını göstermektedir.



Şekil 3.2 Kumlama kazanı

- Şekil 3.3, 100 x 150 mm boyutlarında kesilmiş numunelerin yan yana dizilip, ön ve arka yüzeylerinin SA 2 ½ mertebesinde kumlanması görülmektedir. Şekil 3.4’de ise, St 2 mertebesinde taşlama yaparak yüzey hazırlığı görülmektedir. Yüzey temizliğinin yeterliliği, ISO 8501 standardından yararlanılarak görsel olarak yapılmıştır.



Şekil 3.3. Kumlanan paneller



Şekil 3.4. Taşlanan paneller

- TS EN ISO 12944 – 5 standardından faydalanarak aşağıdaki Çizelge 3.1'deki boya sistemleri uygulanmıştır.
- Boyalar havasız tabanca ile atılmıştır.



Şekil 3.5 Numuneler

Yüzey hazırlığı yapılmış ve delikleri delinmiş numuneler bir düzeneğe asılmıştır.



Şekil 3.6 Boya hazırlığı

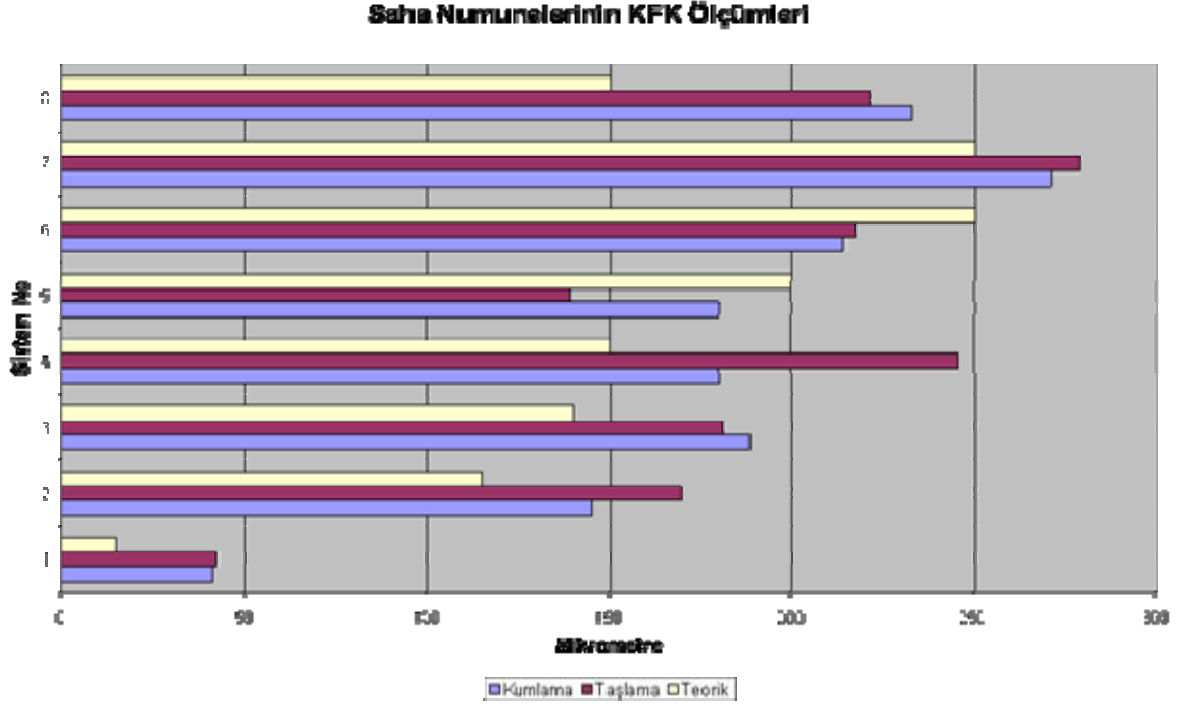
Karışımı hazırlanan boyalar, havasız tabancaya verilmiştir.



Şekil 3.7 Islak film ölçümü

Şekil 3.7'deki tabanca ile uygulanan boyaların ıslak film kalınlığı uygulamadan hemen sonra kontrol edilmiştir.

- Uygulama sırasında, Sa 2 ½ sınıfına göre yüzeyi hazırlanmış numunelere astar ilk 4 saat içinde atılmıştır. Astarlardan sonra ara kat, ara kattan sonra son kat atılmadan önce 24 saat beklenmiştir. Uygulamalar 22 – 26 Mart 2006 tarihleri arasında yapılmıştır.
- KFK ölçümleri ISO 2808 standardı Madde 6'ya uygun olarak yapılmıştır. Şekil 3.8, teorik olarak uygulanması öngörülmüş olan kuru film kalınlıklarını (KFK) ve pratikte atılmış olan KFK'nı göstermektedir.



Şekil 3.8 Teorik ve pratik kalınlık değerleri

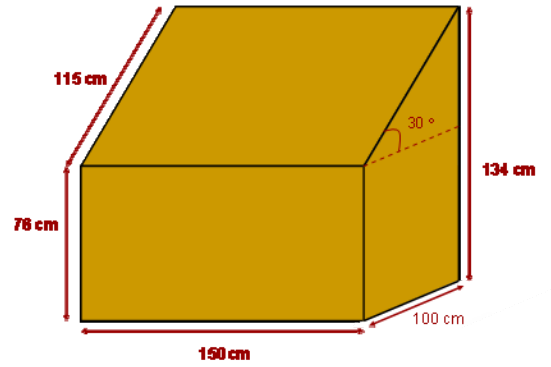
- Numunelerin arkası ve kenarları da astarlandı. Astar olarak testin yapıldığı sistemin astarı kullanılmıştır.
- Numunelerin arkaları etiketlenmiştir.



Şekil 3.9 Numunelerin çizilmesi

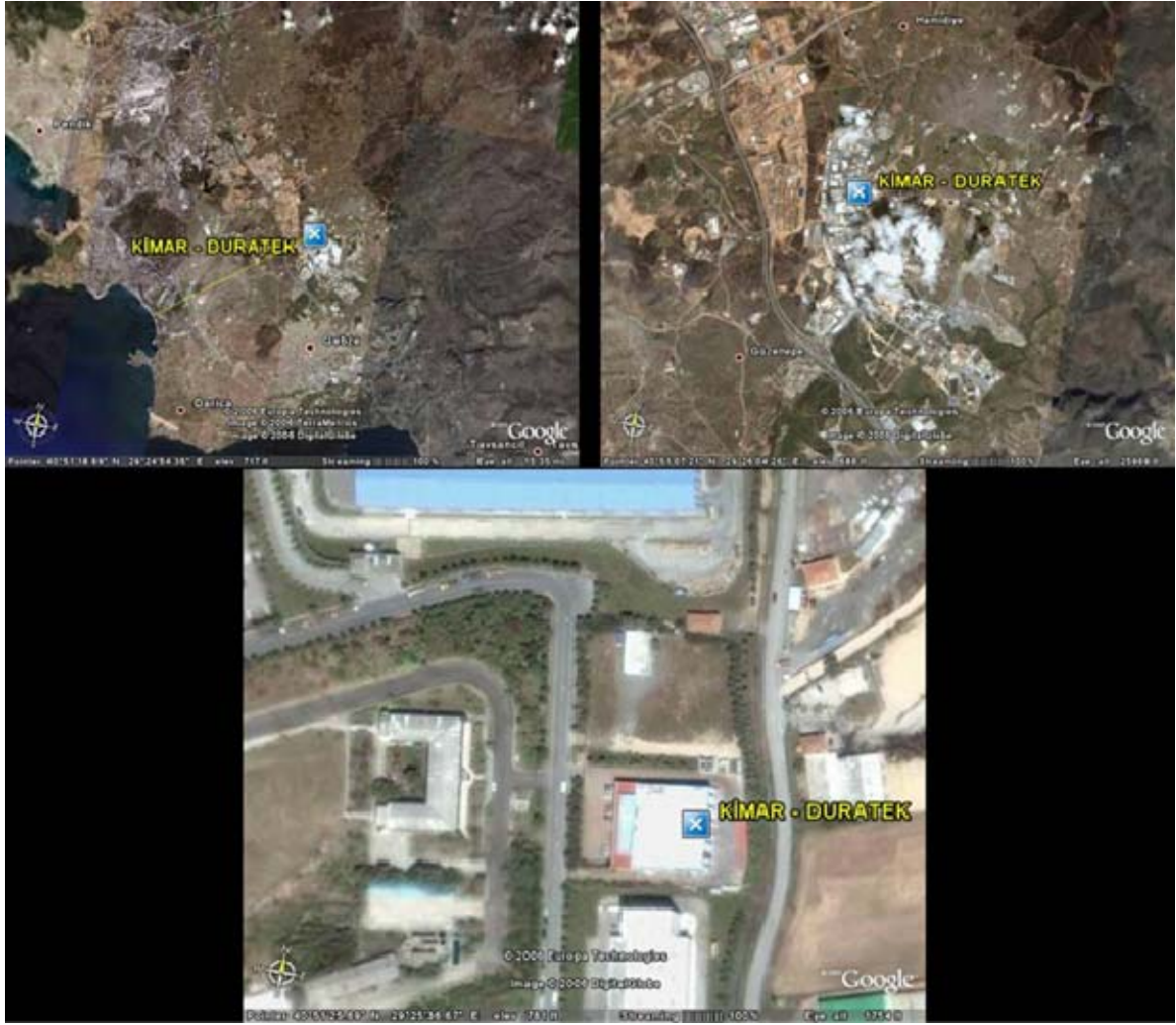
- Standartlarda belirtilmiş özelliklerde bir aletle her numunenin üzerine, boya tabakasını aşır, panele ulaşacak kadar derin bir çizik atılmıştır. Her sistem için hazırlanan 3 numuneden ikisi üzerinde kenarlardan min 2,5 cm uzaktan itibaren çizikler çekildi. Şahit numunelere de aynı işlem uygulanmıştır.
- Böylece her deneme bölgesi için toplam 8 sistem x 3 numune x 2 yüzey hazırlığı = 48 numune hazırlanmıştır. Ayrıca her düzeneğe birer tane de kaplanmamış numune yerleştirilmiştir.
- Bir adet her sistem için şahit numune hazırlanmıştır. Bu numuneler karanlık bir ortamda ISO 4543'e uygun şekilde muhafaza edilmiştir.

- Şekil 3.10'da, hazırlanan düzeneğin görülmektedir. Numune düzenekleri, çelik ile reaksiyona girmemesi için ahşaptan üretildi. Düzeneğin dış yüzeyi 2 kat Solventsiz Epoksi Astar ve 1 kat da UV dayanımlı Solventsiz Poliüretan Vernik ile kaplandı. İç taraf 1 kat Solventsiz Epoksi Astar ile astarlandı. 0,75 m yüksekliğindeki düzeneğe yatayla 30 derecelik bir eğim verilmiştir.

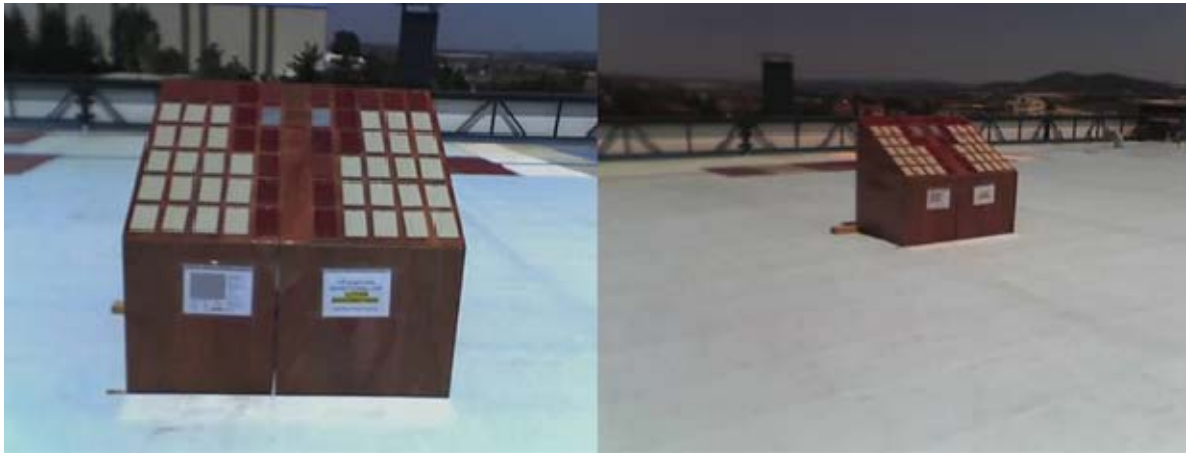


Şekil 3.10. Düzeneğin

- Numune düzenekleri, Kimar fabrika çatısına, Marshall fabrika çatısına ve Kalamış Kuru Sitesi'nin ön bahçesine yerleştirilmiştir.
 - o Kimar Fabrika Terası – Gebze OSB. Kimar, kuş uçuşu mesafe olarak denize yaklaşık 9 km uzaklıktadır. Kimar, Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde, Ereğli Demir Çelik, Hektaş ve DSM fabrikaları arasında bulunmakta. GOSB ve genişleme alanları dışında, Gebze Plastikçiler OSB (GEPOSB), Güzeller OSB, Taysad OSB gibi OSB'ler yakın komşu olan bölgelerdir. Tuzla OSB, Boyacılar OSB, Dericiler OSB, Mermerciler OSB gibi çok sayıda OSB ve sanayi siteleri de çevrede bulunmaktadır. Aynı zamanda TEM otobanı, OSB'nin hemen yanından geçmektedir. Dolayısıyla bu ortam ISO 12944 – 2 standardına göre C 4 Yüksek Endüstriyel Korozyonlu Atmosferi (Endüstriyel Bölge Atmosferleri) sınıfına girdiği tahmin edilmiştir. Düzeneğin yerleştirilme tarihi: 07 Temmuz 2006.



Şekil 3.11 Google Earth’den Kimar’ın konumu



Şekil 3.12 Kimar’daki düzeneğe

- o Marshall Fabrikası – Dilovası. Marshall, kuş uçuşu mesafe olarak denize yaklaşık 1 km uzaklıktadır. Dolayısıyla deniz atmosferinin etkisinde sayılmaktadır. Çevresinde bulunan çok büyük ölçekli boya, deterjan, çelik ve enerji üretim tesisleri, hemen önünden geçen TEM otobanı ve hemen arkasından geçen E5 karayolu yüzünden, bölge belki de Türkiye'nin en kirli havasına sahip olan bölgelerinden biri. Dolayısıyla bu bölge ISO 12944 – 2 standardına göre olabilecek en kötü atmosfer sınıfı olan C 4 Yüksek Endüstriyel Korozyonlu Atmosferi (Endüstriyel Kirlilik Taşıyan Deniz Atmosferleri) sınıfına girdiği tahmin edilmiştir. Düzeneğin yerleştirilme tarihi: 04 Temmuz 2006.



Şekil 3.13 Google Earth’den Marshall’ın konumu



Şekil 3.14 Marshall'daki düzenek

- o Kalamış Koru Sitesi (KKS) – Kalamış. KKS, kuş uçuşu mesafe olarak denize yaklaşık 60 m uzaklıktadır. Ayrıca Kalmamış ve Fenerbahçe Yat Marinaları'nın hemen yanında bulunmakta, yani önü tamamen açık deniz. Marmara Denizi'nin yüzey suyunun tuz oranı % 0,20'dir ve bu oran Akdeniz'in yarısıdır. Etrafında bulunan Fenerbahçe ve Atatürk Parkı, Dalyan Klubü ve Fenerbahçe Orduevi gibi İstanbul'da rastlanması son derece zor olacak sıklıkta bir yeşil alan bulunmakta. Hemen yakınındaki trafik yoğunluğu ise, Bağdat Caddesi'ne yakın olmasına rağmen, göreceli olarak düşük. Bu sebeplerden dolayı KKS, İstanbul'un en yoğun yerleşim alanlarının hemen yanı başında bulunmasına rağmen, hava kirliliği bakımından en şanslı bölgelerinden. Dolayısıyla bu ortam ISO 12944 – 2 standardına göre C 3 Orta Dereceli Korozyonlu Atmosferler sınıfına girdiği tahmin edilmiştir. Düzenegin yerleştirilme tarihi: 14 Temmuz 2006.



Şekil 3.15. Kalamış'taki düzenek



Şekil 3.16. Google Earth'den Kalamış'ın konumu

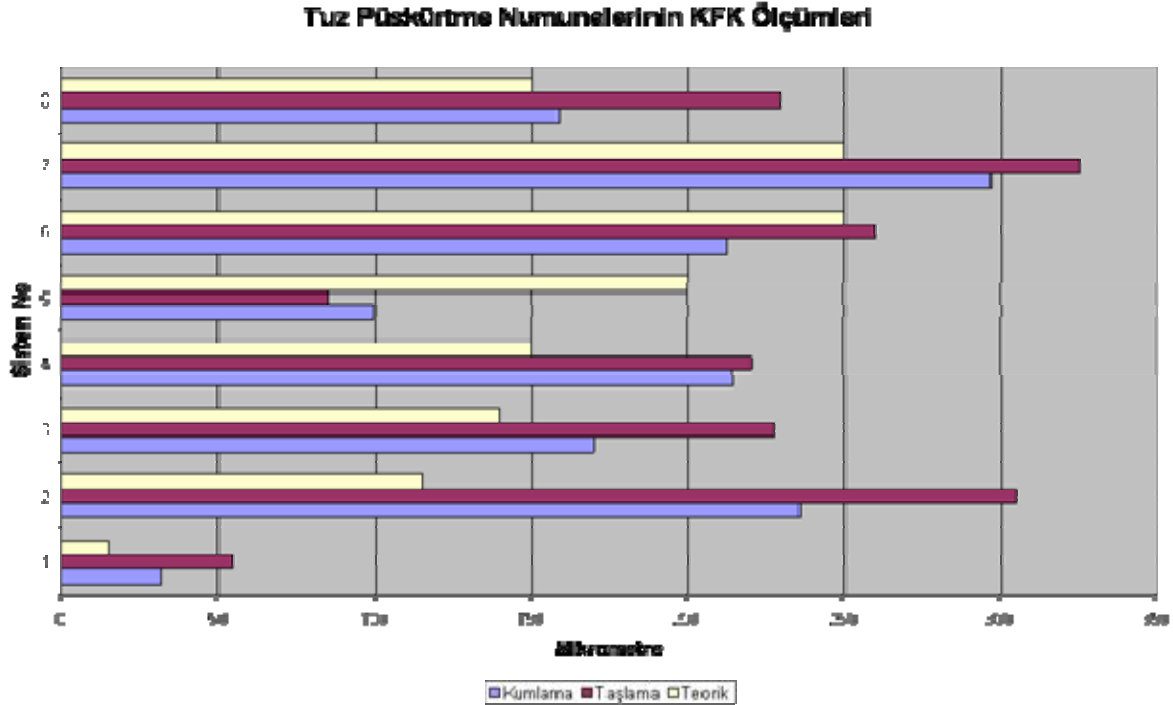
- o Tüm düzenekler denize doğru yönlendirilmiştir. Numuneler yerleştirilirken, önlerinde ağaç, duvar vs gibi hiçbir engelin olmamasına ve aşırı yağmur veya başka bir sebepten ötürü düzeneğin su altında kalmamasına dikkat edilmiştir.
- o Numuneler periyodik olarak kontrol edilmiştir.
- Numuneler yaklaşık 13 ay sahada beklemiştir.

3.3 Tuz Testi

Tuz testi teorik kısımda detaylı bir şekilde açıklanan TS EN ISO 7253 standardına göre yapılmıştır.

- St 52 tipi, 150 mm x 100 mm x 1mm boyutunda çelik numuneler kesilmiştir.
- Tüm paneller üzerine, tüm kenarlardan 25 mm uzakta olacak şekilde, 0,3 mm – 1,0 mm kalınlığında çizikler atılmıştır.

- KFK ölçümleri ISO 2808 standardı Madde 6'ya uygun olarak yapılmıştır. Şekil 3.17, teorik olarak uygulanması öngörölmüş olan kuru film kalınlıklarını (KFK) ve pratikte atılmış olan KFK'nı göstermektedir.
- Saha testi için üretilen numunelere boya havasız tabanca ile atılmıştır. Ancak tuz testi için hazırlanan numunelerin uygulaması fırça ile yapılmıştır. TS EN ISO 12944 – 5 no'lu standardın EK C kısmındaki tablonun en altında, hangi tip boyaya hangi tip uygulamaların uygun olacağı belirtilmiştir. Burada epoksiler için fırça da, püskürtme yönteminin de mükemmel, alifatik poliüretanlar için ise püskürtme yönteminin mükemmel, fırça yönteminin ise çok iyi netice verdiği belirtilmektedir. Duratek A.Ş. de ürünlerin uygulaması için aynı yönde tavsiyede bulunduğu için, püskürtme yerine fırça uygulaması yapılmasında mahsur görülmemiştir.
- Numuneler Duratek A.Ş.'de Haziran 2007'de hazırlanmış, testler ise Tübitak'da Temmuz 2007'de yapılmıştır.
- 480, 720 ve 960 saatlik testler yapılmıştır. Her test için tüm sistemlerden 3'er adet numune hazırlandı. Ayrıca şahit olarak 3'er adet numune daha hazırlanmıştır. Böylece her sistem için 12, toplamda ise 96 adet numune hazırlanmıştır.



Şekil 3.17 KFK teorik ve pratik değerler

3.4 SO₂ Testi

SO₂ testi, teorik kısımda da bahsedildiği gibi, ASTM G 87 – 02 standardında yer alan Metot A'ya uygun olarak yapılmıştır. Yaklaşık 300 lt kapasitesi olan bir kabin, kükürt dioksit kaynağı ve haznesi, numunelerin yerleştirilebileceği bir düzenek, kabin içi ısıtıcıları ve kontrol cihazlarından oluşan bir test aleti kullanılmıştır. SO₂ gazının saflığı % 99,9'dur. Yaklaşık 2 litre saf su, kabinin tabanına konmuştur. Kabin içinde numuneler birbirlerine ve kabin yüzeylerine belirli uzaklıklarda, neredeyse tamamen dik olacak şekilde yerleştirilmiş, daha sonra gaz kabinin içine verilmeye başlanmıştır. Yaklaşık 1,5 saat içinde kabin içi sıcaklığı 40 °C'ye geldikten sonra, numuneler Metot A'ya uygun olarak 24 saatlik bir devir boyunca SO₂ atmosferine maruz bırakılmıştır. Toplam 21 devir boyunca test yapılmıştır ve 4., 10., 16. ve 21. devirlerin sonunda numuneler kontrol edilerek resimlendirilmiştir. Her devrin sonunda kabin içindeki saf su ve SO₂ gazı yenilenmiştir.

Numuneler, saha testi numuneleri ile aynı şekilde hazırlanmıştır.

3.5 UV Testi

UV testi, teorik kısımda detaylı bir şekilde açıklanan ASTM G 154 standardına göre yapılmıştır.

Numuneler, saha testi numuneleri ile aynı şekilde hazırlanmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Saha Testleri

Kalamış, Kimar ve Marshall'da bulunan saha numunelerinin tümü 08.08.07'de toplandı. Düzeneklerin toplanmadan önceki son durumlarının resimleri aşağıdadır:

Kimar:



Şekil 4.1 Kimar'daki düzenek

Marshall:



Şekil 4.2 Marshall'daki düzenek

Kalamış:



Şekil 4.3 Kalamış'taki düzenek

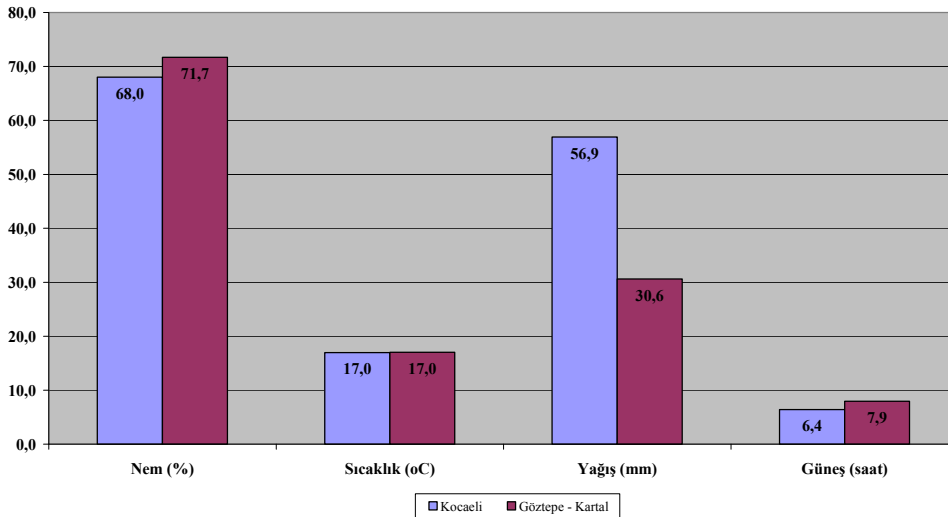
4.1.1 Meteorolojik Bilgiler

ISO 8565 standardında belirtildiği gibi, Gebze (=Kimar), Dilovası (Marshall) ve Kalamış bölgelerinin Temmuz 2006 – Ağustos 2007 arası meteorolojik istatistikleri Devlet Meteoroloji İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nden istenmiş, ancak belirtilen mevkiilerde meteoroloji istasyonu bulunmadığından dolayı, bir yaklaşım sağlamak amacıyla Göztepe – Kartal ve Kocaeli istasyonlarından Çizelge 4.1 ve 4.2'deki rasat kayıtları sağlanmıştır.

Çizelge 4.1 KOCAELİ Tem. 06 – Ağu. 07 arası meteorolojik istatistikleri		
Bilgi	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı (Aylık ortalama)	°C	17,0
Atmosferik Bağıl Nem (Aylık ortalama)	%	68,0
Yağış Miktarı (Aylık ortalama)	mm	56,9
Güneş Radyasyonunun Süresi	Saat	6,4

Çizelge 4.2 Göztepe - Kartal Tem. 06 – Ağu. 07 arası meteorolojik istatistikleri		
Bilgi	Birim	Değer
Hava Sıcaklığı (Aylık ortalama)	°C	17,0
Atmosferik Bağıl Nem (Aylık ortalama)	%	71,7
Yağış Miktarı (Aylık ortalama)	mm	30,6
Güneş Radyasyonunun Süresi	Saat	7,9

Çizelge 4.3 Kocaeli ile Göztepe - Kartal Rasat Sonuçları Karşılaştırması
(Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, 2008)



Çevre ve Orman Bakanlığı web sitesinden, 2004 yılı İstanbul genel, 2006 yılı Aralık ayı İzmit genel, Gebze ve Dilovası için, atmosferdeki SO₂ oranları bulunmuştur. Söz konusu bilgi güncel olmamakla beraber, hava kirliliği ile ilgili bir fikir vermektedir. Buna göre 2004 yılında İstanbul atmosferinde ortalama 16 mikrogram / m³, 2006 yılı Aralık ayında, İzmit atmosferinde ortalama 18 mikrogram / m³, Gebze atmosferinde ortalama 23 mikrogram / m³, Dilovası atmosferinde de ortalama 28 mikrogram / m³, SO₂ gazı bulunduğu tespit edilmiştir.

4.1.2 Korozyon Hızı Hesaplamaları



Şekil 4.4 Paslı numunelerin temizlenmesi

Her üç bölgeye de yerleştirilmiş olan numunelerin üzerindeki korozyon ürünleri temizlenmiş ve tartımları yapılmıştır. Temizleme işlemi ASTM G1 standardına uygun yapılmıştır.

Korozyon hızı, 2.6 numaralı denkleme göre hesaplanmıştır. Hesaplamalar ile ilgili tablolar aşağıdadır.

$$87600 \times dW : (d \times A \times T) \quad (2.6.)$$

Çizelge 4.4. Numune tartımları					
		W1	W2	dW	
Yer	Çelik	mg	22.11.2007		gr / cm3
Kalamış	St 52	602.290,00	597.160,00	5.130,00	7,80
Marshall	St 52	602.410,00	594.440,00	7.970,00	7,80
Kimar	St 52	602.100,00	595.110,00	6.990,00	7,80

Çizelge 4.5. Alan hesaplamaları										
A1 cm2				A2 cm2			A3 cm2			A Top
Yer	a	b	2 x ab	a	c	2 x ac	b	c	2 x bc	A1+A2+A3
Kalamış	15,10	10,15	306,53	15,10	0,53	15,86	10,15	0,53	10,66	333,04
Marshall	15,15	10,15	307,55	15,15	0,51	15,45	10,15	0,51	10,35	333,35
Kimar	15,15	10,10	306,03	15,15	0,52	15,60	10,10	0,52	10,40	332,04

Çizelge 4.6. Süre hesaplaması		
Yer	Başlangıçtan sonuna kadar saat olarak!!!	
Kalamış	14 tem 06 - 8 agu 07 = 389 gün x 24 saat + 22 saat =	9.358
Marshall	7 tem 06 - 8 agu 07 = 396 gün x 24 saat + 27 saat =	9.531
Kimar	4 tem 06 - 8 agu 07 = 399 gün x 24 saat + 20 saat =	9.596

Çizelge 4.7. Korozyon hızları			
Kimar	St 52	Kor. Hızı:	24,638 mikrometre / yıl
Marshall	St 52	Kor. Hızı:	28,173 mikrometre / yıl
Kalamış	St 52	Kor. Hızı:	18,486 mikrometre / yıl

Çizelge 4.7’de de görüldüğü üzere, Kalamış C2, Kimar ile Marshall ise C3 bölgelerine girmektedir.

4.1.3 Paneller

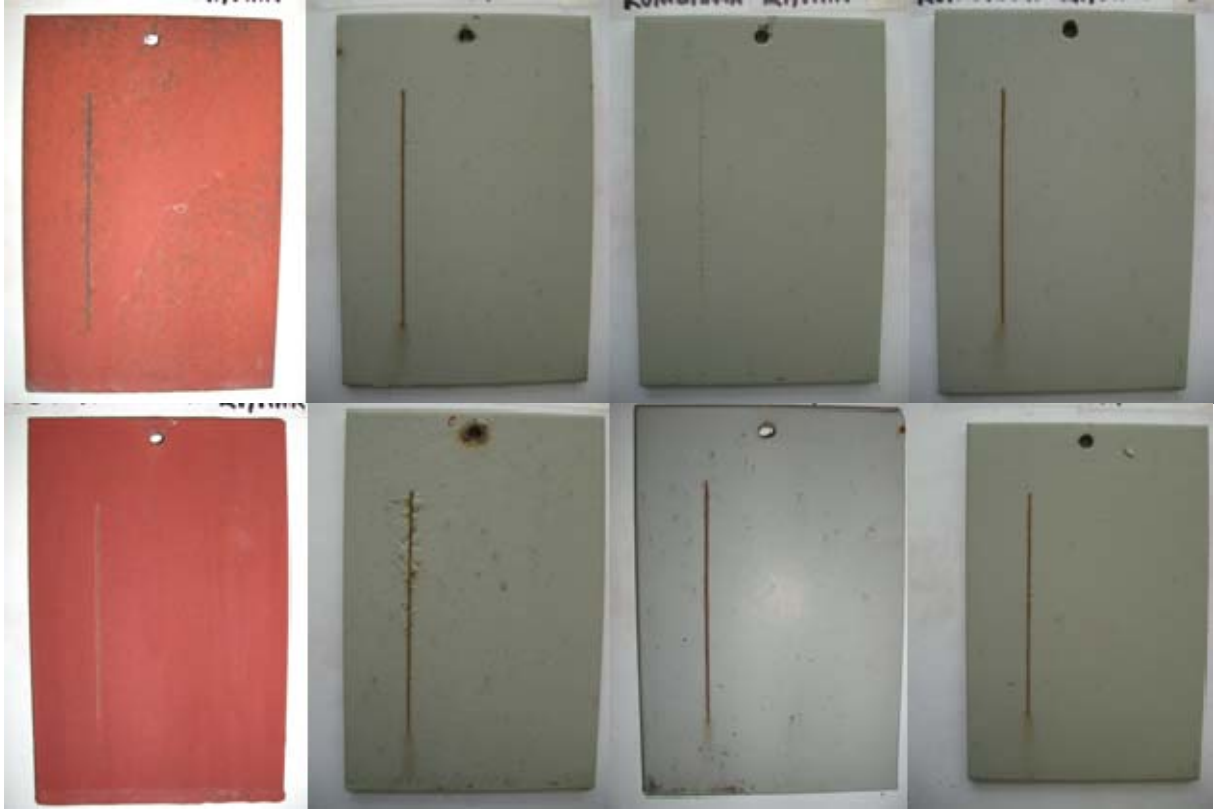
Bu bölümdeki şekiller, tüm bölgeleri ve bu bölgelerdeki tüm sistemlerin panellerini göstermektedir. Sistemlerin tüm bölgelerdeki durumları EK 1’dir.



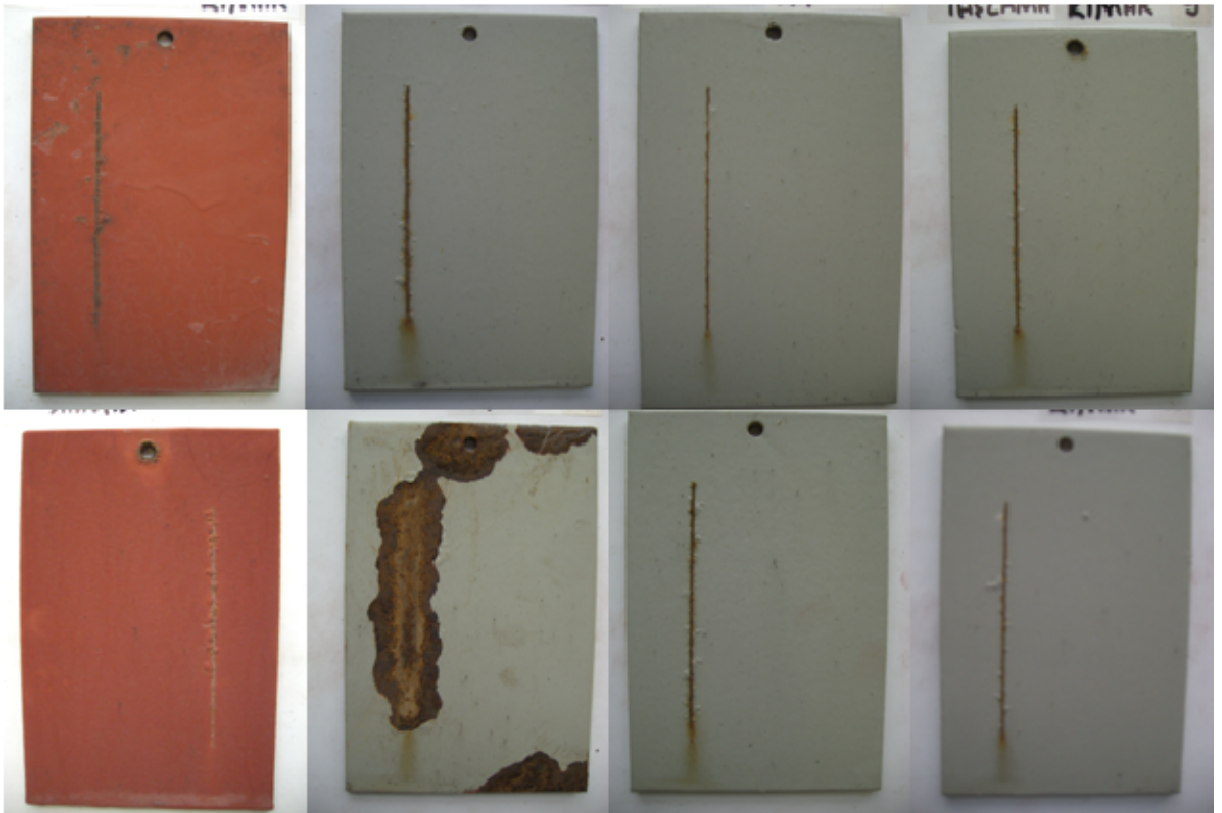
Şekil 4.5 Şahit Saha Testi Numuneleri. Kumlanmamış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.6 Şahit Saha Testi Numuneleri. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 47 Kırmızı Saha Testi Numuneleri. Kırılmamış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 48 Kırmızı Saha Testi Numuneleri. Tıkanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.9 Marshall Saha Testi Numuneleri. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.10 Marshall Saha Testi Numuneleri. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.11 Kalamış Saha Testi Numuneleri. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.12 Kalamış Saha Testi Numuneleri. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8

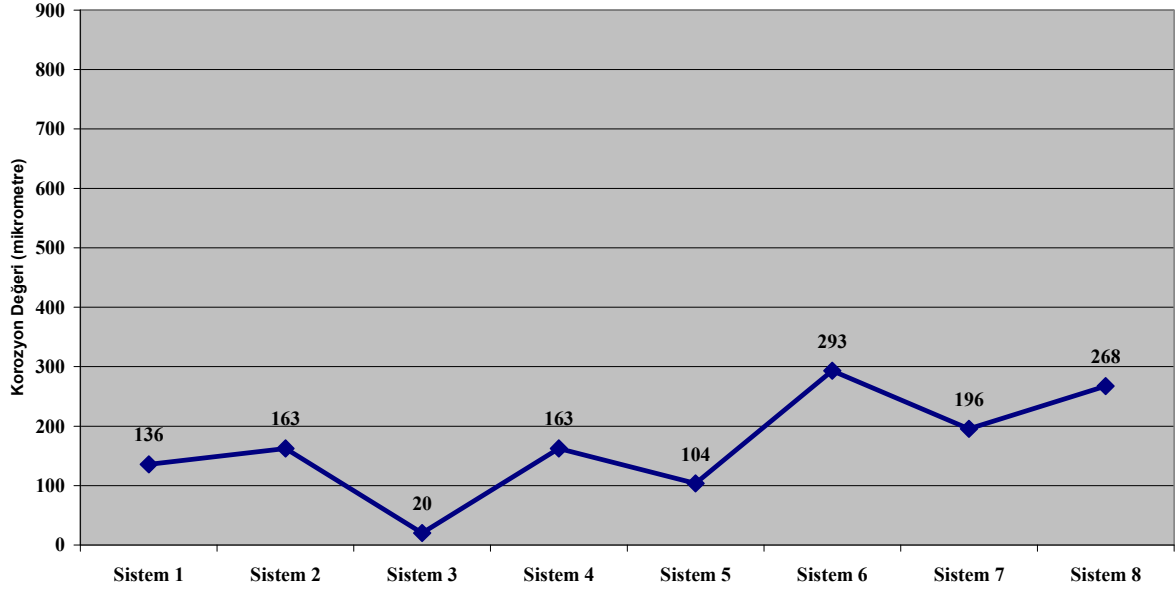
4.1.4 Paneller Üzerindeki Çizik ve Çevresi İçin Korozyon ve Delaminasyon Tabloları ve Grafikleri

Korozyon tablolarındaki korozyon ve delaminasyon değerleri ISO 4628 – 8 standardına uygun bir şekilde hesaplanmıştır.

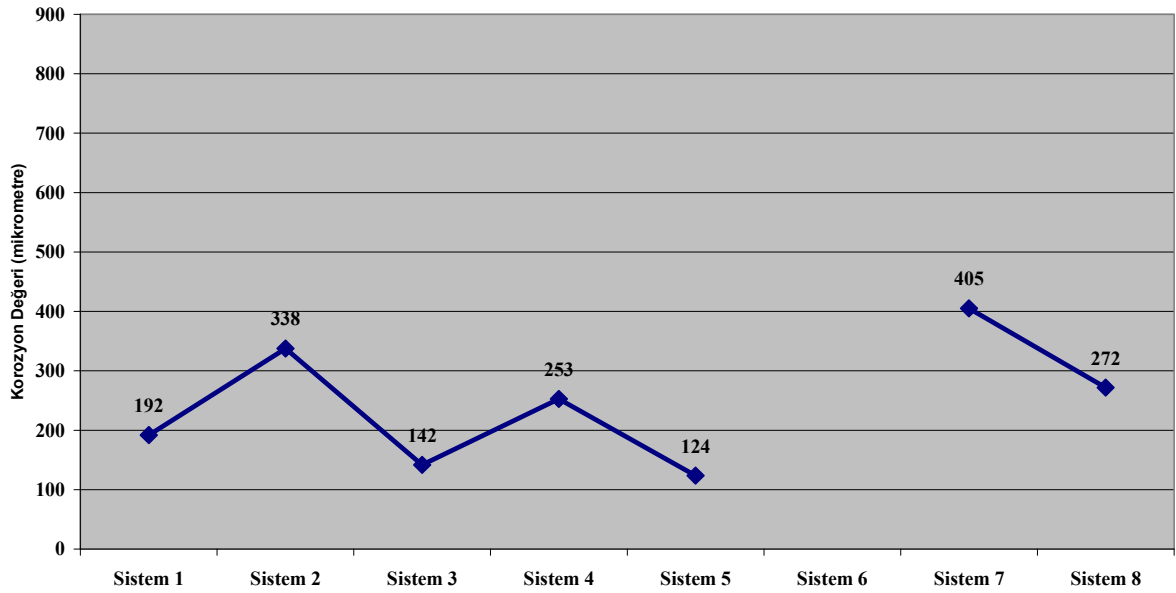
Çizelge 4.8 ISO 4628 - 8'e göre korozyon ve delaminasyon genişlikleri								
SA 2,5 Yüzey Hazırlığı Yapılmış Paneller Üzerindeki Çizik Genişliği Fark Ortalaması (Mikrometre)	Kimar	Marshall	Kalamış	St 2 Yüzey Hazırlığı Yapılmış Paneller Üzerindeki Çizik Genişliği Fark Ortalaması (Mikrometre)	Kimar	Marshall	Kalamış	
Sistem No:				Sistem No:				
1	136	38	33	1	192	103	78	
2	163	133	98	2	338	126	222	
3	20	20	30	3	142	92	172	
4	163	105	170	4	253	113	141	
5	104	76	145	5	124	205	195	
6	293	13.300	360	6	10.631	95	289	
7	196	32	181	7	405	166	325	
8	268	188	206	8	272	11.341	160	

Çizelge 4.9 – 4.14 sırasıyla Kimar, Marshall ve Kalamış'ta korozyona maruz bırakılmış numunelerin, korozyon değerleri grafikleri görülmektedir. İlk grafik, kumlanmış, ikinci grafik de taşlanmış numunelerin grafiğidir.

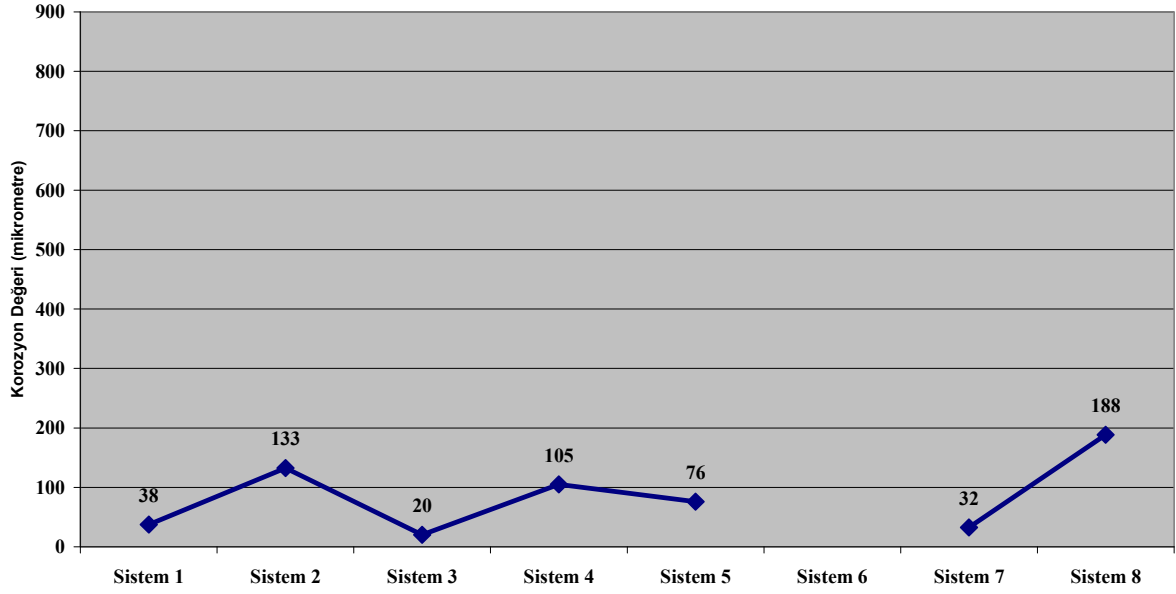
Çizelge 4.9 Saha Testi: Kimar'da Kumlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



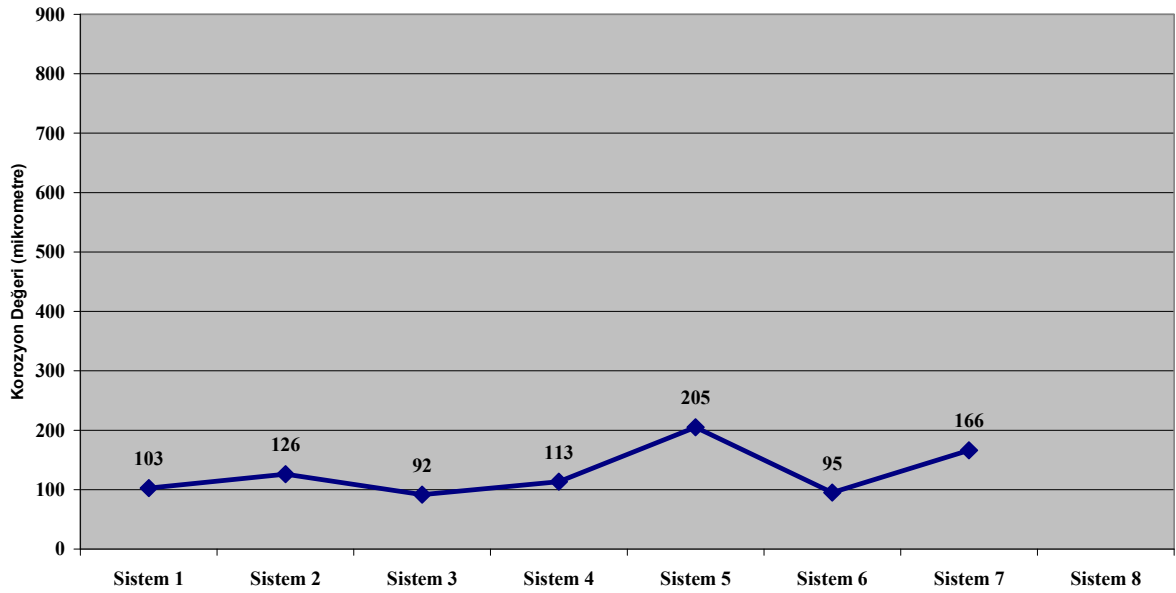
Çizelge 4.10 Saha Testi: Kimar'da Taşlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



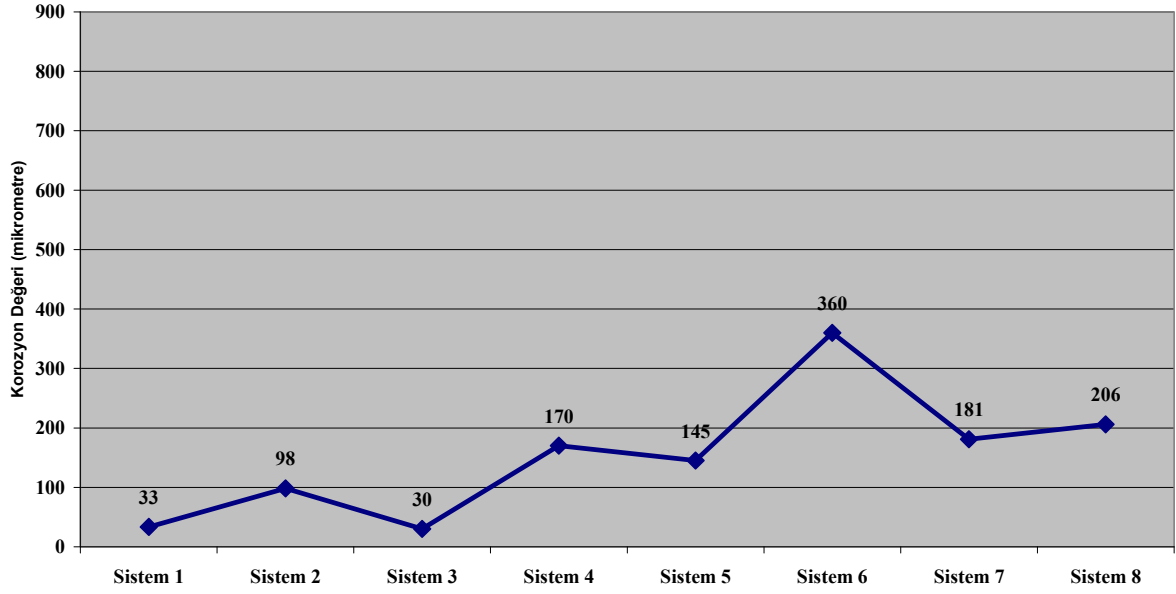
Çizelge 4.11 Saha Testi: Marshall'da Kumlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



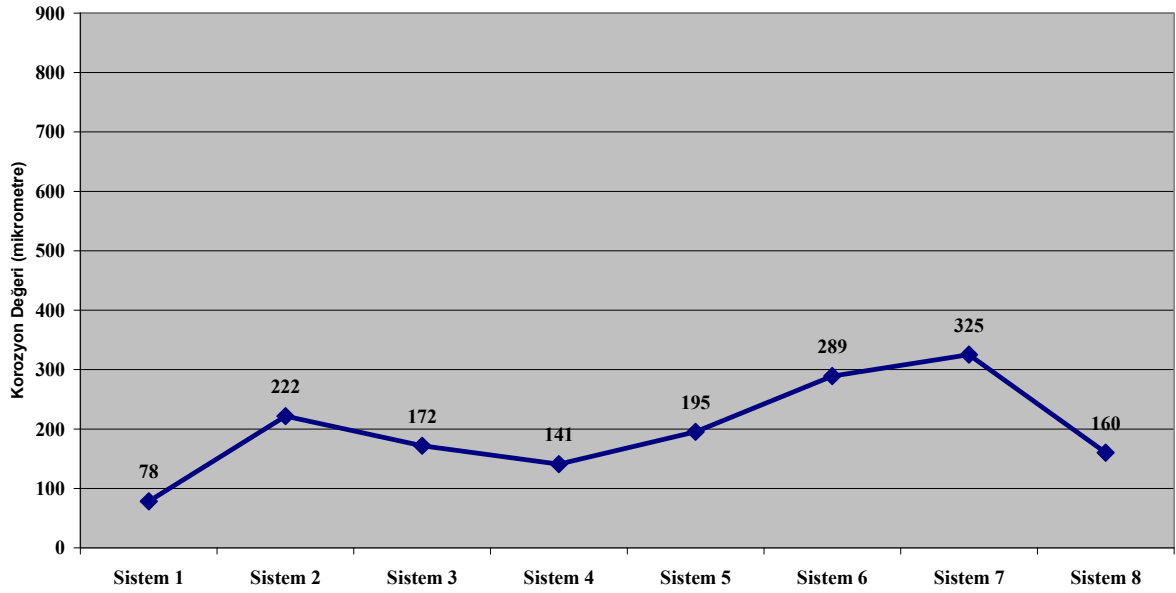
Çizelge 4.12 Saha Testi: Marshall'da Taşlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



Çizelge 4.13 Saha Testi: Kalamış'da Kumlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)

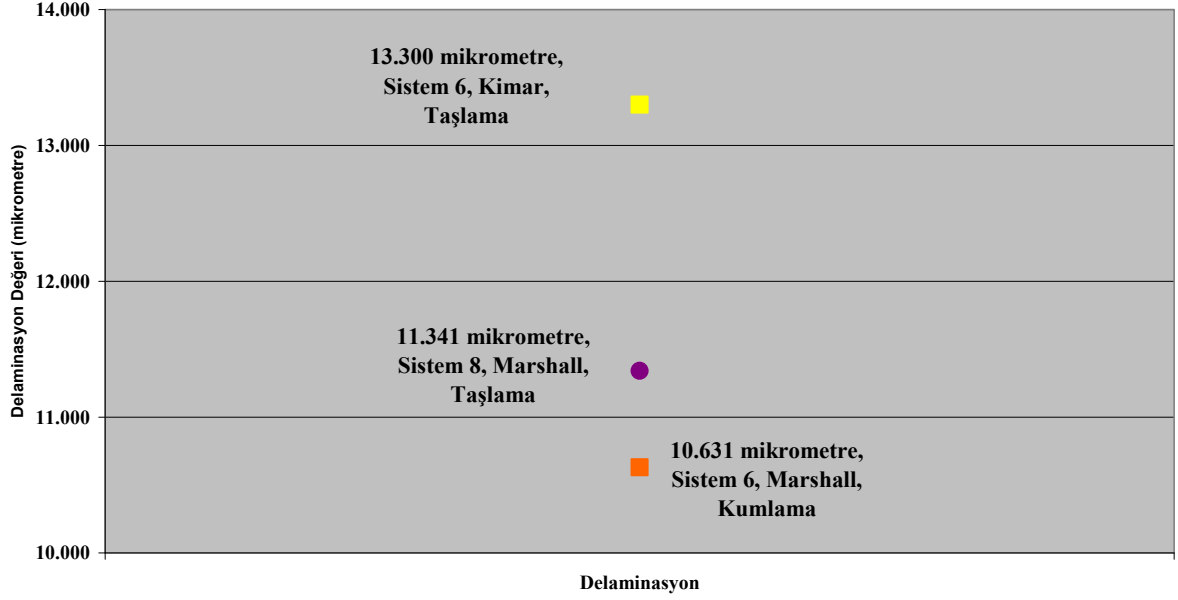


Çizelge 4.14 Saha Testi: Kalamış'da Taşlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



Çizelge 4.15, saha testleri sırasında oluşmuş olan delaminasyonun değerini göstermektedir.

Çizelge 4.15. Saha Testi: Çeşitli Bölgelerde, Kumlanmış veya Taşlanmış Numunelerde Gözlemlenen Maksimum Delaminasyon Genişliği, (mikrometre)



4.1.5 Paneller Üzerinde Çizikli Olmayan Bölgenin Yüzey Değerlendirme Tabloları

Değerlendirmeler ISO 4628 – 1 standardına uygun olarak yapılmıştır. “0” kusur veya değişikliğin olmadığını, “5” ise çok ciddi kusurların veya değişikliklerin olduğu anlamına gelmektedir. Tablolardaki sonuçlar (Çizelge 4.16 – 4.21), panellerin çizikli olmayan kısımlarındaki boya yüzeyinin ISO 4628 – 2 standardına göre kabarcık oluşumunun, ISO 4628 – 3 standardına göre paslanmanın, ISO 4628 – 4 standardına göre çatlamanın, ISO 4628 – 5 standardına göre pullanma oluşumunun sübjektif değerlendirilmesidir. Bu değerlendirmeler kişiden kişiye değişkenlik gösterebilir. Numunelerin kenar, köşe ve çivi deliği kısmında oluşan bozulmalar değerlendirilmemiştir. Tablolarda elde edilen sonuçların bazıları, numunenin resimleriyle de açıklanmaya çalışılmıştır. (Her sistem için 3 numune hazırlanmıştır. Bu numunelerden ikisinde çizik oluşturuldu, birinde oluşturulmamıştır.)

Çizelge 4.16 SA 2 1/2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN KİMAR'DAKİ DENEYDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI						
	Çizik	NO:	4628 - 2 Kabarcık	4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
SİSTEM 1	√	1	0	Ri3	0	0
	√	2	0	Ri5 - Yüzey neredeyse tamamen paslı. Yüzeyde boya akmaları da var.	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 2	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 3	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 4	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 5	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 6	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 7	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 8	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0

Çizelge 4.17 St 2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN KİMAR'DAKİ DENEYDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI						
	Çizik	NO:	4628 - 2 Kabarcık	4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
SİSTEM 1	√	1	0	Ri3	0	0
	√	2	0	Ri2	0	0
	x	3	0	Ri0 - Pas gibi görünen kirler var.	0	0
SİSTEM 2	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 3	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 4	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 5	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 6	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 7	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 8	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0

Çizelge 4.18 SA 2 1/2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN MARSHALL'DAKİ DENEYDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI						
	Çizik	NO:	4628 - 2 Kabarcık	4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
SİSTEM 1	√	1	0	Ri2 - Gözle görülen bir paslanma olmasa da, mikroskop ile bakıldığında tüm alanda ufak pascıkların oluşmuş olduğu görüldü. Yüzeze çıplak gözle bakıldığında bunlar fark edilmiyor.	0	0
	√	2	0	Ri2 - Gözle görülen bir paslanma olmasa da, mikroskop ile bakıldığında tüm alanda ufak pascıkların oluşmuş olduğu görüldü. Yüzeze çıplak gözle bakıldığında bunlar fark edilmiyor.	0	0
	x	3	0	Ri4	0	0
SİSTEM 2	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 3	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 4	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 5	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 6	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 7	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 8	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0

Çizelge 4.19 St 2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN MARSHALL'DAKİ DENEYDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI						
	Çizik	NO:	4628 - 2 Kabarcık	4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
SİSTEM 1	√	1	0	Ri3	0	0
	√	2	0	Ri3	0	0
	x	3	0	Ri3	0	0
SİSTEM 2	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 3	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 4	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 5	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 6	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 7	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 8	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0

Çizelge 4.20 SA 2 1/2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN KALAMIŞ'DAKİ DENEYDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI						
	Çizik	NO:	4628 - 2 Kabarcık	4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
SİSTEM 1	√	1	0	Ri2 - Gözle görülen bir paslanma olmasa da, mikroskop ile bakıldığında tüm alanda ufak pascıkların oluşmuş olduğu görüldü. Yüzeye çıplak gözle bakıldığında bunlar fark edilmiyor.	0	0
	√	2	0	Ri2 - Gözle görülen bir paslanma olmasa da, mikroskop ile bakıldığında tüm alanda ufak pascıkların oluşmuş olduğu görüldü. Yüzeye çıplak gözle bakıldığında bunlar fark edilmiyor.	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 2	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 3	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 4	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 5	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 6	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 7	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 8	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0

Çizelge 4.21 St 2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN KALAMIŞ'DAKİ DENEYDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI						
	Çizik	NO:	4628 - 2 Kabarcık	4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
SİSTEM 1	√	1	0	Ri2 - Gözle görülen bir paslanma olmasa da, mikroskop ile bakıldığında tüm alanda ufak pascıkların oluşmuş olduğu görüldü. Yüzeye çıplak gözle bakıldığında bunlar fark edilmiyor.	0	0
	√	2	0	Ri2 - Gözle görülen bir paslanma olmasa da, mikroskop ile bakıldığında tüm alanda ufak pascıkların oluşmuş olduğu görüldü. Yüzeye çıplak gözle bakıldığında bunlar fark edilmiyor.	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 2	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 3	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 4	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 5	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 6	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 7	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0
SİSTEM 8	√	1	0	Ri0	0	0
	√	2	0	Ri0	0	0
	x	3	0	Ri0	0	0

4.1.6 Paneller üzerindeki boyanın yüzeye yapışma kuvveti

Test, ISO 2409 ve ISO 4624'e uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.22. ISO 2409 ve ISO 4624 Standardına Uygun Olarak Numuneler Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışması Sonucu (Testten Önce)							
		Kimar		Marshall		Kalamış	
Sistem No:	Numune No:	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2
1	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
2	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
3	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
4	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
5	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
6	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
7	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
8	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0

Çizelge 4.23. ISO 2409 ve ISO 4624 Standardına Uygun Olarak Numuneler Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışması Sonucu (Testten Sonra)							
		Kimar		Marshall		Kalamış	
Sistem No:	Numune No:	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2
1	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
2	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
3	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
4	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
5	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
6	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
7	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
8	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0

4.1.7 Paneller üzerindeki boyanın UV dayanımı

UV dayanımı için, 1, 2, 5 ve 6. Sistemler değerlendirilmiştir. Sistem 1 ve Sistem 5 numuneleri sadece astarlanarak bırakılmıştır. Sistem 2’de, Sistem 1 astarı üzerine UV dayanımlı boya, Sistem 6’da da Sistem 5 astarı üzerine UV dayanımlı boya uygulaması yapılmıştır. Bu şekilde UV dayanımı olan boyanın kullanımının gerekliliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Sistem 2, 3, 4, 6, 7 ve 8’de aynı tip UV dayanımlı boya kullanılmıştır.

UV dayanımı üç şekilde gösterilmeye çalışılmıştır. Birincisi, ISO 4628 – 7 standardından yararlanılarak, boyanın tebeşirlenip tebeşirlenmediği gösterilmiştir. Özellikle aromatik yapılı epoksi boyalar UV ışınları altında bozularak tebeşirlenirler. Alifatik yapılı poliüretan boyalar ise UV dayanımlıdır, tebeşirlenme görülmez.

İkinci olarak da boyalardaki renk değişimi ISO 7724 standardına uygun olarak Minolta marka bir spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür.

Üçüncü yöntem olarak da ISO 2813’e göre boyanın parlaklık kaybı tespit edilmiştir.

Her üç yöntemle yapılan ölçümlerde de, yüzey hazırlığının çok fazla etkisi olmadığı görülmüştür.

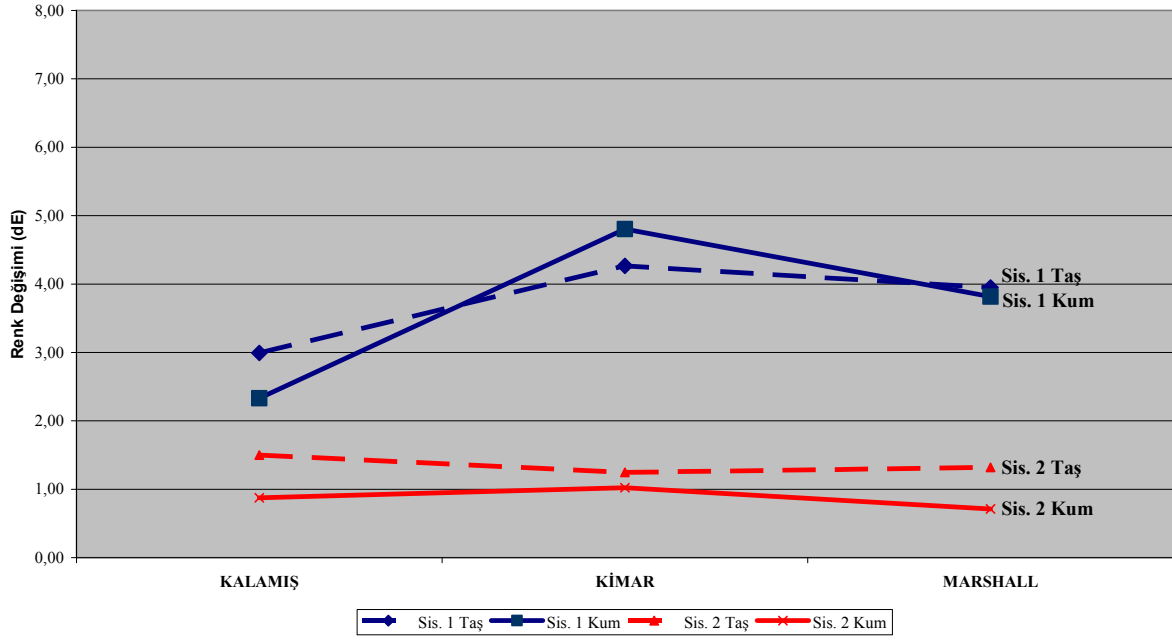
a. ISO 4628 – 7 standardına göre numunelerin UV dayanımı, tebeşirlenme özelliği temel alınarak subjektif olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.24. Saha testi yapılmış numunelerde oluşan tebeşirlenmenin ISO 4628 - 7 standardına göre değerlendirilmesi				
Sistem No:	Numune No:	Kimar	Marshall	Kalamış
1	1	2	2	2
	2	2	2	2
	3	2	2	2
2	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
5	1	5	5	5
	2	5	5	5
	3	5	5	5
6	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0

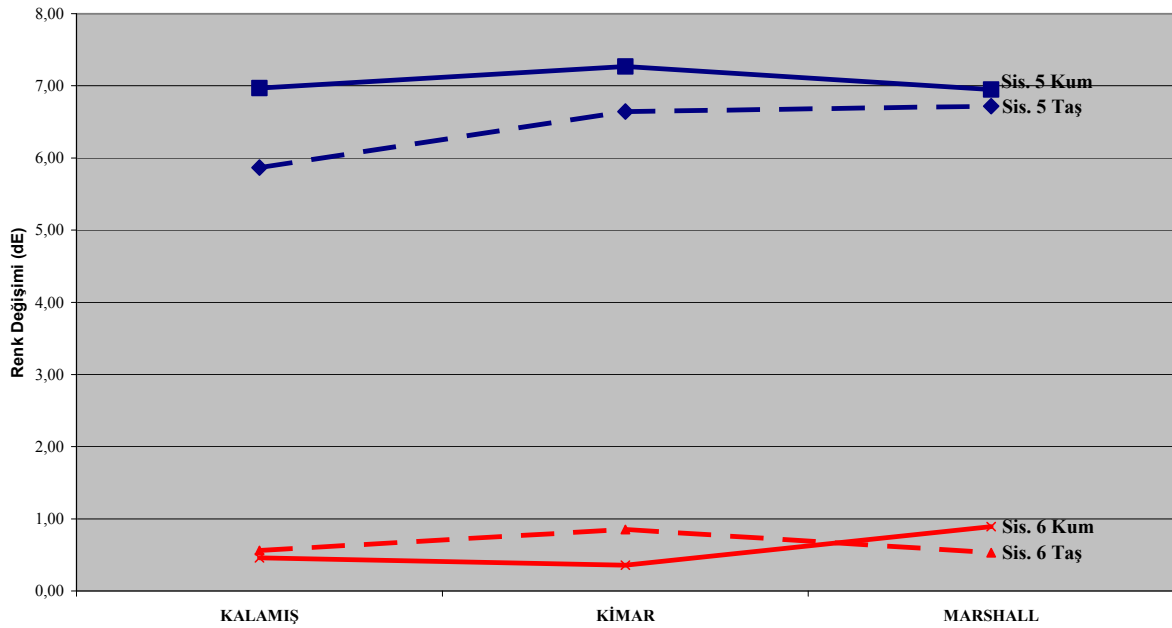
b. Renk değişimi Minolta test cihazı kullanılarak ISO 7724 Standardına uygun olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.25. ISO 7724 standardına uygun olarak Minolta cihazı ile yapılmış olan renk farkı ölçümleri								
Sistem	1		2		5		6	
Bölge	Taş	Kum	Taş	Kum	Taş	Kum	Taş	Kum
Kalamış	2,99	2,33	1,50	0,88	5,87	6,97	0,90	0,54
Kimar	4,27	4,80	1,25	1,02	6,64	7,27	0,45	0,44
Marshall	3,95	3,82	1,32	0,71	6,72	6,95	0,64	1,21

Çizelge 4.26. Sistem 1 ve Sistem 2 Minolta Renk Değişimi Ölçüm Farkı



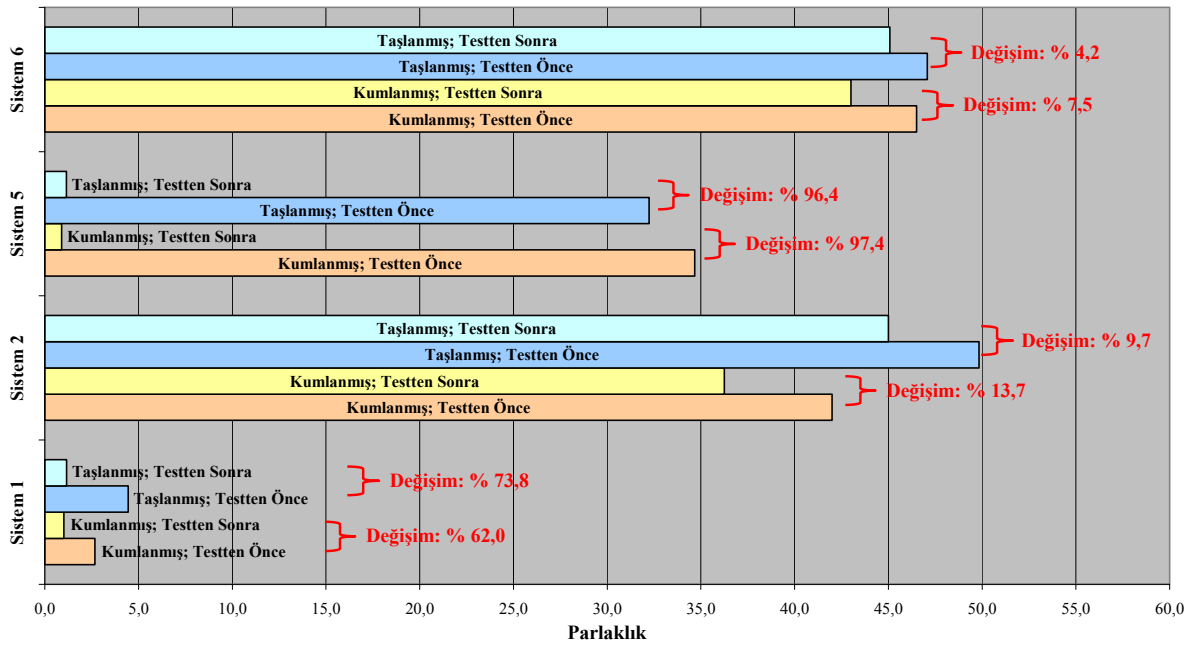
Çizelge 4.27. Sistem 5 ve Sistem 6 Minolta Renk Değişimi Ölçüm Farkı



c. Parlaklık değişimi ISO 2813 standardına uygun olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.28. ISO 2813 Standardına Uygun Olarak Numunelerin Parlaklık Derecesinin Değerlendirme Tablosu						
	Kumlama			Taşlama		
	Deneyden Önce	Deneyden Sonra	% Fark	Deneyden Önce	Deneyden Sonra	% Fark
Sistem 1	2,7	1,0	-62,0	4,5	1,2	-73,8
Sistem 2	42,0	36,3	-13,7	49,8	45,0	-9,7
Sistem 5	34,7	0,9	-97,4	32,2	1,2	-96,4
Sistem 6	46,5	43,0	-7,5	47,1	45,1	-4,2

Çizelge 4.29. Saha Testine Maruz Bırakılmış Numunelerin Parlaklık Değişimi



4.2 Laboratuvar Testleri

4.2.1 Tuz Püskürtme Testi

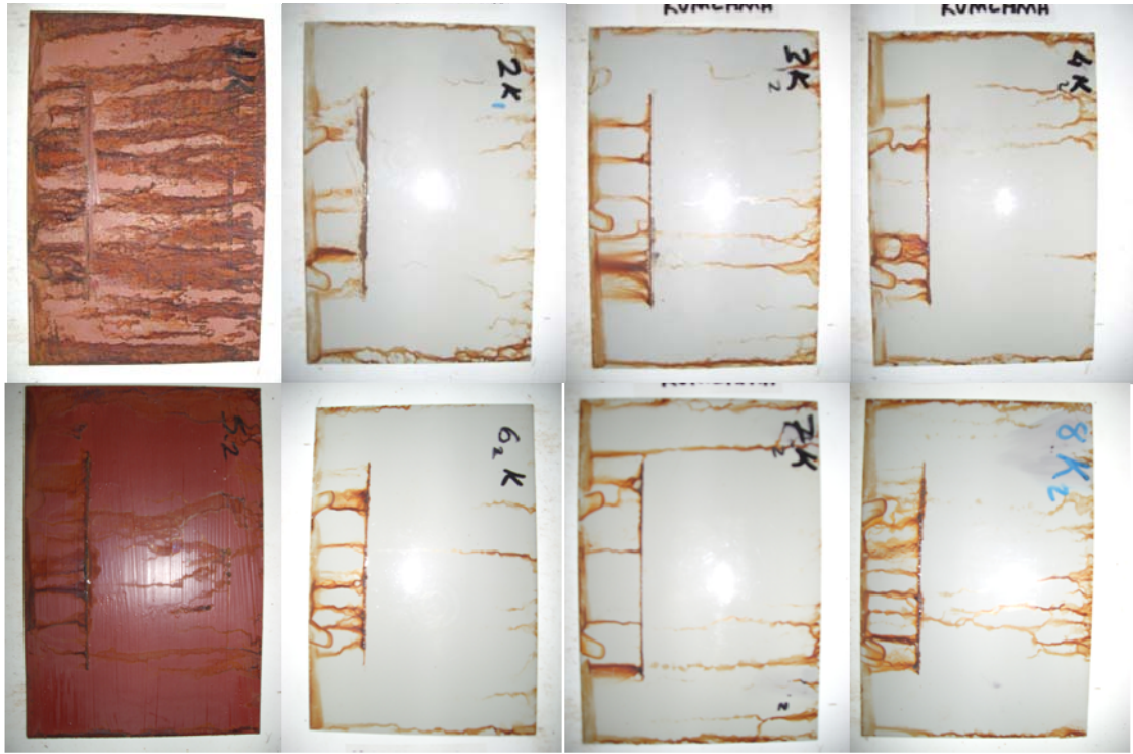
Temmuz 2007’de Tübitak’da yaptırılmış olan 480, 720 ve 960 saatlik tuz püskürtme testleri yaptırılmıştır. Teste tabii tutulmuş tüm panellerin resimleri aşağıdadır. Sistemlerin tüm saatlere göre durumları EK 2’dedir.



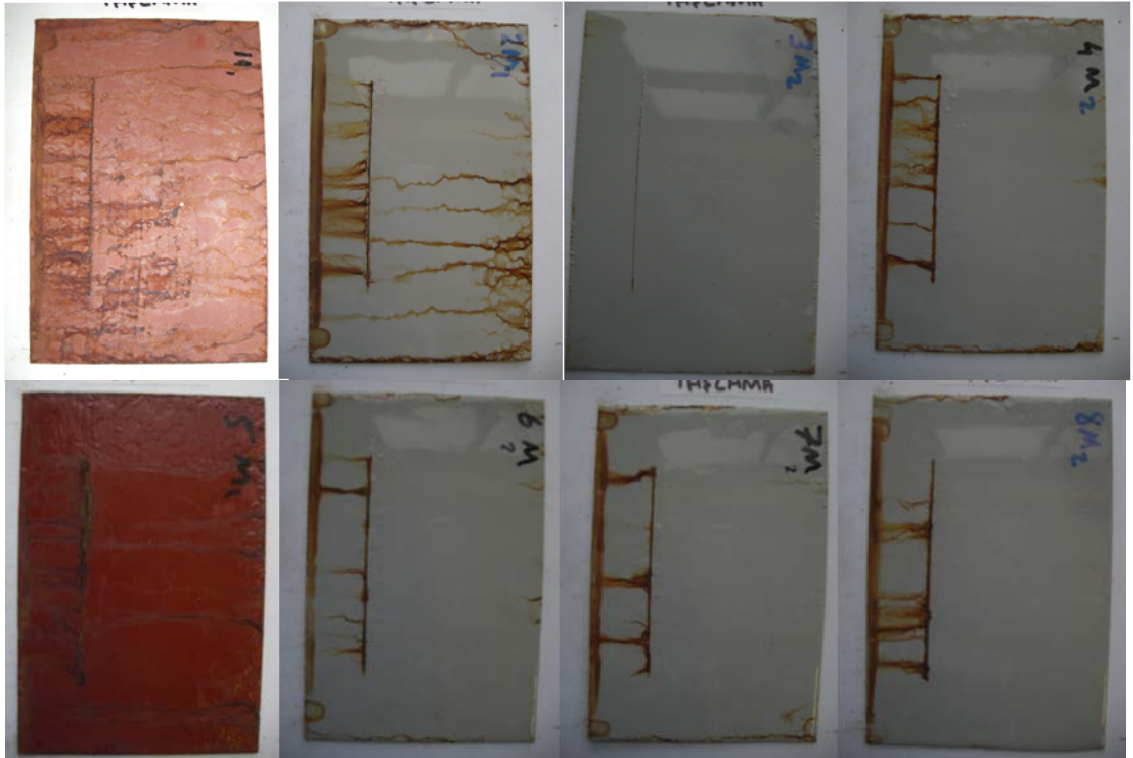
Şekil 4.13 Tuz Püskürtme Testi için Şahit Numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.14 Tuz Püskürtme Testi için Şahit Numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.15 480 Saatlik Tuz Pöskürtme Testi için Numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.16 480 Saatlik Tuz Pöskürtme Testi için Numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.17 720 Saatlik Tuz Püskürtme Testi için Numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.18 720 Saatlik Tuz Püskürtme Testi için Numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.19 960 Saatlik Tuz Piskürtme Testi için Numuneler. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.20 960 Saatlik Tuz Piskürtme Testi için Numuneler. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8

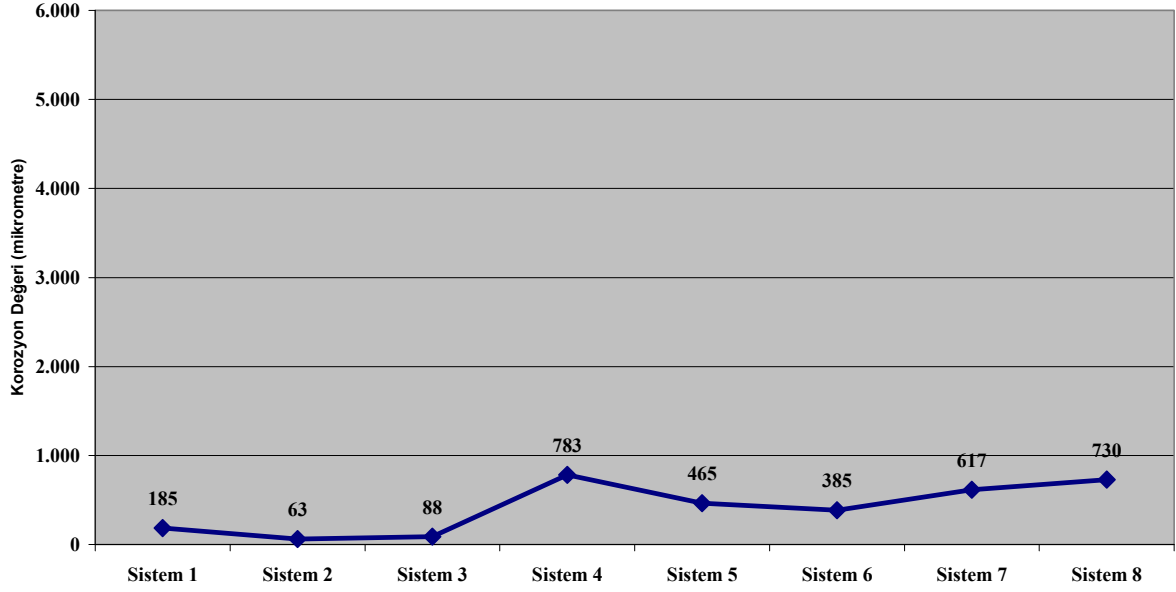
4.2.1.1 Paneller Üzerindeki Çizik ve Çevresi İçin Korozyon ve Delaminasyon Tabloları ve Grafikleri

Korozyon tablolarındaki korozyon ve delaminasyon değerleri ISO 4628 – 8 standardına uygun bir şekilde hesaplanmıştır.

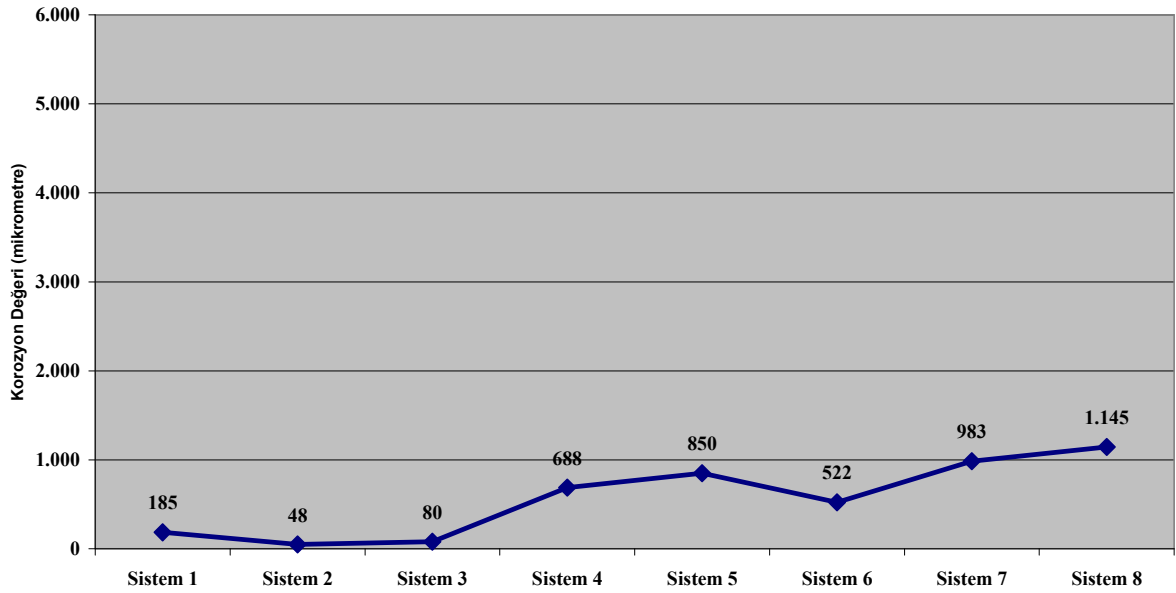
Çizelge 4.30. ISO 4628 - 8'e Göre Korozyon ve Delaminasyon Genişlikleri							
SA 2,5 Yüzey Hazırlığı Yapılmış Paneller Üzerindeki Çizik Genişliği Fark Ortalaması (Mikrometre)	480 Saat	720 Saat	960 Saat	St 2 Yüzey Hazırlığı Yapılmış Paneller Üzerindeki Çizik Genişliği Fark Ortalaması (Mikrometre)	480 Saat	720 Saat	960 Saat
Sistem No:				Sistem No:			
1	185	93	150	1	185	185	185
2	63	373	305	2	48	452	257
3	88	85	83	3	80	83	177
4	783	1.025	8.570	4	688	14.688	10.953
5	465	845	562	5	850	22.403	16.987
6	385	1.018	7.490	6	522	11.705	8.038
7	617	797	484	7	983	12.675	20.175
8	730	9.305	8.305	8	1.145	10.845	9.845

Aşağıda sırasıyla 480 Saat, 720 Saat ve 960 Saat korozyona maruz bırakılmış numunelerin, korozyon değerleri grafikleri görülmektedir. İlk grafik, kumlanmış, ikinci grafik de taşlanmış numunelerin grafiğidir.

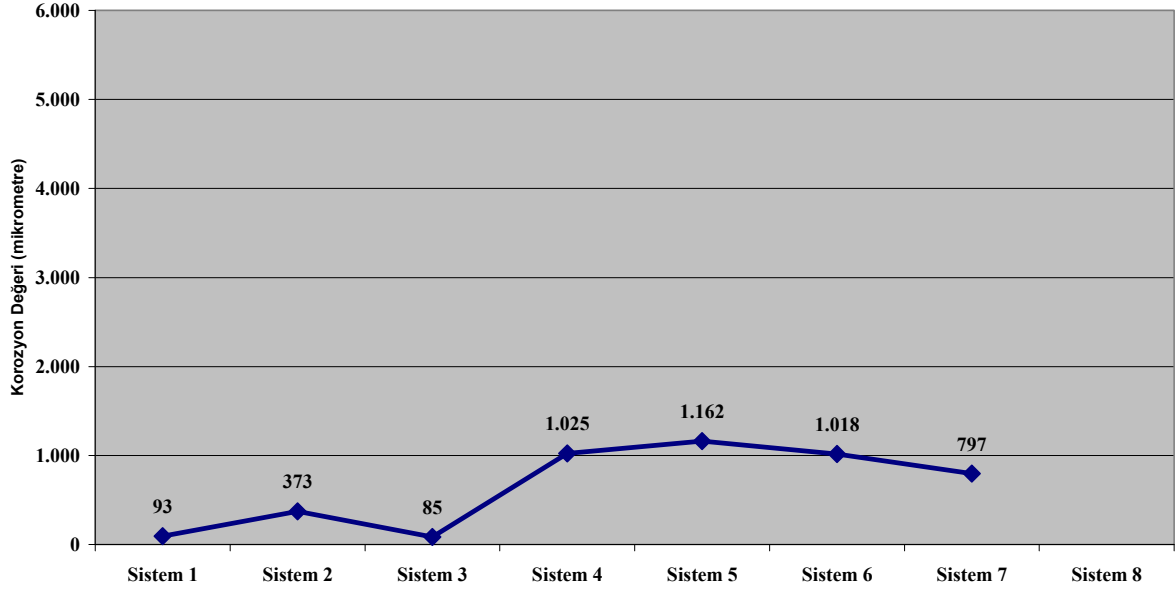
Çizelge 4.31 480 Saatlik Tuz Testi Sonucu Kumlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



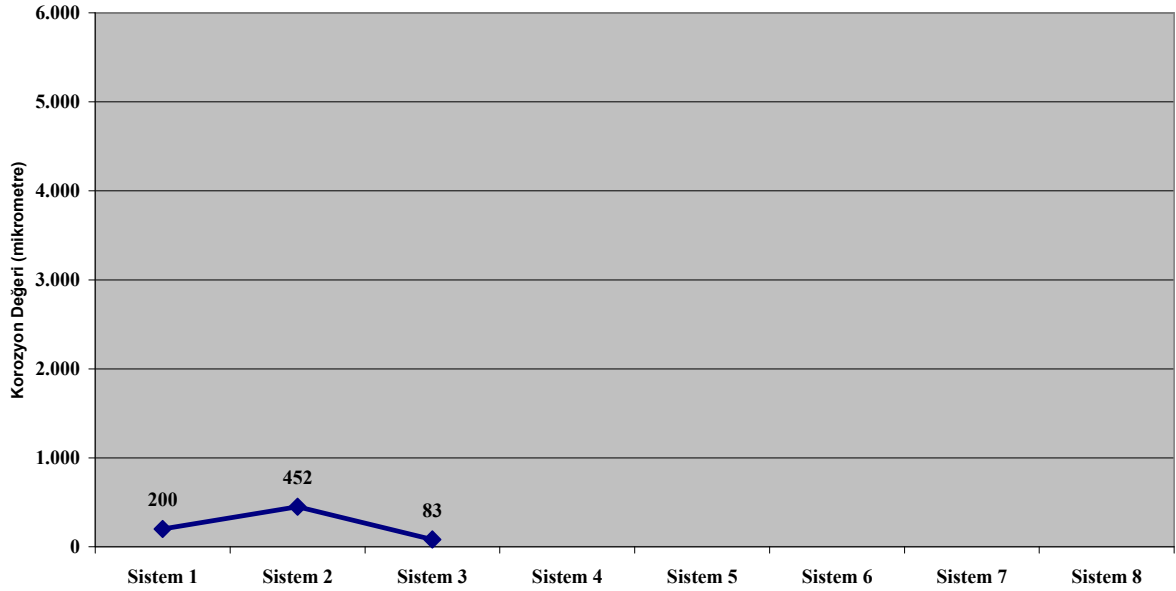
Çizelge 4.32 480 Saatlik Tuz Testi Sonucu Taşlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



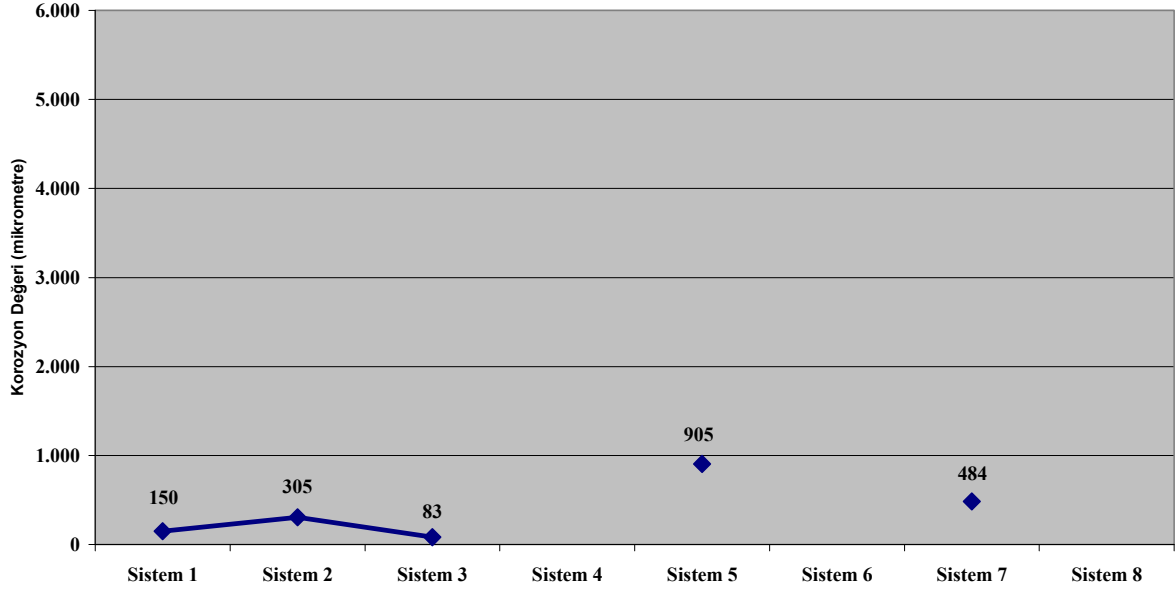
Çizelge 4.33 720 Saatlik Tuz Testi Sonucu Kumlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



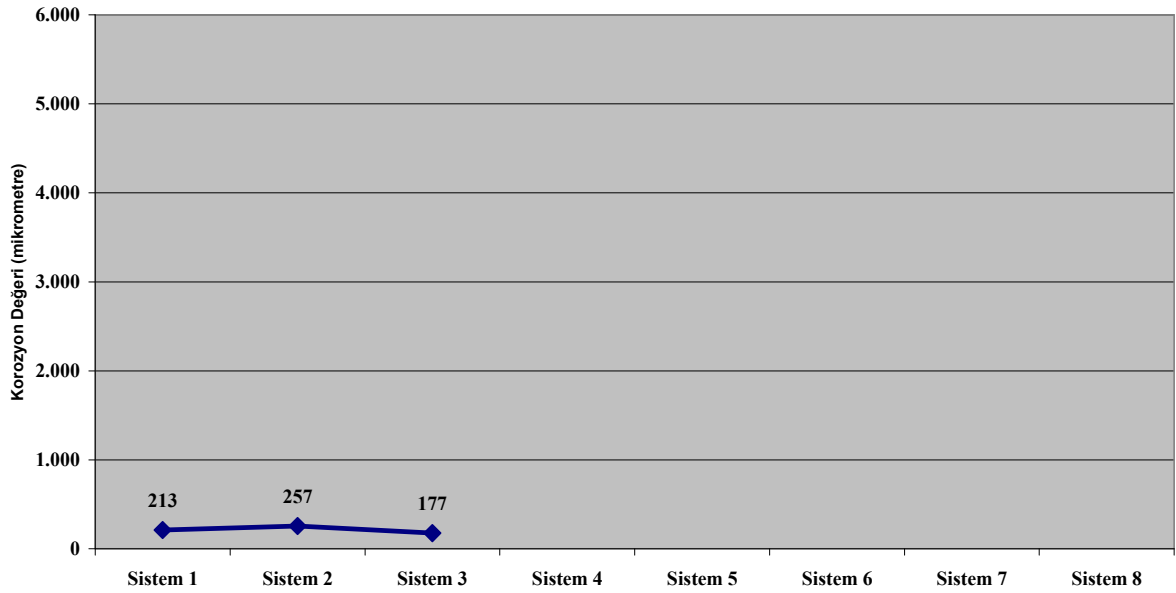
Çizelge 4.34 720 Saatlik Tuz Testi Sonucu Taşlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)



Çizelge 4.35. 960 Saatlik Tuz Testi Sonucu Kumlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)

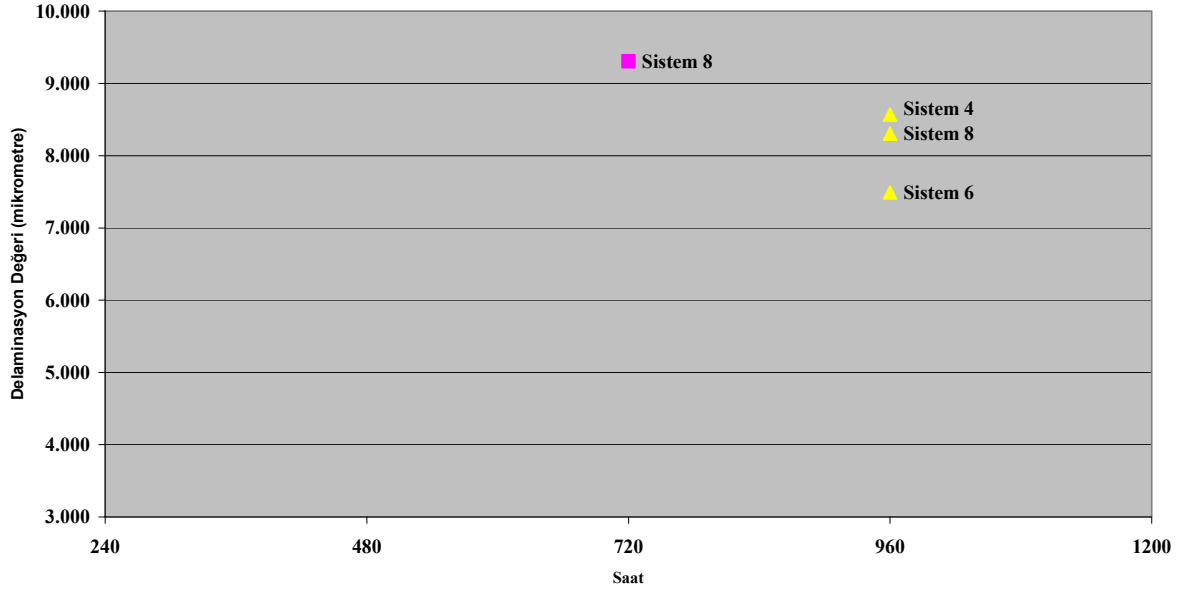


Çizelge 4.36. 960 Saatlik Tuz Testi Sonucu Taşlanmış Numunelerde Gözlemlenen Ortalama Korozyon Çizgisi Genişliği, (mikrometre)

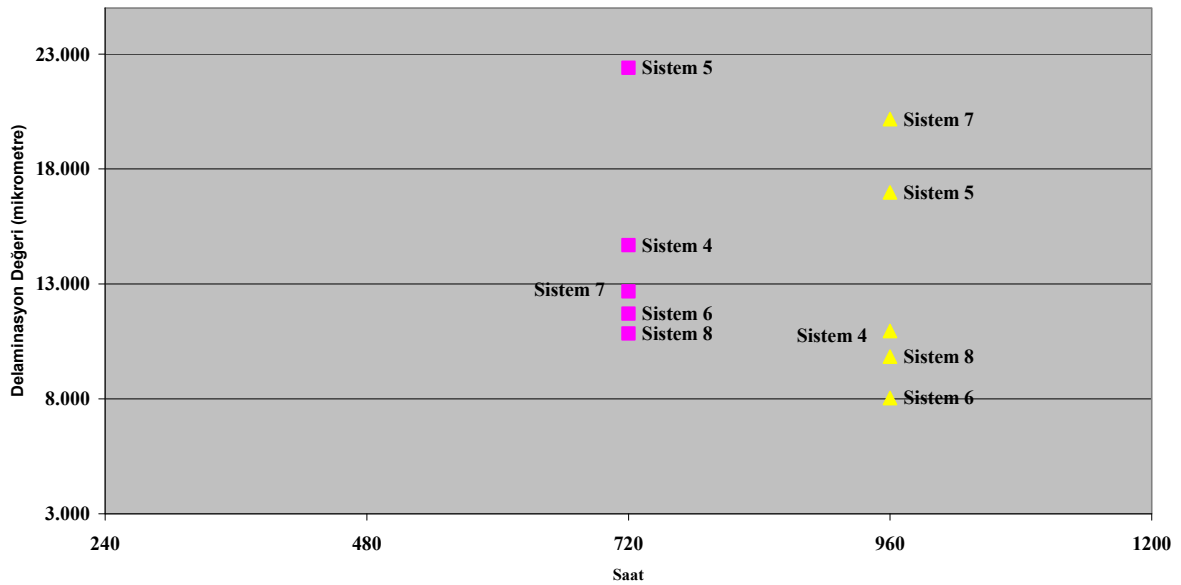


Çizelge 4.37 ve 4.38, tuz püskürtme testleri sırasında oluşmuş olan delaminasyonun değerini göstermektedir. Çizelge 4.37 kumlanmış, Çizelge 4.38 ise taşlanmış numunelerin grafiğidir.

Çizelge 4.37 Tuz Testi Sonucu Kumlanmış Numunelerde Görülen Delaminasyon Genişlikleri (Mikrometre)



Çizelge 4.38 Tuz Testi Sonucu Taşlanmış Numunelerde Görülen Delaminasyon Genişlikleri (Mikrometre)



4.2.1.2 Paneller Üzerinde Çizikli Olmayan Bölgenin Yüzey Değerlendirme Tabloları

Değerlendirmeler ISO 4628 – 1 standardına uygun olarak yapılmıştır. “0” kusur veya değişikliğin olmadığını, “5” ise çok ciddî kusurların veya değişikliklerin olduğu anlamına gelmektedir. Tablolardaki sonuçlar, panellerin çizikli olmayan kısımlarındaki boya yüzeyinin ISO 4628 – 2 standardına göre kabarcık oluşumunun, ISO 4628 – 3 standardına göre paslanmanın, ISO 4628 – 4 standardına göre çatlamanın, ISO 4628 – 5 standardına göre pullanma oluşumunun subjektif değerlendirilmesidir. Bu değerlendirmeler kişiden kişiye

Çizelge 4.39 SA 2 1/2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN TUZ PÜSKÜRTME DENEYİNDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI					
	Sistem 1				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	5(S2)	Ri 1		0
720 Saat	✓	5(S2)	Ri 1		0
960 Saat	✓	5(S2)	Ri 2		0
	Sistem 2				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	3(S3)	Ri0		0
720 Saat	✓	2(S3)	Ri0		0
960 Saat	✓	2(S3)	Ri0		0
	Sistem 3				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	0	Ri0		0
720 Saat	✓	0	Ri0		0
960 Saat	✓	0	Ri0		0
	Sistem 4				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	0	Ri0		0
720 Saat	✓	0	Ri0		0
960 Saat	✓	0	Ri0		0
	Sistem 5				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	0	Ri0		0
720 Saat	✓	0	Ri0		0
960 Saat	✓	3(S3)	Ri2		0
	Sistem 6				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	4(S2)	Ri0		0
720 Saat	✓	5(S2)	Ri0		0
960 Saat	✓	5(S3)	Ri0		0
	Sistem 7				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	0	Ri0		0
720 Saat	✓	0	Ri0		0
960 Saat	✓	0	Ri0		0
	Sistem 8				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
480 Saat	✓	0	Ri0		0
720 Saat	✓	0	Ri0		0
960 Saat	✓	0	Ri0		0

değişkenlik gösterebilir. Numunelerin kenar, köşe ve çivi deliği kısmında oluşan bozulmalar değerlendirilmemiştir. Tablolarda elde edilen sonuçların bazıları, numunenin resimleriyle de açıklanmaya çalışılmıştır. (Her sistem için 2 numune hazırlanmıştır. Bu numunelerden ikisinde de çizik oluşturulmuştur.)

Çizelge 4.40 St 2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN TUZ PÜSKÜRTME DENEYİNDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI						
	Sistem 1				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	4(S3)	Ri1		0	0
720 Saat	√	5(S3)	Ri2		0	0
960 Saat	√	4(S4)	Ri2		0	0
	Sistem 2				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	0	Ri0		0	0
720 Saat	√	2(S2)	Ri0		0	0
960 Saat	√	0	Ri0		0	0
	Sistem 3				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	0	Ri0		0	0
720 Saat	√	0	Ri0		0	0
960 Saat	√	0	Ri0		0	0
	Sistem 4				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	0	Ri0		0	0
720 Saat	√	0	Ri0		0	0
960 Saat	√	0	Ri0		0	0
	Sistem 5				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	0	Ri0		0	0
720 Saat	√	2(S3)	Ri0		0	0
960 Saat	√	2(S3)	Ri0		0	0
	Sistem 6				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	4(S2)	Ri0		0	0
720 Saat	√	5(S2)	Ri0		0	0
960 Saat	√	5(S3)	Ri0		0	0
	Sistem 7				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	0	Ri0		0	0
720 Saat	√	0	Ri0		0	0
960 Saat	√	0	Ri0		0	0
	Sistem 8				4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık				
480 Saat	√	0	Ri0		0	0
720 Saat	√	0	Ri0		0	0
960 Saat	√	0	Ri0		0	0

4.2.1.3 Paneller Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışma Kuvveti

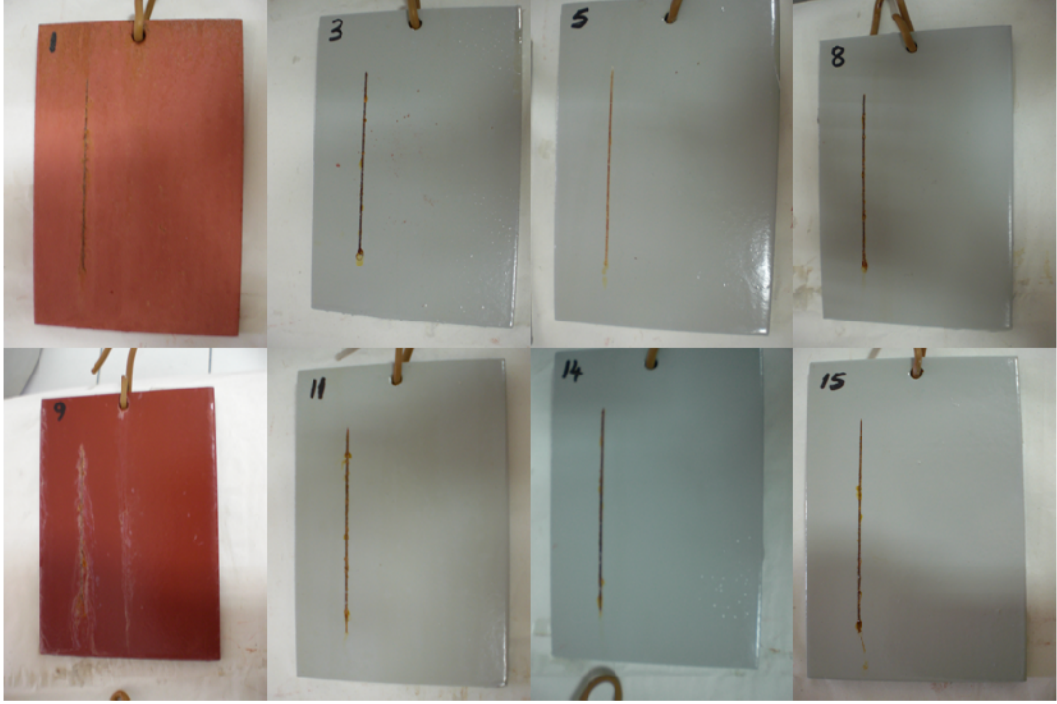
Test, ISO 2409 ve ISO 4624'e uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.41 ISO 2409 ve ISO 4624 Standardına Uygun Olarak Numuneler Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışması Sonucu (Testten Önce)							
		480 Saat		720 Saat		960 Saat	
Sistem No:	Numune No:	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2
1	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
2	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
3	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
4	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
5	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
6	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
7	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
8	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0

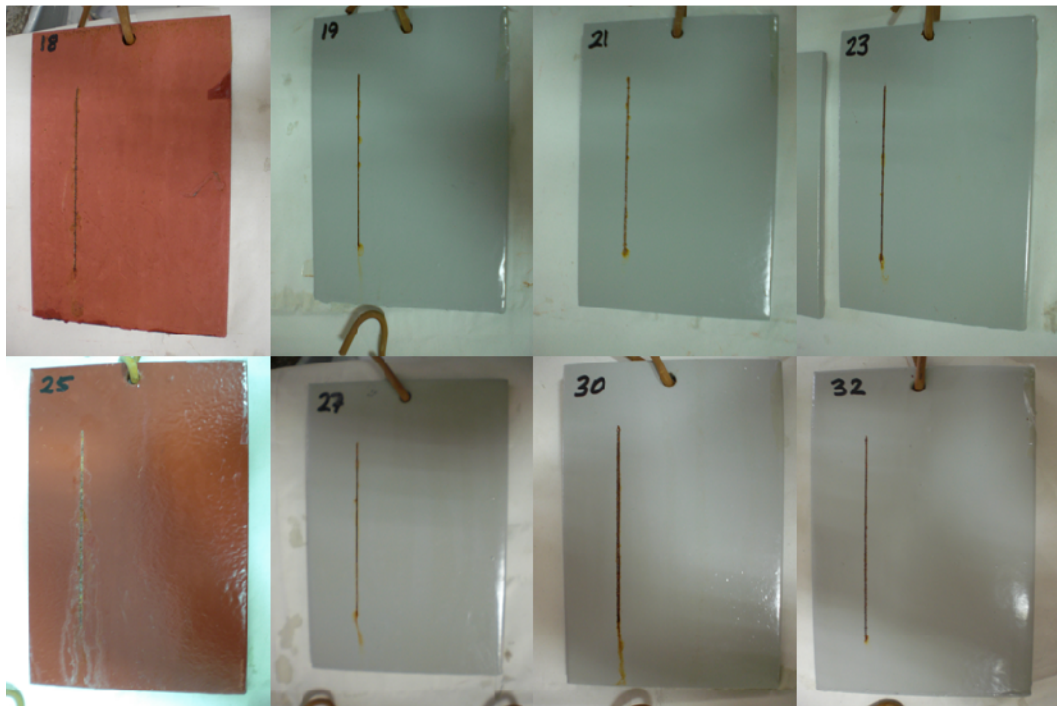
Çizelge 4.42 ISO 2409 ve ISO 4624 Standardına Uygun Olarak Numuneler Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışması Sonucu (Testten Sonra)							
		480 Saat		720 Saat		960 Saat	
Sistem No:	Numune No:	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2	SA 2 1/2	St 2
1	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
2	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
3	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
4	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
5	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
6	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
7	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
8	1	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0
	3	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0	GT 0

4.2.2 SO₂ Testi

Haziran 2008’de Tübitak’da SO₂ testi yaptırılmıştır. Test sırasında, 4., 10., 16. ve en son gün olan 21. günlerde değerlendirmeler yapılmıştır. Teste tabii tutulmuş tüm panellerin resimleri aşağıdadır. Sistemlerin tüm sürelerle göre durumları EK 3’dedir.



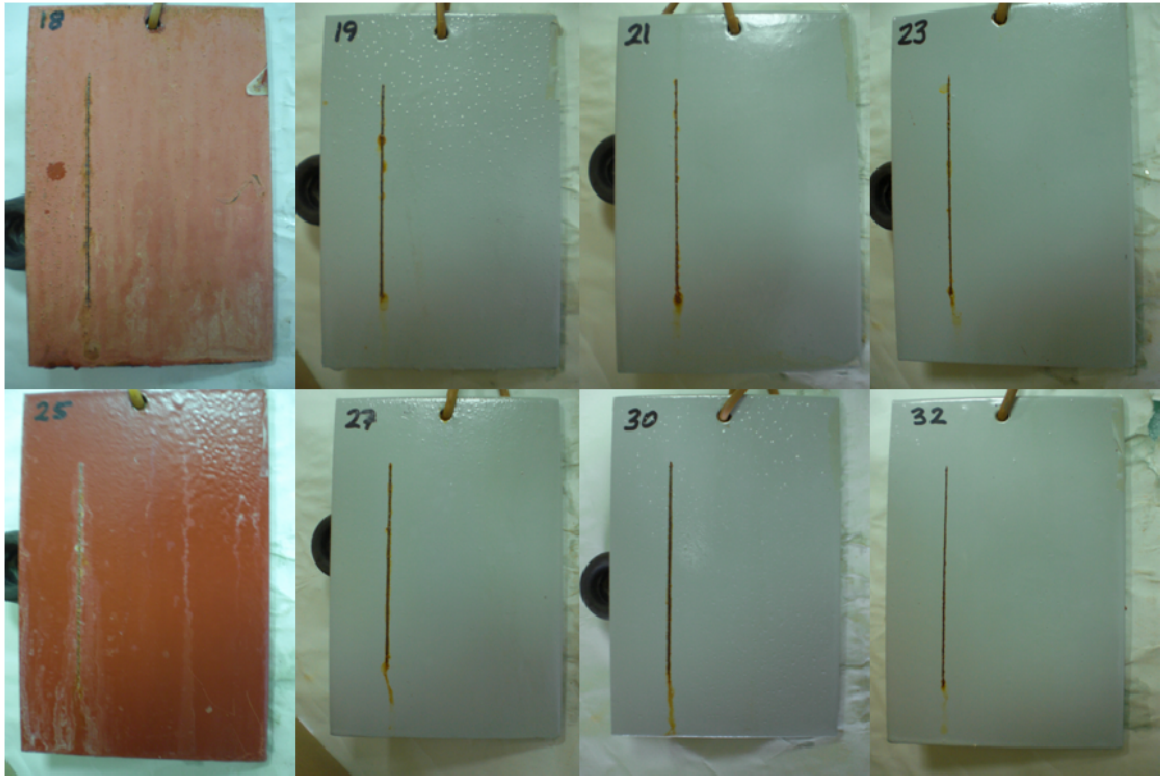
Şekil 4.21 SO₂ Testi 4. Cüm. Kümülatif. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



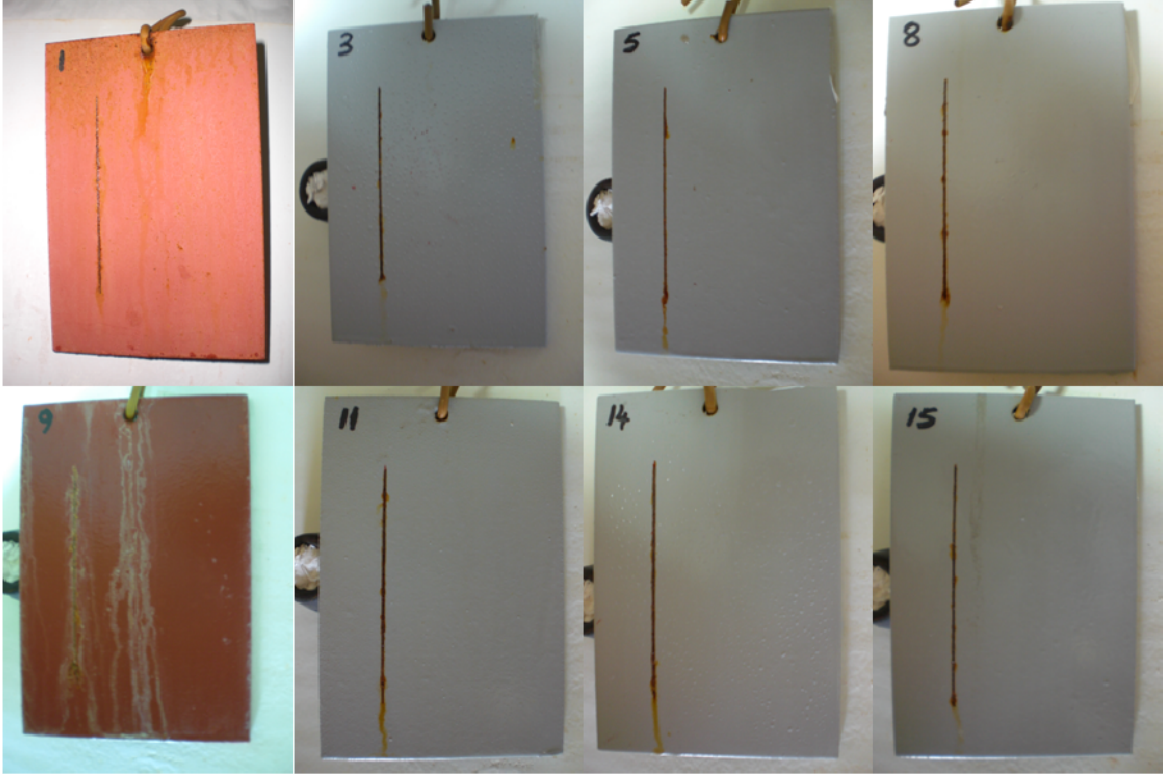
Şekil 4.22 SO₂ Testi 4. Cüm. Toplanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.23 SO₂ Testi 10. Gün. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



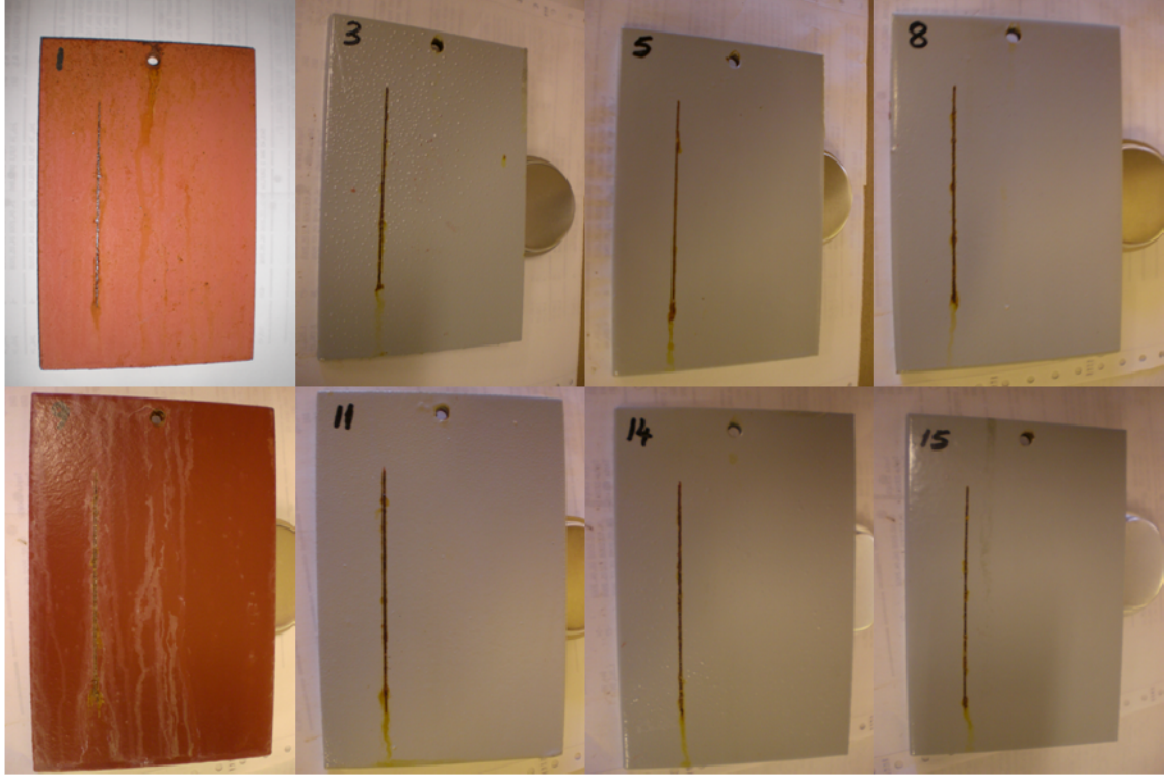
Şekil 4.24 SO₂ Testi 10. Gün. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



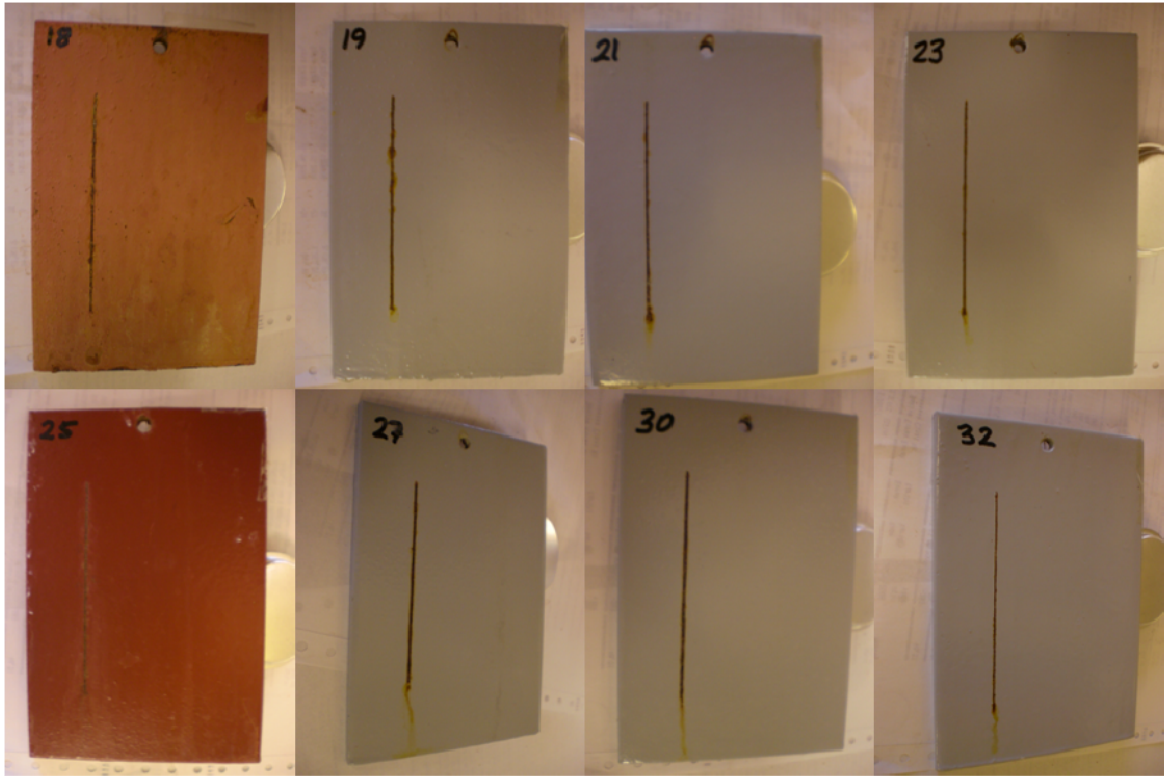
Şekil 4.25 SO₂ Testi 16. Gün. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.26 SO₂ Testi 16. Gün. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.27 SO₂ Testi 21. Gün. Kumlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8



Şekil 4.28 SO₂ Testi 21. Gün. Taşlanmış. Sol üst köşeden sağ alt köşeye: Sistem 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8

4.2.2.1 Paneller Üzerindeki Çizik ve Çevresi İçin Korozyon Tabloları ve Grafikleri

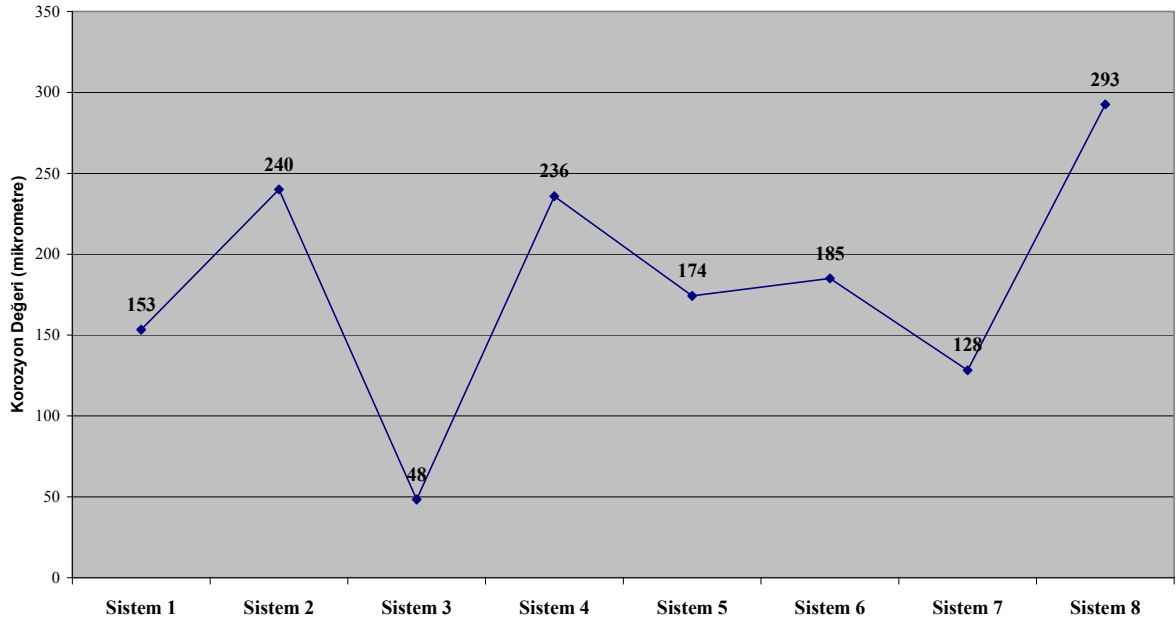
Korozyon tablolarındaki korozyon ve delaminasyon değerleri ISO 4628 – 8 standardına uygun bir şekilde hesaplanmıştır



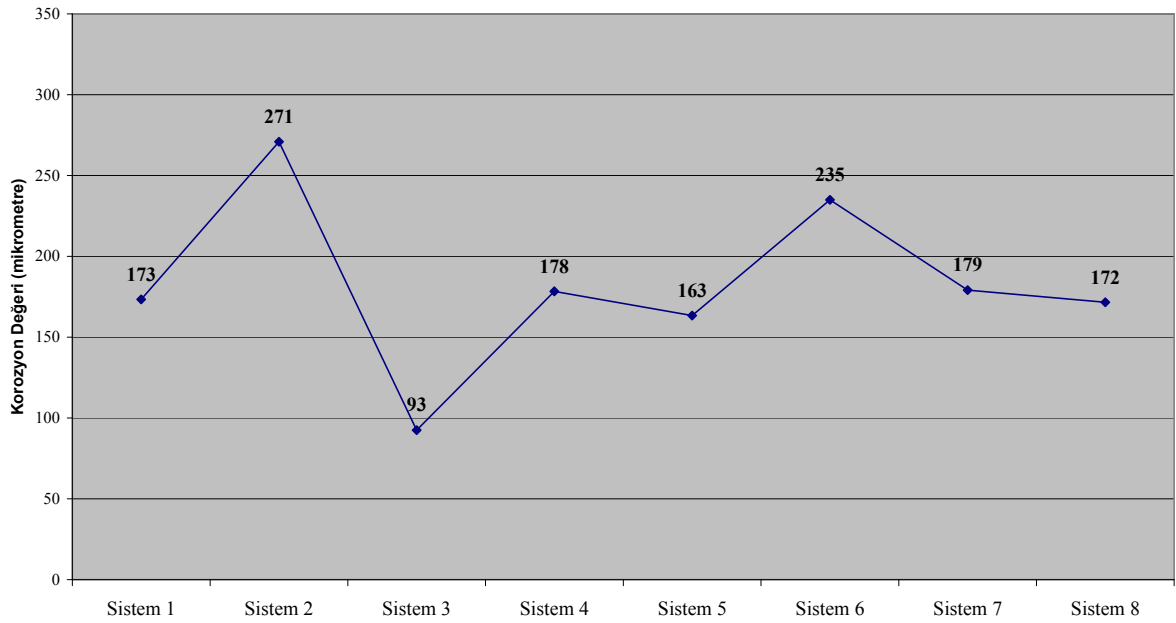
Şekil 4.29 SO₂ test düzeneği

Çizelge 4.43 SO ₂ Testi Sonucunda Oluşan Korozyon Değerleri (Mikrometre)		
Sistem:	SA 2½ Y.H. İçin değerler	St 2 Y.H. İçin değerler
Sistem 1	153	173
Sistem 2	240	271
Sistem 3	48	93
Sistem 4	236	178
Sistem 5	174	163
Sistem 6	185	235
Sistem 7	128	179
Sistem 8	293	172

Çizelge 4.44 SO₂ Testi Sonucunda Kumlanmış Numunelerin Korozyon Değeri



Çizelge 4.45 SO₂ Testi Sonucunda Taşlanmış Numunelerin Korozyon Değeri



4.2.2.2 Paneller Üzerinde Çizikli Olmayan Bölgenin Yüzey Değerlendirme Tabloları

Değerlendirmeler ISO 4628 – 1 standardına uygun olarak yapılmıştır. “0” kusur veya değişikliğin olmadığını, “5” ise çok ciddi kusurların veya değişikliklerin olduğu anlamına gelmektedir. Tablolardaki sonuçlar, panellerin çizikli olmayan kısımlarındaki boya yüzeyinin ISO 4628 – 2 standardına göre kabarcık oluşumunun, ISO 4628 – 3 standardına göre

Çizelge 4.46. SA 2 1/2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN SO ₂ DENEYİNDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI					
	Sistem 1				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri2		0
10. Gün	✓	0	Ri3		0
16. Gün	✓	1(S1)	Ri3		0
21. Gün	✓	1(S1)	Ri3		0
	Sistem 2				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri0		0
10. Gün	✓	2(S3)	Ri0		0
16. Gün	✓	3(S3)	Ri0		0
21. Gün	✓	3(S3)	Ri0		0
	Sistem 3				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri0		0
10. Gün	✓	0	Ri0		0
16. Gün	✓	0	Ri0		0
21. Gün	✓	0	Ri0		0
	Sistem 4				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri0		0
10. Gün	✓	0	Ri0		0
16. Gün	✓	0	Ri0		0
21. Gün	✓	0	Ri0		0
	Sistem 5				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri0		0
10. Gün	✓	0	Ri0		0
16. Gün	✓	0	Ri0		0
21. Gün	✓	0	Ri0		0
	Sistem 6				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri0		0
10. Gün	✓	1(S1)	Ri0		0
16. Gün	✓	3(S3)	Ri0		0
21. Gün	✓	3(S3)	Ri0		0
	Sistem 7				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri0		0
10. Gün	✓	1(S1)	Ri0		0
16. Gün	✓	2(S3)	Ri0		0
21. Gün	✓	2(S3)	Ri0		0
	Sistem 8				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 3 Paslan.	4628 - 4 Çatlama
4. Gün	✓	0	Ri0		0
10. Gün	✓	0	Ri0		0
16. Gün	✓	0	Ri0		0
21. Gün	✓	0	Ri0		0

paslanmanın, ISO 4628 – 4 standardına göre çatlamamanın, ISO 4628 – 5 standardına göre pullanma oluşumunun sübjektif değerlendirilmesidir. Bu değerlendirmeler kişiden kişiye değişkenlik gösterebilir. Numunelerin kenar, köşe ve çivi deliği kısmında oluşan bozulmalar değerlendirilmemiştir. Tablolarda elde edilen sonuçların bazıları, numunenin resimleriyle de açıklanmaya çalışılmıştır. (Her sistem için 2 numune hazırlanmıştır. Bu numunelerden ikisinde de çizik oluşturulmuştur.)

Çizelge 4.47. St 2 MERTEBESİNDE YÜZEY HAZIRLIĞI YAPILMIŞ OLAN NUMUNELERİN SO ₂ DENEYİNDEN SONRAKİ YÜZEY DEĞERLENDİRME SONUÇLARI					
	Sistem 1				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri1	0	0
10. Gün	✓	0	Ri2	0	1
16. Gün	✓	1(S1)	Ri4	0	1
21. Gün	✓	1(S1)	Ri4	0	1
	Sistem 2				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri0	0	0
10. Gün	✓	3(S3)	Ri0	0	0
16. Gün	✓	3(S3)	Ri0	0	0
21. Gün	✓	3(S3)	Ri0	0	0
	Sistem 3				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri0	0	0
10. Gün	✓	0	Ri0	0	0
16. Gün	✓	0	Ri0	0	0
21. Gün	✓	0	Ri0	0	0
	Sistem 4				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri0	0	0
10. Gün	✓	0	Ri0	0	0
16. Gün	✓	0	Ri0	0	0
21. Gün	✓	0	Ri0	0	0
	Sistem 5				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri0	0	0
10. Gün	✓	0	Ri0	0	0
16. Gün	✓	0	Ri0	0	0
21. Gün	✓	0	Ri0	0	0
	Sistem 6				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri0	0	0
10. Gün	✓	0	Ri0	0	0
16. Gün	✓	0	Ri0	0	0
21. Gün	✓	0	Ri0	0	0
	Sistem 7				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri0	0	0
10. Gün	✓	2(S3)	Ri0	0	0
16. Gün	✓	3(S3)	Ri0	0	0
21. Gün	✓	3(S3)	Ri0	0	0
	Sistem 8				
	Çizik	4628 - 2 Kabarcık		4628 - 4 Çatlama	4628 - 5 Pullanma
4. Gün	✓	0	Ri0	0	0
10. Gün	✓	0	Ri0	0	0
16. Gün	✓	0	Ri0	0	0
21. Gün	✓	0	Ri0	0	0

4.2.2.3 Paneller Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışma Kuvveti

Test, ISO 2409 ve ISO 4624'e uygun olarak yapılmıştır.

Çizelge 4.48. ISO 2409 ve ISO 4624 Standardına Uygun Olarak Numuneler Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışması Sonucu (Testten Önce)			
		0. Gün	
Sistem No:	Numune No:	SA 2 1/2	St 2
1	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
2	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
3	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
4	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
5	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
6	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
7	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
8	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0

Çizelge 4.49. ISO 2409 ve ISO 4624 Standardına Uygun Olarak Numuneler Üzerindeki Boyanın Yüzeye Yapışması Sonucu (Testten Sonra)			
		21. Gün	
Sistem No:	Numune No:	SA 2 1/2	St 2
1	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
2	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
3	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
4	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
5	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
6	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
7	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0
8	1	GT 0	GT 0
	2	GT 0	GT 0

4.2.3. UV Testi

UV dayanımı olan boyanın kullanımının gerekliliği, laboratuvar testi ile tespit edilmeye çalışılmıştır. UV dayanımı için, 1, 2, ve 5. Sistemler değerlendirilmiştir. Sistem 1 ve Sistem 5 numuneleri sadece astarlanarak bırakılmıştır. Sistem 2’de, Sistem 1 astarı üzerine UV dayanımlı boya uygulaması yapılmıştır. Saha testinde Sistem 6 da değerlendirilmeye alınmıştır. Ancak Sistem 2 ile Sistem 6 arasında bir fark olmadığı için, UV laboratuvar testi sadece Sistem 2 ile yapılmıştır. UV korumalı son katı olan tüm sistemlerde aynı tip UV dayanımlı boya kullanılmıştır. Dolayısıyla Sistem 2’de elde ettiğimiz sonuçlar yeterli olacaktır.

Q-Lab marka bir UV cihazı içinde numuneler UVB 313 ışınımına 360 saat boyunca maruz bırakılmıştır.



Şekil 4.30 Son katlı numuneler



Şekil 4.31 Son katlı numuneler

Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de de görüldüğü gibi, UVB lambasının etkisi, UV korumasız ve UV korumalı boyalar üzerinde bariz bir şekilde belli olmaktadır.

UV dayanımı üç şekilde gösterilmeye çalışılmıştır. Birincisi, ISO 4628 – 7 standardından yararlanılarak, boyanın tebeşirlenip tebeşirlenmediği gösterilmiştir. Özellikle aromatik yapılı epoksi boyalar UV ışınları altında bozularak tebeşirlenirler. Alifatik yapılı poliüretan boyalar ise UV dayanımlıdır, tebeşirlenme görülmez.

İkinci olarak da boyalardaki renk değişimi ISO 7724 standardına uygun olarak Minolta marka bir spektrofotometre yardımıyla ölçülmüştür.

Üçüncü yöntem olarak da ISO 2813’e göre boyanın parlaklık kaybı tespit edilmiştir.

Her üç yöntemle yapıyla ölçümlerde de, yüzey hazırlığının çok fazla etkisi olmadığı görülmüştür.

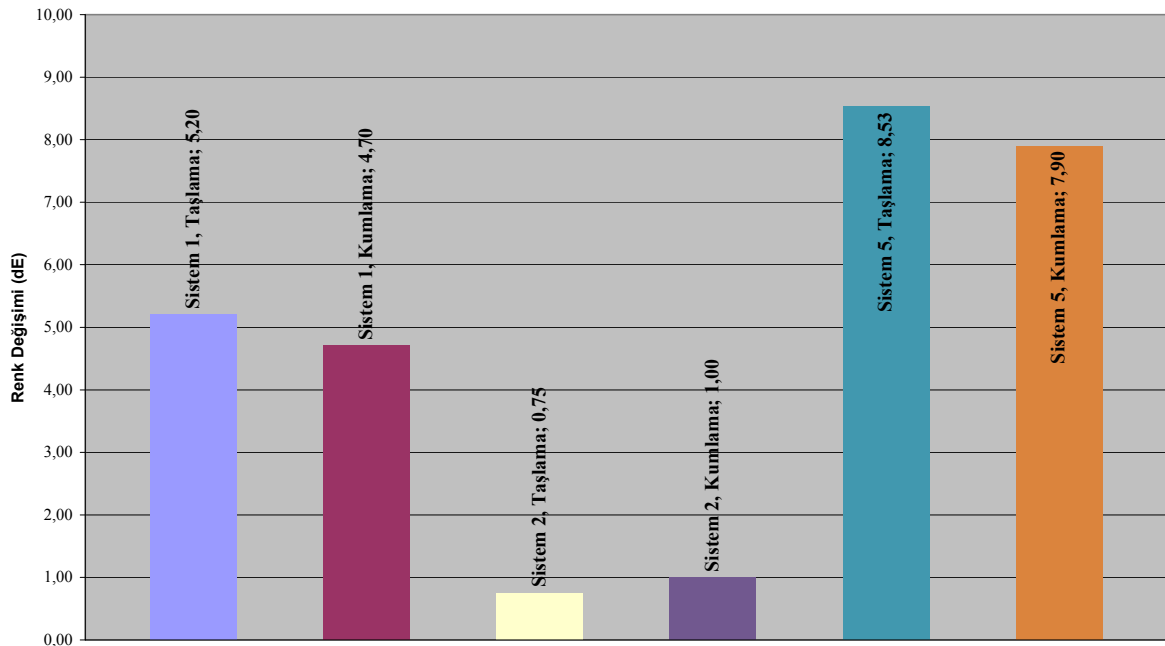
a. ISO 4628 – 7 standardına göre numunelerin UV dayanımı, tebeşirlenme özelliği temel alınarak sübjektif olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.50 UV testi yapılmış numunelerde oluşan tebeşirlenmenin ISO 4628 - 7 standardına göre değerlendirilmesi		
Sistem No:	Yüzey Hazırlığı:	Değer:
1	Kum	3
	Taş	3
2	Kum	0
	Taş	0
5	Kum	5
	Taş	5

b. Renk değişimi Minolta test cihazı kullanılarak ISO 7724 Standardına uygun olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.51 ISO 7724'e Göre Minolta Cihazı İle Yapılmış Olan Renk Farkı Ölçümleri						
Sistem	1		2		5	
	Taş	Kum	Taş	Kum	Taş	Kum
360 saatlik UV testi sonuçları	5,20	4,70	0,75	1,00	8,53	7,90

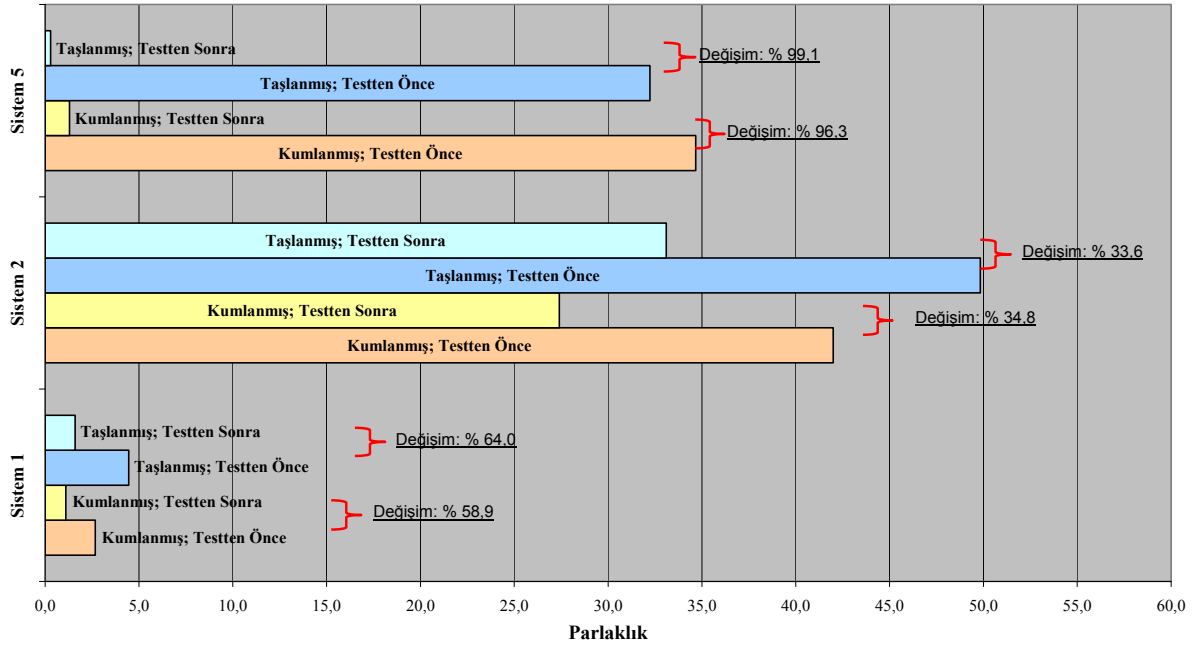
Çizelge 4.52 Sistem 1, Sistem 2 ve Sistem 5 Minolta Cihazı ile Bulunan Renk Değişimi



c. Parlaklık değişimi ISO 2813 standardına uygun olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.53 ISO 2813 Standardına Uygun Olarak Numunelerin Parlaklık Derecesinin Değerlendirme Tablosu						
	Kumlama			Taşlama		
	Deneyden Önce	Deneyden Sonra	% Fark	Deneyden Önce	Deneyden Sonra	% Fark
Sistem 1	2,7	1,1	-58,9	4,5	1,6	-64,0
Sistem 2	42,0	27,4	-34,8	49,8	33,1	-33,6
Sistem 5	34,7	1,3	-96,3	32,2	0,3	-99,1

Çizelge 4.54 UV Testine Maruz Bırakılmış Numunelerin Parlaklık Değişimi



5. DENEYSEL SONUÇLARININ İRDELENMESİ

5.1 Testler

5.1.1 Saha Testleri

5.1.1.1 Çizikli Alandaki Korozyon

Çizikli alandaki korozyon ölçümleri sayesinde, yara almış boyalı bir parçanın korozyondan etkilenmesi hakkında fikir sahibi olunur. Çizik olan bölgede, korozyon daha hızlı ilerler. Çizik, metale kadar ulaşmak zorunda olduğundan, korozyon boya filminin altından da ilerleme fırsatı bulur. Başlangıç çizik kalınlığı ile korozyon testinden sonraki çizik kalınlığı arasındaki fark, korozyon ilerlemesi hakkında fikir verir. Korozyon kalınlığı belli sınırlar içinde kalırsa bu korozyon, boya filminin kabarıp kalkmasına sebebiyet verip, çizginin çok ötesine ilerlemişse bu delaminasyon olarak adlandırılır.

Çizelge 5.1, farklı bölgelerde farklı yüzey hazırlığı yapılmış panellerin üzerine uygulanmış tüm sistemlerin korozyon ve delaminasyon değerlendirmelerini göstermektedir.

Çizelge 5.1 Boya sistemlerinin performanslarına göre dizilişleri									
Bölge	Yüz. Haz.	Sistem No / Çizik Kalınlığı (Mikrometre)							
Kimar	SA 2½	3	5	1	2	4	7	8	6
		20	104	136	163	163	196	268	293
	St 2	5	3	1	4	8	2	7	6
		124	142	192	253	272	338	405	13300
Marshall	SA 2½	3	7	2	5	4	2	8	6
		20	32	38	76	105	133	188	10631
	St 2	3	6	1	4	2	7	5	8
		92	95	103	113	126	166	205	11341
Kalamış	SA 2½	3	1	2	5	4	7	8	6
		30	33	98	145	170	181	206	360
	St 2	1	4	6	3	5	2	6	7
		78	141	160	172	195	222	289	325

Galvanik koruma sağlayan çinkoca zengin astara sahip Sistem 3, en iyi sonucu vermiştir. Sistem 3 için SA 2 ½ yüzey hazırlığı şart koşulmasına rağmen, St 2 yüzey hazırlığında bile diğer sistemlerden daha iyi veya yakın sonuçlar vermiştir. Sistem 3 dışındaki sistemler, sıralamada birbirlerine göre kesin bir şekilde üstünlük gösterecek bir yere oturmasalar da, çizgi kalınlığı aralıkları çok fazla değildir. Sadece birkaç bölgede çizgi kalınlığı 250 mikrometre'nin üzerine çıkmıştır. Bunları da deneysel hata olarak kabul edebiliriz. Sistem 4 ve 7, söz konusu sistemler arasında nispeten daha istikrarlı sonuç vermişlerdir.

Sistem 2, shop primer astar, solventli epoksi esaslı ara kat ve UV dayanımlı poliüretan son kat kaplamadan oluşmaktadır. Bu sistemin performansı çok iyi olsa da, değerlendirme yaparken dikkatli olmak gerekmektedir. Shop primer astarlar, elik üretiminden hemen sonra yapılan kumlamadan sonra yüzeye, korozyona karşı geçici bir koruma sağlamak amacıyla uygulanırlar. Daha sonra çelikler, çoğunlukla sahada açık bir alanda kullanılıncaya kadar depolanırlar. Nakliye sırasında elik yüzeydeki astarda oluşan hasarların da hızlandırıcı etkisiyle, shop primer astar hızla korozyona uğrar. Sistem 1, sadece shop primer astardan oluşmaktadır ve söz konusu korozyonun boyutu Sistem 1'in verilerinden kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bu sistemle kaplanmış yüzeyler muhakkak yeniden temizlenmeli ve kaplanmalıdırlar. Sistem 2'deki gibi bir uygulama pratikte hemen hemen hiçbir zaman yapılsa da, boya üreticisi firmanın da isteği doğrultusunda, astarın diğer sistemlerle karşılaştırılması amacıyla test edilmiştir.

Mikamsı cam içeren Sistem 6 ve Sistem 8 Dilovası'nda delamine olmuşlardır. Sistem 6'nın Gebze'de de delaminasyona uğradığı grlmştir. Sistem 6'da görülen delamanisyon, uygulama sırasında panellerde gözlemlenen boya akmalarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Akmanın oluğu yerlerde kuru film kalınlığı olması gerekeni aşarak, içeride solventin hapis olmasına sebebiyet vermiş ve korozyonu hızlandırmıştır. Paneller, gerek zaman sıkıntısı, gerekse pratikte olabilecek hataların da teste dahil edilmesi için, kullanılmışlardır. Sistem 8'deki delaminasyonun ise, poliüretan esaslı bir astara sahip olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Poliüretanlar, epoksilere oranla neme karşı çok hassastırlar. Bu yüzden söz konusu problemler yaşanabilmektedir. Ancak şartların çok iyi kontrol edildiğı ortamlarda poliüretan esaslı ürünler sorunsuzca kullanılabilmektedir.

Sistem 5, sistem 6'nın da astarı olan, sadece mikamsı cam içeren epoksi astardan oluşmaktadır ve UV dayanımını ölçmek için test edilmiştir. Sonuç olarak çok ileri derecede tebeşirlenme, renk ve parlaklık değişimi gözlemlenmiş ve güneşe maruz kalan yerlerde UV

dayanımı olan poliüretan esaslı son kat boyaların kullanılmasının kaçınılmaz olduğu anlaşılmıştır.

5.1.1.2 Çiziksiz Alandaki Korozyon

Tüm sistemlerin çiziksiz olan kısımlarında, Sistem 1 hariç hiçbir kabarcıklanma, paslanma, çatlama veya pullanma emaresi görülmemiştir. Ancak Sistem 1'in hemen hemen tüm yüzeyinde orta derecede paslanma gözlenmiştir. Bu, Sistem 1'in tek başına korozyona karşı korumada kesinlikle yetersiz olduğunu göstermektedir. Değerlendirmeye, delikli bölge, kenar ve köşeler dahil edilmemiştir.

5.1.1.3 Yapışma

Korozyondan önce ve sonra yapılan boyanın yüzeye yapışma testleri sonucu, hiçbir sistemde yüzeye yapışma problemi yaşanmamıştır. Sistem 1'de yapılan testler sonucu banda pas parçacıkları gelmiştir, ancak pas olmayan bölgelerden boya kalkması olmamıştır.

5.1.1.4 UV Dayanımı

1. UV dayanımı olan boyaların kullanılmadığı sistemler:

- a. Tebeşirlenme: Sistem 1 orta derecede, epoksi esaslı bir astar olan Sistem 5 ise çok ileride derecede tebeşirlenmiştir.
- b. Renk değişimi: Renk farkı olarak dE değeri 1 ve altında ise kabul edilebilir sayılır. Ancak Sistem 1'de dE 4'ü, Sistem 5'de de 7'yi aşmıştır.
- c. Parlaklık değişimi: Her iki sistem de saha deneyinden sonra düşebilecekleri en geri parlaklık derecesine düşmüşlerdir. Ancak Sistem 5'in başlangıç parlaklığı nispeten yüksek olduğu için, gerileme % 97'yi bulmuştur. Sistem 1'deki parlaklık gerilemesi yaklaşık % 70 olmuştur.

2. UV dayanımı olan boyaların kullanıldığı sistemler:

- a. Tebeşirlenme: Görülmemiştir.
- b. Renk değişimi: dE zaman bazı durumlarda 1,5'u bulmuştur. Ancak burada numunelerin bir seneyi aşkın bir süre dış ortamlara bırakıldığını göz önüne alıp, kirlilikten dolayı da renk ölçümünde sapmalar olabileceği hesaba katılmalıdır.

c. Parlaklık değişimi: % 15'lere varan bir parlaklık değişimi gözlemlenmiştir. UV dayanımı olan boya da zaman içinde parlaklığını yitirebilmektedir, ancak burada da kirlenmenin etkisi göz önüne alınmalıdır.

Sonuç olarak UV dayanımlı boyaların sistemlerin korumasındaki olumlu etkisi tartışılmazdır.

5.1.1.5 Yüzey Hazırlıkları Arasındaki Fark

SA 2½ yüzey hazırlığı, St 2 yüzey hazırlığına göre biraz daha iyi sonuç vermiştir. Ancak SA 2½ kesinlikle St 2'den daha iyidir demek zordur.

5.1.1.6 Bölgeler Arasındaki Fark

Çizelge 4.7'de de görüldüğü gibi, bölgeler arası korozyon hızı farkı çok yüksek olmasa da, Marshall - Dilovası'ndaki korozyon diğer iki bölgeye göre daha fazladır. Kimar – Gebze'deki ise ikinci sırada. Kalamış'daki korozyon hızı diğer tüm bölgelere göre çok daha düşüktür. Delaminasyonun iki kez Dilovası'nda, bir kez de Gebze'de görölmesi, korozyon hızı ile bağlantılı olabilir. Ancak hem korozyon hızları arasında çok fazla fark görölmemiştir, hem de korozyon değerleri arasında çok fazla fark yoktur.

Meteorolojiden alınan bilgi, Gebze ve Dilovası için ayrı ayrı değil, Kocaeli için toplu bilgidir. Dolayısıyla iki bölge arasında meteorolojik olarak bir karşılaştırma yapılamayacak. Kalamış'a en yakın olarak bilgi edinilen bölge olan Göztepe ile Kocaeli karşılaştırıldığında, yağış miktarı dışında bir fark yoktur. Kocaeli bölgesi yaklaşık iki misli yağış almıştır. Bu bölgedeki korozyon hızının nispeten daha yüksek çıkmasının etkenlerinden biri daha fazla alınan yağış miktarı olabilir.

5.1.1.7 Saha Testi Sonucu

Sistemler, yüzey hazırlığı yöntemleri ve bulundukları farklı ortamlardan çok fazla etkilenmeden paralel sonuçlar vermişlerdir. Sistem 3, her ortamda ve iki tip yüzey hazırlığında da tartışmasız en iyi sonucu vermiştir. Ancak üretici firma ve standartlar çinkoca zengin epoksi astara sahip sistemler için SA 2½ yüzey hazırlığını şart koşmuşlardır. Bundan dolayı St 2'ye de uygun bir sistem seçmek gerekirse bu, Sistem 4 olmalıdır.

5.1.2 Laboratuvar Testleri

5.1.2.1 Tuz Püskürtme Testi

5.1.2.1.1 Çizikli Alandaki Korozyon

Çizelge 5.2 Boya sistemlerinin performanslarına göre dizilişleri									
Bölge	Yüz. Haz.	Sistem No / Çizik Kalınlığı (Mikrometre)							
480 Saat	SA 2½	2	3	1	6	5	7	8	4
		63	88	185	385	465	617	730	783
	St 2	2	3	1	6	4	5	7	8
		48	80	185	522	688	850	983	1145
720 Saat	SA 2½	3	1	2	7	6	4	5	8
		85	93	373	797	1018	1025	1162	9305
	St 2	3	1	2	8	6	7	4	5
		83	200	452	10845	11705	12675	14688	22403
960 Saat	SA 2½	3	1	2	7	5	6	8	4
		83	150	305	484	905	7490	8305	8570
	St 2	3	1	2	6	8	4	5	7
		177	213	257	8038	9845	10953	16987	20175

Çizelge 5.2, farklı sürelerde farklı yüzey hazırlığı yapılmış panellerin üzerine uygulanmış tüm sistemlerin korozyon ve delaminasyon değerlendirmelerini göstermektedir.

Tuz püskürtme testinde de Sistem 3 tartışmasız olarak en iyi sonucu vermiştir. Sistem 2'nin de korozyon testi sonuçları dikkat çekicidir. Ancak bu testte, 480 saatlik test hariç sistemlerde delaminasyon çok sık görülmüştür. Delaminasyon görülen sistemlerde yüzey hazırlığının etkisi de belirgin bir şekilde fark edilmektedir. Sistem 4 – 8 480 saatlik testte sadece korozyona uğramışlarsa da, diğer sürelerde delaminasyon görülmüştür. Sistem 8 720 ve 960 saatlik testlerde her iki tip yüzey hazırlığında da delaminasyona uğramıştır. Sistem 4 – 7 St 2 yüzey hazırlığında delaminasyona uğramıştır. 960 saatlik teste, SA 2½ yüzey hazırlığına rağmen Sistem 4, 6 ve 8 delaminasyona uğramıştır.

Sistem 1, sadece korozyona uğramış gibi görünse de, Şekil Ek 2.1'de görüldüğü gibi, performansı hakkında yüzeyini de değerlendirip karar verilmelidir.

5.1.2.1.2 Çiziksiz Alandaki Korozyon

Tüm süreler için, hem SA 2½'da hem de St 2'de, Sistem 1'de çok ileri derecede kabarcıklanma ve orta düzeyde paslanma görülmüştür. SA 2½'da kabarcıklanma Sistem 2'de orta derecede, Sistem 6'da ise ileri derecede görülmüştür. Sistem 5'de de 960 saatte orta derecede kabarcıklanma ve paslanma görülmüştür. Taşlanmış numuneler arasında Sistem 6'nın tüm zamanlarındaki numunelerinde yine ileri derecede kabarcıklanma göze çarpmaktadır. Sistem 5'de 720 ve 960 saatte orta derecede, Sistem 2'de ise sadece 720 saatte yine orta derecede kabarcıklanma görülmüştür.

5.1.2.1.3 Yapışma

Korozyondan önce ve sonra yapılan boyanın yüzeye yapışma testleri sonucu, hiçbir sistemde yüzeye yapışma problemi yaşanmamıştır. Sistem 1'de yapılan testler sonucu banda pas parçacıkları gelmiştir, ancak pas olmayan bölgelerden boya kalkması olmamıştır.

5.1.2.2 SO₂ Testi

5.1.2.2.1 Çizikli Alandaki Korozyon

Çizelge 5.3 Boya sistemlerinin performanslarına göre dizilişleri									
Bölge	Yüz. Haz.	Sistem No / Çizik Kalınlığı (Mikrometre)							
21. Günün Sonu	SA 2½	3	7	1	5	6	4	2	8
		48	128	153	174	185	236	240	293
	St 2	3	5	8	1	4	7	6	2
		93	163	172	173	178	179	235	271

Sistem 3, burada da ilk sırada yer almıştır, ancak SO₂ testi çizikli alanda belirgin bir korozyon yaratmamıştır.

5.1.2.2.2 Çiziksiz Alandaki Korozyon

Sistem 1, her iki yüzey hazırlığı için de 4. günden itibaren orta derecede paslanma göstermiştir. Paslanma ikinci kontrol günü olan 10. günden itibaren artmış, 16. günde oldukça fazla olmuştur. 16. günden itibaren az da olsa kabarcıklanma da görülmüştür.

Sistem 2'de paslanma görülmemiştir. Ancak her iki yüzey hazırlığı için de 10. günden itibaren kabarcıklanmaya başlamıştır. 16. gün kabarcıklanma artmıştır.

Sistem 6’da paslanma görülmemiştir. Ancak SA 2½ yüzey hazırlığı yapılmış numunelerde 10. günden itibaren kabarcıklanma görülmüştür. 16. günden itibaren kabarcıklanmada artış görülmüştür.

Sistem 7’de paslanma görülmemiştir. Ancak her iki yüzey hazırlığı için de 10. günden itibaren kabarcıklanmaya başlamıştır. 16. gün kabarcıklanma artmıştır.

5.1.2.2.3 Yapışma

Korozyondan önce ve sonra yapılan boyanın yüzeye yapışma testleri sonucu, hiçbir sistemde yüzeye yapışma problemi yaşanmamıştır. Sistem 1’de yapılan testler sonucu banda pas parçacıkları gelmiştir, ancak pas olmayan bölgelerden boya kalkması olmamıştır.

5.1.2.3 UV Testi

5.1.2.3.1 UV Dayanımı

1. UV dayanımı olan boyaların kullanılmadığı sistemler:

- a. Tebeşirlenme: Sistem 1 orta derecede, epoksi esaslı bir astar olan Sistem 5 ise çok ileride derecede tebeşirlenmiştir.
- b. Renk değişimi: Renk farkı olarak dE değeri 1 ve altında ise kabul edilebilir sayılır. Ancak Sistem 1’de dE 5’i, Sistem 5’de de 8’i aşmıştır.
- c. Parlaklık değişimi: Her iki sistem de saha deneyinden sonra düşebilecekleri en geri parlaklık derecesine düşmüşlerdir. Ancak Sistem 5’in başlangıç parlaklığı nispeten yüksek olduğu için, gerileme % 99’u bulmuştur. Sistem 1’deki parlaklık gerilemesi yaklaşık % 65 olmuştur.

2. UV dayanımı olan boyaların kullanıldığı sistemler:

- a. Tebeşirlenme: Görülmemiştir.
- b. Renk değişimi: dE =1’i aşmamıştır.
- c. Parlaklık değişimi: % 35’e varan bir parlaklık değişimi gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak UV dayanımlı boyaların sistemlerin korumasındaki olumlu etkisi tartışılmazdır.

5.2 Sistemlerin Ekonomik Ömür Analizi

Çizelge 5.4, sistem maliyetlerinin hesaplanma şeklini göstermektedir. Bölüm 2.7.2.’de de belirtildiği gibi, püskürtme yüzey hazırlığı yöntemi geniş alanlar, mekanik yüzey hazırlığı ise kaynaklı bölgelerin temizliği için uygundur. St 2 sınıfı yüzey hazırlığı maliyeti hesaplanırken, bir 800 YTL aylık maaş alan bir işçinin, bir gün içinde 3 cm genişliğinde 128 mtul kaynaklı alan temizleyebileceği göz önüne alınmıştır. Bu alan yaklaşık 4 m²’ye denk gelmektedir. Uygulama işçilik maliyeti atılan boya katı sayısına göre değişmektedir.

Çizelge 5.4 BOYA SİSTEMLERİNİN TOPLAM YATIRIM MALİYETİ					
Sistem No:	Yüzey Haz. Maliyeti		Sistem Maliyeti	Uyg. İşç. Maliyeti	Toplam Maliyet
	St 2	SA 2,5			
	YTL / m²	YTL / m²	YTL / m²	YTL / m²	YTL / m²
1	-	19,50	0,53	1,95	21,98
2	-	19,50	4,52	11,70	35,72
3	-	19,50	7,55	11,70	38,75
4	-	19,50	5,39	11,70	36,59
	6,44	-	5,39	11,70	23,52
5	-	19,50	8,25	1,95	29,70
	6,44	-	8,25	1,95	16,63
6	-	19,50	10,78	5,85	36,13
	6,44	-	10,78	5,85	23,06
7	-	19,50	9,29	5,85	34,64
	6,44	-	9,29	5,85	21,57
8	-	19,50	7,09	11,70	38,29

Çizelge 5.5 ise, sistemlerin maliyetleri ve korozyon sınıfına göre ömürlerini göstermektedir.

Çizelge 5.5 Sistem maliyeti ve sistemlerin korozyon sınıflarına göre ömürleri					
Sistem No:	Tavsiye Edilen Yüzey Haz.	Sistem Maliyeti	ISO 12944 - 5'e Kor. Sınıfı İçin Beklenen Dayanıklılık (n)		
		YTL / m²	C2 (yıl)	C3 (yıl)	C4 (yıl)
1	SA 2 ½	21,98	1	1	1
2	SA 2 ½	35,72	10	5	2
3	SA 2 ½	38,75	15	15	15
4	SA 2 ½	36,59	15	10	5
	St 2	23,52	10	5	2
5	SA 2 ½	29,70	1	1	1
	St 2	16,63	1	1	1
6	SA 2 ½	36,13	15	10	5
	St 2	23,06	10	5	2
7	SA 2 ½	34,64	15	10	5
	St 2	21,57	10	5	2
8	SA 2 ½	38,29	15	10	5

Tüm maliyet bilgisi, Temmuz 2008 için geçerlidir. Fiyatlar, çeşitli sebeplerden dolayı zaman içinde değişiklik gösterebilmektedir. Firma maliyet hesaplarını Euro üzerinden yapmaktadır. 1 Euro 1,95 YTL olarak alınıp kurlar çevrilmiştir.

Çizelge 5.5'deki bilgiler Denklem 2.14 ve Denklem 2.15 içinde kullanılarak, Çizelge 5.6 ve 5.7 elde edilmiştir.

Hesaplamalar esnasında en uzun dayanım ömrü olan 15 yıl baz alınmıştır. Daha az dayanım ömrü olan sistemlerin 15. yıla ulaşınca kadar bir veya iki kez bakıma alınmaları öngörülmüştür. Bakımdan kasıt, sistemin tekrar uygulanmasıdır. 15 yılın yanında 1 ve 2 yıl ömrü olan sistemlerin tekrar tekrar uygulanmasının verimli olmayacağı aşîkârdır. Bu yüzden bu sistemlerle ilgili herhangi bir hesaplamanın yapılmasına gerek görülmemiştir.

Çizelgelerde SA 2 ½ ve / veya St 2 yüzey hazırlıklarına göre sistemlerin maliyetleri hesaplanmıştır. Tüm sistemlerin St 2 maliyetleri hesaplanmamıştır. Deney sonuçlarından bağımsız olarak, üretici firma ve standartlara bağlı kalarak, sistemler ya sadece SA 2½'a uygun, ya da hem SA 2½ hem de St 2'ye uygun olarak değerlendirilmiştir. Bu yüzden çizelgelerde sadece St2'ye uygun sistemler bulunmaktadır. Tüm maliyetin şimdiki değeri (PW) ve yıllık maliyet (A) çizelgelerde "YTL / m²" olarak görülmektedir.

Çizelgelerdeki hesaplamalar için yıllık YTL faiz oranı olarak % 24, kurumlar vergisi olarak da % 20 alınmıştır.

Çizelge 5.6 Sistemlerin maliyet hesaplaması (YTL / m ²) (SA 2 ½ Yüz. Haz. İçin)								
Sistem No	n	P	2. Kısım	3. Kısım		4. Kısım	PW (YTL/m ²)	A (YTL/m2)
				1. Bakım	2. Bakım			
1	1	1 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.						
2	2	2 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.						
2	5	35,72	3,92	9,75	3,32	0,00	-44,87	-11,21
2	10	35,72	2,63	3,32	0,00	0,00	-36,41	-9,10
3	15	38,75	2,07	0,00	0,00	0,00	-36,68	-9,17
4	5	36,59	2,82	9,98	3,41	0,00	-47,16	-11,79
4	10	36,59	2,69	3,41	0,00	0,00	-37,30	-9,32
4	15	36,59	1,95	0,00	0,00	0,00	-34,63	-8,66
5	1	1 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.						
6	5	36,13	1,83	9,86	3,36	0,00	-47,52	-11,88
6	10	36,13	2,66	3,36	0,00	0,00	-36,83	-9,20
6	15	36,13	1,93	0,00	0,00	0,00	-34,20	-8,55
7	5	34,64	3,80	9,45	3,22	0,00	-43,51	-10,87
7	10	34,64	2,55	3,22	0,00	0,00	-35,31	-8,82
7	15	34,64	1,85	0,00	0,00	0,00	-32,79	-8,19
8	5	38,29	2,77	10,45	3,56	0,00	-49,53	-12,38
8	10	38,29	2,82	3,56	0,00	0,00	-39,03	-9,76
8	15	38,29	2,04	0,00	0,00	0,00	-36,25	-9,06

Çizelge 5.7 Sistemlerin maliyet hesaplaması (YTL / m ²) (St 2 Yüz. Haz. İçin)								
Sistem No	n	P	2. Kısım	3. Kısım		4. Kısım	PW (YTL/m ²)	A (YTL/m2)
				1. Bakım	2. Bakım			
4	2	2 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.						
4	5	23,52	2,58	6,42	2,19	0,00	-29,55	-7,38
4	10	23,52	1,73	2,19	0,00	0,00	-23,98	-5,99
5	1	1 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.						
6	2	2 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.						
6	5	23,06	2,53	6,29	2,15	0,00	-28,97	-7,24
6	10	23,06	1,70	2,15	0,00	0,00	-23,51	-5,88
7	2	2 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.						
7	5	21,57	2,37	5,89	2,01	0,00	-27,10	-6,77
7	10	21,57	1,59	2,01	0,00	0,00	-21,99	-5,50

Çizelge 5.8’de, Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’deki yıllık maliyet değerleri, tüm korozyon sınıflarına göre tablolastırılmıştır.

Çizelge 5.8’de de görüldüğü üzere, SA 2½ yüzey hazırlığı için, ekonomik açıdan bakıldığında, çok fazla koruma gerektirmeyen C2 korozyon sınıfı için Sistem 3 en pahalı sistem oluyor. Sistem 7, 6 ve 4 en ucuz sistemler. Ancak dayanım gereksinimi arttıkça Sistem 3’ün maliyeti giderek düşmektedir. C3 sınıfında Sistem 7 Sistem 3’den hala daha ucuz olsa da, C4 sınıfında Sistem 3 tartışılmaz bir şekilde en uygun sistemdir.

St 2 yüzey hazırlığına göre uygulanacak sistemlerde de C2 ve C3 sınıflarında sıralama Sistem 7, Sistem 6 ve Sistem 4 olarak gitmektedir. C4 sınıfı için bir sistem yoktur.

SA 2½ ve St 2 sınıflarında Sistem 6 ve 7’nin Sistem 4’e göre daha ekonomik çıkmasının sebebi, Sistem 4’ün üç, Sistem 6 ve 7’nin 2 kat boyadan oluşmasıdır.

Çizelge 5.8 Sistemlerin korozyon sınıflarına göre yıllık maliyetleri (A) (YTL/m²)				
Sistem No:	Yüzey Hazırlığı Türü	ISO 12944 - 5'e Kor. Sınıfı İçin Beklenen Dayanıklılık (n)		
		C2	C3	C4
1	SA ½	1 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.		
	St 2			
2	SA ½	-9,10	-11,21	-
3	SA ½	-9,17	-9,17	-9,17
4	SA ½	-8,66	-9,32	-11,79
	St 2	-5,99	-7,38	-
5	SA ½	1 sene ömrü olan sistemler için hesaplama yapılması gerekli görülmemiştir.		
	St 2			
6	SA ½	-8,55	-9,20	-11,88
	St 2	-5,88	-7,24	-
7	SA ½	-8,19	-8,82	-10,87
	St 2	-5,50	-6,77	-
8	SA ½	-9,06	-9,76	-12,38

6. GENEL SONUÇLAR

Testler saha ve laboratuvar testleri olmak üzere iki aşamada yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi irdelenmiştir:

- 1) Saha testleri yaklaşık 13 ay boyunca, Gebze (Kımar), Dilovası (Marshall) ve Kalamış bölgelerinde yapılmıştır. Tüm sistemler tüm bölgelerde paralel sonuç vermiştir.
 - a) Testlerin başında Gebze ve Dilovası C4, Kalamış ise C3 korozyon sınıfında oldukları tahmin edilmiş ve boya sistemleri C4 sınıfına uygun olarak seçilmiştir. Test sonucunda, korozyon hızları tespit edilmiş ve Gebze ile Dilovası'nın C3, Kalamış'ın ise C2 korozyon sınıfında oldukları anlaşılmıştır.
 - b) Farklı bölgelerin korozyon hızları arasında da çok fark yoktur. Bu yüzden bölgeler arası korozyon oluşumunda farklılıklar gözlemlense de fark çok fazla olmamıştır. Kalamış'ta hiçbir sistem delamanisyona uğramamış, Gebze'de bir, Dilovası'nda da 2 sistem delaminasyona uğramıştır.
 - c) Saha testlerinin sonucuna göre sistemler, yüzey hazırlığından bağımsız olarak, benzer sonuçlar vermişlerdir. Ancak SA 2½ yüzey hazırlığı yapılmış panellerdeki sistemler St 2 yüzey hazırlığı yöntemiyle hazırlanmış panellere göre nispeten daha iyi performans göstermiştir. Bu, test niteliğindeki numunelerin St 2 mertebesinde yapılmış olan yüzey hazırlığının, pratikte olabilecek kalitenin üzerinde olmasından kaynaklanmaktadır. Pratikte mekanik temizlikle binlerce m² alanın aynı kalitede temizlenmesi, önceki bölümlerde de açıklandığı gibi imkânsızdır. SA mertebesinde temizlik büyük alanların, St mertebesinde temizlik ise tamir amaçlı yapılmalıdır.
 - d) Aşağıdaki sistemler test edilmiştir:
 - Sistem 1: shop primer;
 - Sistem 2, Sistem 1 + epoksi ara kat ve poliüretan son kat boya;
 - Sistem 3 çinkoca zengin epoksi astar, epoksi ara kat ve poliüretan son kat boya;
 - Sistem 4 yüzey toleranslı epoksi astar, epoksi ara kat ve poliüretan son kat boya;
 - Sistem 5 mikamsı cam içeren yüzey toleranslı astar;
 - Sistem 6, Sistem 5 + poliüretan son kat boya,
 - Sistem 7 yüksek dolgulu yüzey toleranslı epoksi astar ve poliüretan son kat boya;
 - Sistem 8 poliüretan astar, epoksi ara kat ve poliüretan son kat boya.

- e) Sistem 1 sadece imalat öncesi geçici korozyon koruması için uygundur. Sistem 2, pratikte uygulanmayan bir sistemdir. Ancak performansı üretici firmanın isteği doğrultusunda ölçülmüş ve dikkat çekici bulunmuştur.
 - f) Çinkoca zengin astar içeren Sistem 3, her iki yüzey hazırlığı için de en iyi performansı gösteren sistem olmuştur. Ancak çinkoca zengin astarlar çok az bağlayıcı içerdikleri için, yüzey hazırlığının mükemmel olması çok önemlidir. Bu yüzden kumlamanın mümkün olmadığı yerlerde St 2 mertebesinde yüzey hazırlığına da uygun sistemlerin kullanılmasında fayda vardır. Yüzey toleranslı epoksi astara sahip Sistem 4 ile yüksek dolgulu yüzey toleranslı epoksi astara sahip Sistem 7, Sistem 3'e alternatif olabilirler.
 - g) Sistem 6, uygulamada yapılabilecek yanlışlıkların doğurabileceği sonuçlar hakkında fikir vermiştir. Akmanın oluştuğu yerlerde kuru film kalınlığı olması gerekeni aşarak, içeride solventin hapis olmasına sebebiyet vermiş ve korozyonu hızlandırmıştır. Sistem 8 poliüretan esaslı sistemlerin uygulama zorluğunu göstermiştir. Poliüretanlar, epoksilere oranla neme karşı çok hassastırlar. Şartların çok iyi kontrol edildiği ortamlarda poliüretan esaslı ürünler sorunsuzca kullanılabilir. Sahada kabarma ve delaminasyon gibi problemler görülebilir.
 - h) UV dayanımı olmayan Sistem 5'de çok ileri derecede tebeşirlenme, renk ve parlaklık değişimi gözlemlenmiş ve güneşe maruz kalan yerlerde UV dayanımı olan poliüretan esaslı son kat boyaların kullanılmasının kaçınılmaz olduğu anlaşılmıştır.
- 2) Laboratuvar testlerinin sonuçları da saha testi sonuçlarıyla paralel çıkmıştır.
- a) Tuz püskürtme testinde numuneler saha testinde uğramadıkları kadar fazla korozyona uğramıştır. Delaminasyonlar, paslanmalar ve kabarcıklanmalar daha sık görülmüştür. Ancak sistemlerin performansları kendi aralarında karşılaştırıldığında, tuz püskürtme testi sonucunda da Sistem 3 ve Sistem 4 en iyi sonuçları vermişlerdir.
 - b) SO₂ testi, tuz püskürtme testi kadar yıpratıcı olmamıştır. Oldukça düşük korozyon değerlerinin yanında hiçbir numune delaminasyona uğramamıştır. Ancak bazı sistemlerde çiziksiz alanda kabarcıklanmalar görülmüştür. Bu testin sonucunda da Sistem 3 ve 4 en iyi sonucu vermiştir.

- c) UV testi, saha testinde olduğu gibi, üzerinde UV dayanımlı boya olmayan sistemlerde kaplamanın güneşten ne kadar çok etkilendiğini göstermiştir. UV dayanımlı boyanın kullanımının şart olduğu kesindir.
 - d) Bu sonuç, laboratuvar testleri arasından UV testinin saha testleri ile en iyi bağlantıyı kurduğunu göstermektedir. Tuz püskürtme testinde, saha testine göre çok daha ileri seviyede korozyon görülmüştür. Bu yüzden belirli bir süre tuz testine maruz kalan numunelerin, saha testinde kaç yıllık performansına eşdeğer sonuç verdiğini belirlemek güçtür. Öte yandan, saha testinde kullanılan bölgelerin tahmin edilenden daha düşük seviyede korozyon sınıfında olduklarını da unutmamak gerekmektedir. Her şeye rağmen, sistemlerin kendi aralarında rölatif olarak karşılaştırılması gerektiğinde, tuz püskürtme testi güvenilir sonuçlar vermektedir. SO₂ testine bakıldığında, SO₂'nin test edilen sistemler üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı görülmüştür. Numuneler üzerindeki çizikli alanda hesaplanan korozyon hızları saha testi değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Ancak her ne olursa olsun, sahada yaşanabilecek değişkenleri tek bir laboratuvar testi ile göstermek imkânsızdır. Bu yüzden mümkün olduğu kadar saha testi ile sistemlerin test edilmesi daha gerçekçi değerler verecektir.
- 3) Ekonomik açıdan bakıldığında, C2 sınıfı korozyon seviyesi düşük bölgeler için Sistem 3 pahalı bir çözüm olmaktadır. Burada, çeşitli yüzey toleranslı epoksi astara sahip olan Sistem 4 ve 7 alternatif olabilirler. Korozyon seviyesi arttıkça, Sistem 3'ün ekonomik olarak çekiciliği artmaktadır. C4 sınıfından itibaren Sistem 3 tartışmasız bir şekilde tercih edilmesi gereken sistemdir. C3 sınıfında Sistem 7 hâlâ bir alternatif oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

“A Corrosion Protection Guide”, Corus Construction & Industrial, (2004), Erişim tarihi: Eylöl 2005, www.corusconstruction.com

ASTM D 6580, (2000), “Standard Test Method for the Determination of Metallic Zinc Content in Both Zinc Dust Pigment and in Cured Films of Zinc-Rich Coatings”, American Society for Testing and Materials.

ASTM G 154, (2006), “Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials”, American Society for Testing and Materials.

ASTM G 154, (2006), “Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials”, American Society for Testing and Materials.

ASTM G 87 – 02, (2007), “Standard Practice for Conducting Moist SO₂ Tests”, American Society for Testing and Materials.

ASTM G1, (2003), “Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens”, American Society for Testing and Materials.

Brock, T., Groteklaes, M. ve Mischke, P., (2000), Lehrbuch der Lacktechnologie, 2. Baskı, Vincentz Verlag, Hannover, s 153 – 157.

Cansever, N., (1997), “Gerilmeli korozyon çatlaması oluşum mekanizmaları”, YTÜD 1997/3-4: 69 – 79.

“Corrosion”, (1992), ASM Handbook, 13:174 – 222.

“Corrosion”, (1992), ASM Handbook, 13:901 – 941.

“Corrosion”, (1992), ASM Handbook, 13:1220 – 1251.

“Çelik ve Alfa Çelik”, (Mart 2004), Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi, 219:48 – 55.

Corus Construction Centre Brochure: Corrosion Protection of Steel Bridges, (2002), Erişim tarihi: Eylöl 2005, www.corusconstruction.com

DIN 50900, (1999), “Korrosion der Metalle”, Deutsches Institut für Normung e.V.

DIN 55943, (2001), “Farbmittel Begriffe”, Deutsches Institut für Normung e.V.

Elisabete, M. ve Almeida, M., (2005), “Minimization of Steel Atmospheric Corrosion: Updated Structure of Intervention”, Progress in Organic Coatings, 54:81 – 90.

Fontana, M. G., (1986), Corrosion Engineering, 3rd Edition, Mc Graw – Hill, Inc., s. 173.

ISO 4628 – 2, (2005), “Boyalar ve Vernikler - Boya Kaplamalarındaki Bozulmanın Değerlendirilmesi - Kusurların Büyüklük ve Miktarı ile Görünüşteki Yeknesak Değişikliklerin Şiddetinin Kısa Gösterilişi - Kabarcıklaşma Derecesinin Değerlendirilmesi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ISO 4628 – 3, (1999), “Boyalar ve Vernikler- Boya Kaplamalarının Bozunmasının Değerlendirilmesi- Genel Tipteki Kusurların Yoğunluğu, Miktarı ve Boyutunun Gösterimi- Paslanma Derecesinin Gösterimi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ISO 4628 – 4, (2005), “Boyalar ve Vernikler, Boya Kaplamalarındaki Bozulmanın Değerlendirilmesi, Kusurların Büyüklük ve Miktarı ile Görünüşteki Üiform Değişikliklerin Yoğunluğunun Kısa Gösterilişi; Çatlama Derecesinin Değerlendirilmesi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ISO 4628 – 5, (2005), “Boyalar ve Vernikler, Boya Kaplamalarındaki Bozulmanın Değerlendirilmesi, Kusurların Büyüklük ve Miktarı ile Görünüşteki Üiform Değişikliklerin Yoğunluğunun Kısa Gösterilişi; Pullanma Derecesinin Değerlendirilmesi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ISO 4628 – 7, (2003), “Paints and Varnishes — Evaluation of Degradation of Coatings; Designation of Quantity and Size of Defects, and of Intensity of Uniform Changes in Appearance; Assessment of Degree of Chalking by Velvet Method”, International Standardization Organization.

ISO 4628 – 8, (2005), “Paints and varnishes -- Evaluation of degradation of coatings -- Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance -- Part 8: Assessment of degree of delamination and corrosion around a scribe”, International Standardization Organization.

ISO 7724 – 2, (1984), “Paints and varnishes -- Colorimetry -- Part 2: Colour measurement”, International Standardization Organization.

Katayama, H., Noda, K., Masuda, H., Nagasawa, M., Itagaki, M., Watanabe, K., (2005), “Corrosion simulation of carbon steels in atmospheric environment”, Corrosion Science, 47:2599 – 2606.

Lane G. L., (1991), “Real time weathering as a test for evaluating paint coatings”, Textile Innovators Inc., Windsor N.C., s. 546 – 558.

Morales, J., Martin – Krijer, S., Diaz, F., Hernandez-Borges, J., Gonzales, S., (2005), “Atmosferic corrosion in subtropical areas: influences of time of wetness and deficiency of ISO 9223 norm”, Corrosion Science, 47:2005 – 2019.

Nanetti, P., (2002), “Lack für Einsteiger”, 1. Auflage, Vincentz, Hannover, s: 18 – 23

Onaran, K., (2008), Malzeme Bilimi, 8. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, s. 314.

Özbaş, M., (2005), “Korozyon, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Geliştirilmesi Projesi”, MEB, Ankara, Erişim tarihi: Nisan 2008, http://www.gazimyo.gazi.edu.tr/gmyo_web/tr/akademik_per_sayfalari/mete_ozbas/e_kitap/ucak_bakim/korozyon.pdf

Paksoy, A. S., (2002), “Boya El Kitabı”, Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul, s. 1 – 6, 111 – 128, 129 – 145.

Sangaj, N. S. ve Malshe, V.C., (2004), “Permeability of Polymers in Protective Organic Coatings”, Progress in Organic Coatings, 50:28 – 39.

Santos, D., Brites, C., Costa, M.R. ve Santos M.T., (2005), “Performance of Paint Systems with Polyurethane Topcoats, Proposed for Atmospheres with very High Corrosivity Category”, Progress in Organic Coatings, 54:344 – 352.

Tamirci, M., (2007), “Korozyon”, Erişim tarihi: Nisan 2008, <http://www.angelfire.com/mt/mehmettamirci/korozyon1/>

TS 4313 EN ISO 2409, (1999), “Boyalar ve Vernikler; Çapraz Kesme Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4318 EN ISO 2813, (2002), “Boyalar Ve Vernikler - Metalik Olmayan Boya Filmlerinin 20, 60 Ve 85 Açılarda Parlaklık Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4772 ISO 2808, (1999), “Boyalar ve Vernikler; Film Kalınlığı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4772 ISO 2808, (1999), “Boyalar ve Vernikler; Film Kalınlığı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü”, Ankara.

TS 5731 EN ISO 8044, (2004), “Metallerin ve Alaşımlarının Korozyonu – Temel Terimler ve Tarifleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 12944 – 2, (2002), “Boyalar ve Vernikler, Çelik Yapıların Koruyucu Boya Sistemleriyle Korozyona Karşı Korunması, Çevrenin Sınıflandırılması“,Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 12944 – 4 , (1999), “Boyalar ve Vernikler, Çelik Yapılar için Koruyucu Boya Sistemleri, Yüzey Tipleri ve Yüzey Hazırlama”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 12944 – 5, (2002), “Boyalar ve Vernikler, Çelik Yapıların Koruyucu Boya Sistemleriyle Korozyona Karşı Korunması, Koruyucu Boya Sistemleri“,Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 12944 – 6, (2002), “Boyalar ve Vernikler, Çelik Yapıların Koruyucu Boya Sistemleri ile Korozyona Karşı Korunması; Laboratuar Performansı Deney Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 12944 – 7, (2003), “Boyalar ve Vernikler, Çelik Yapıların Koruyucu Boya Sistemleri ile Korozyona Karşı Korunması, Boyama İşlemlerinin Uygulanması ve Denetimi“, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 4543, (2003), “Metalik ve Diğer İnorganik Kaplamalar - Depolama Şartlarında Uygulanabilen Korozyon Deneyleri İçin Genel Kurallar”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 4624, (2006), “Boyalar ve Vernikler; Yapışmanın Tayini İçin Çekme Deneyi“, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 7253, (1999), “Boyalar ve Vernikler, Nötral Tuz Püskürtmesine (Sisine) Dayanıklılığın Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 8501 – 1, (1999), “Çelik Yüzeylerin Hazırlanması, Boya ve İlgili Malzemelerin Uygulanmasından Önce, Yüzey Temizliğinin Gözle Muayenesi; Kaplanmamış Çelik Alt

Yüzeylerin Önceki Kaplamanın Tamamen Kaldırılmasından Sonraki Pas ve Hazırlanma Dereceleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 8501 – 2, (1999), “Çelik Yüzeylerin Hazırlanması, Boya ve İlgili Malzemelerin Uygulanmasından Önce, Yüzey Temizliğinin Gözle Muayenesi; Kaplanmış Çelik Alt Yüzeylerin Önceki Kaplamanın Kısmen Kaldırılmasından Sonra Yüzeylerin Hazırlanma Dereceleri” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 8502 – 4, (2001), “Çelik Yüzeylerin Hazırlanması, Boya ve İlgili Malzemelerin Uygulanmasından Önce, Yüzey Temizliği Değerlendirme Deneyleri; Boyanın Uygulanmasından Önce Yoğunlaşma Olasılığı Tayini ile İlgili Kılavuz”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 8503 – 1, (2000), “Boya ve İlgili Ürünlerin Uygulanmadan Önce Çelik Taban Malzemelerin Hazırlanması- Kumlanarak Temizlenmiş Çelik Taban Malzemelerin Yüzey Pürüzlülük Karakteristikleri- Bölüm 1: Aşındırıcı İle Kumlanarak Temizlenmiş Yüzeylerin Değerlendirilmesi Amacıyla ISO Yüzey Profil Kompratörleri İçin Özellikler ve Tarifler”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 8504, (2001), “Çelik Yüzeylerin Hazırlanması- Boya ve İlgili Maddelerin Uygulanması- Yüzey Hazırlama Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 8565, (2002), “Metaller ve Alaşımlar; Atmosferik Korozyon Deneyleri, Saha Deneyleri İçin Genel Özellikler” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Tuğral, H., (2006), “Çelik Yapıların Atmosferik Korozyonunu Önlemek İçin Boya ve Kaplama Seçimi”, YTÜ Kimya Metalürji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, s. 47 – 52.

Ultra low carbon bainitic weathering steel, United States Patent 6315946, Erişim tarihi: Haziran 2008. <http://www.freepatentsonline.com/6315946.html>

Verink, E.D., “Straight Line Depreciation”, Erişim Tarihi: Haziran 2008, <http://www.corrosionsource.com/technicallibrary/corrdoctors/Modules/Economics/Depreciation.htm>

“Yapısal Çelik Derneği Başkanı Prof Dr Nesrin Yardımcı ile Söyleşi”, (Ocak 2004), Dizayn ve Konstrüksiyon Dergisi, 217:s 53 – 59.

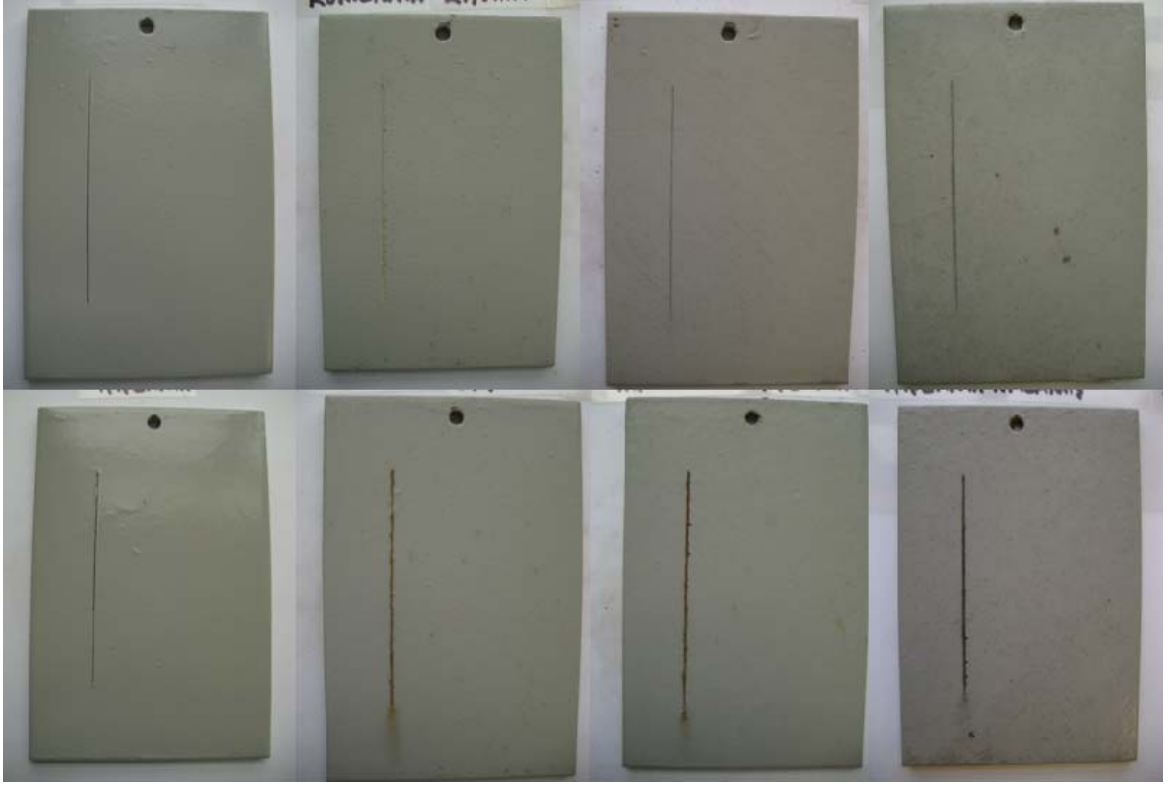
Ek 1 Saha testi numunelerinin sistemlere göre tüm bölgelerdeki durumları



Şekil Ek1.1 Sistem 1. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, Kınar, Marshall, Kalamış



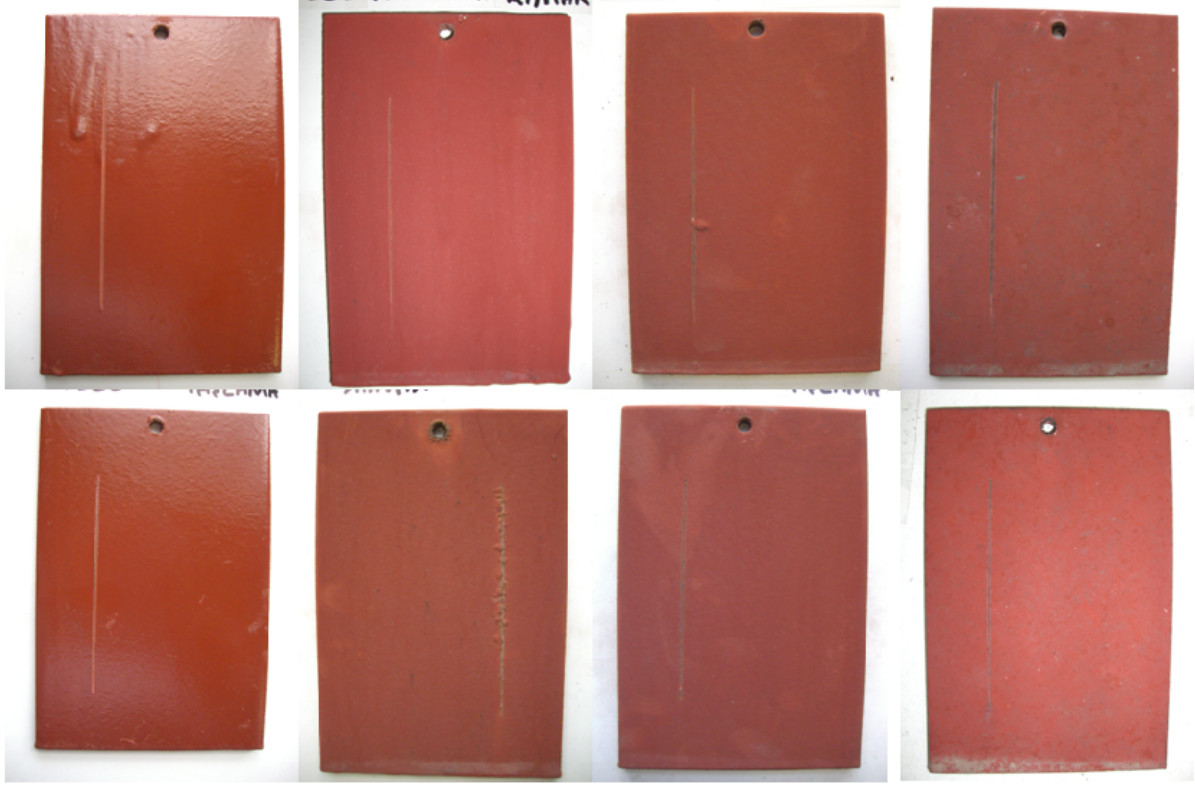
Şekil Ek 1.2 Sistem 2. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, Kınar, Marshall, Kalamış



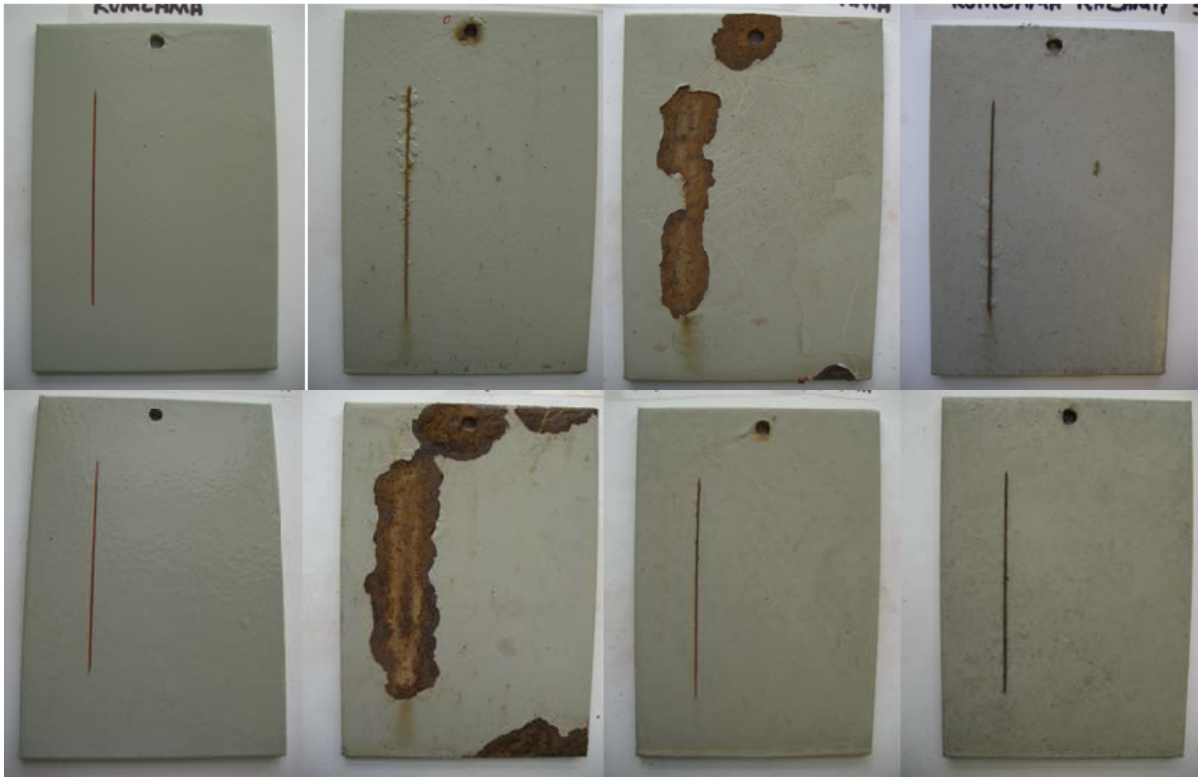
Şekil Ek 1.3 Sistem 3. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, Kına, Marshall, Kalamış



Şekil Ek 1.4 Sistem 4. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, Kına, Marshall, Kalamış



Şekil Ek 1.5 Sistem 5. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlaan ş. Soldan Sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalam ş



Şekil Ek 1.6 Sistem 6. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, Kimar, Marshall, Kalamış

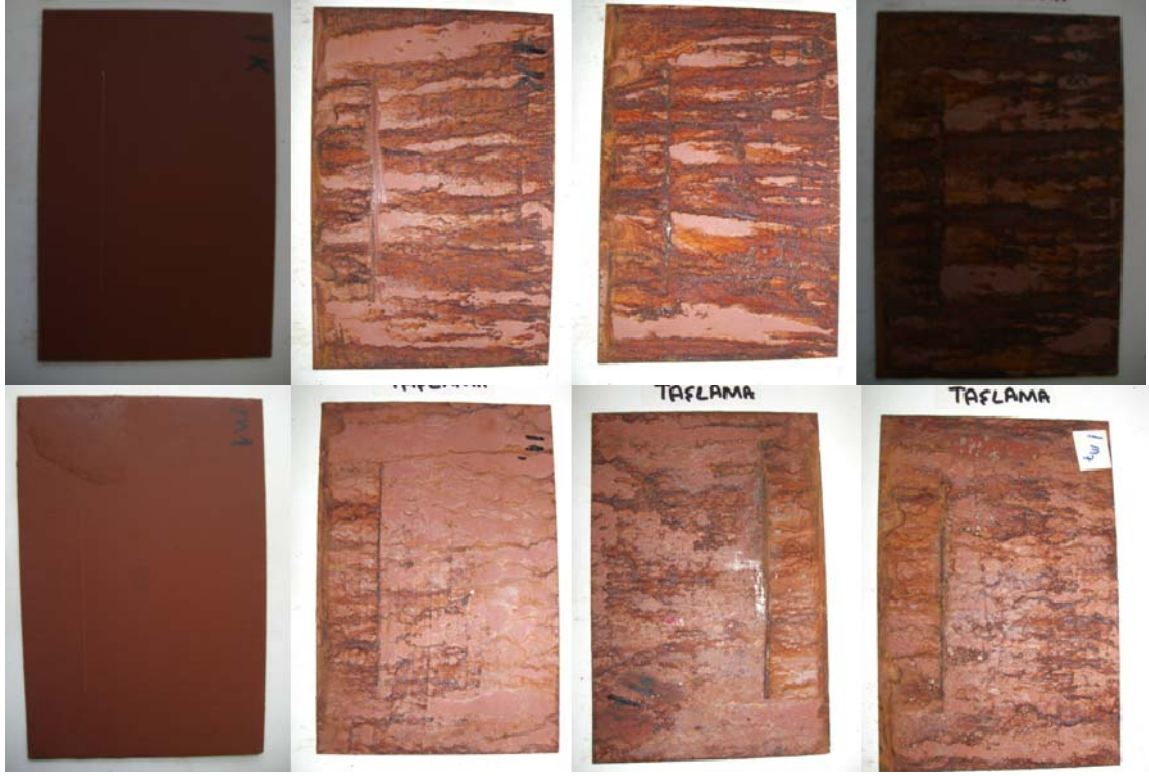


Şekil Ek 1.7 Sistem 7. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. So. dan Sa. ıa: şatit, Kimar, Marshall, Kalamış

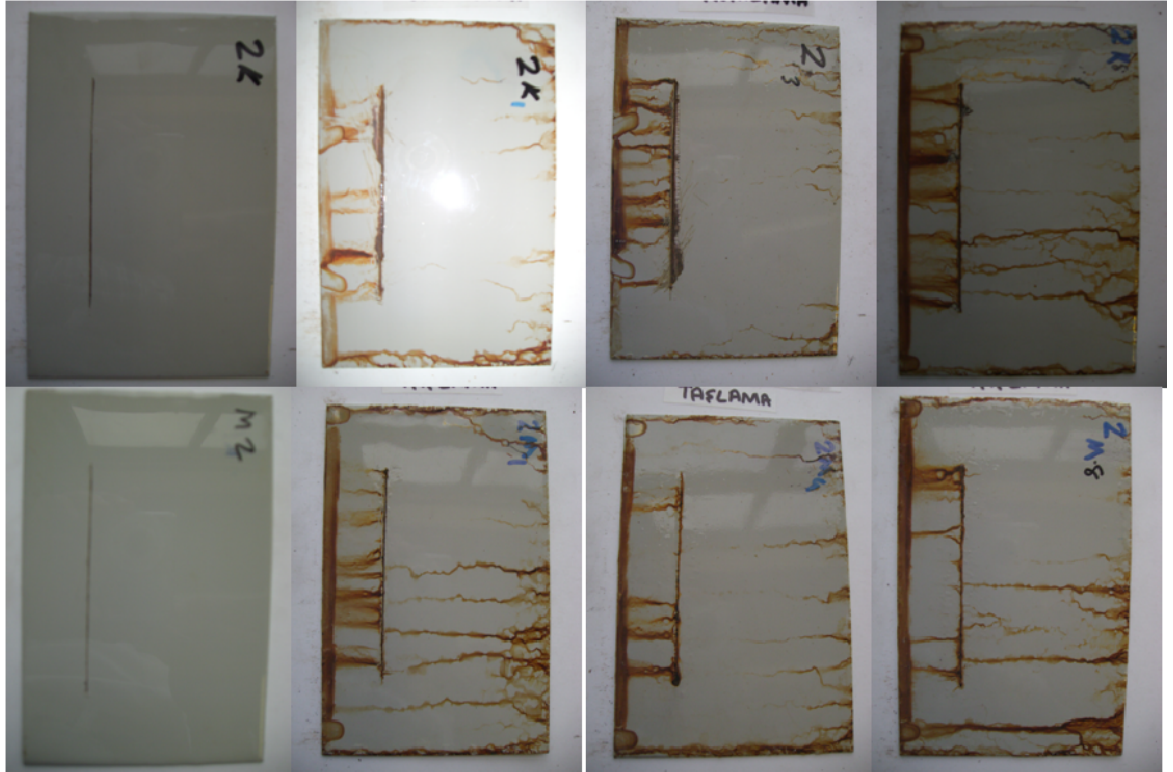


Şekil Ek 1.8 Sistem 8. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. So. dan Sa. ıa: şatit, Kimar, Marshall, Kalamış

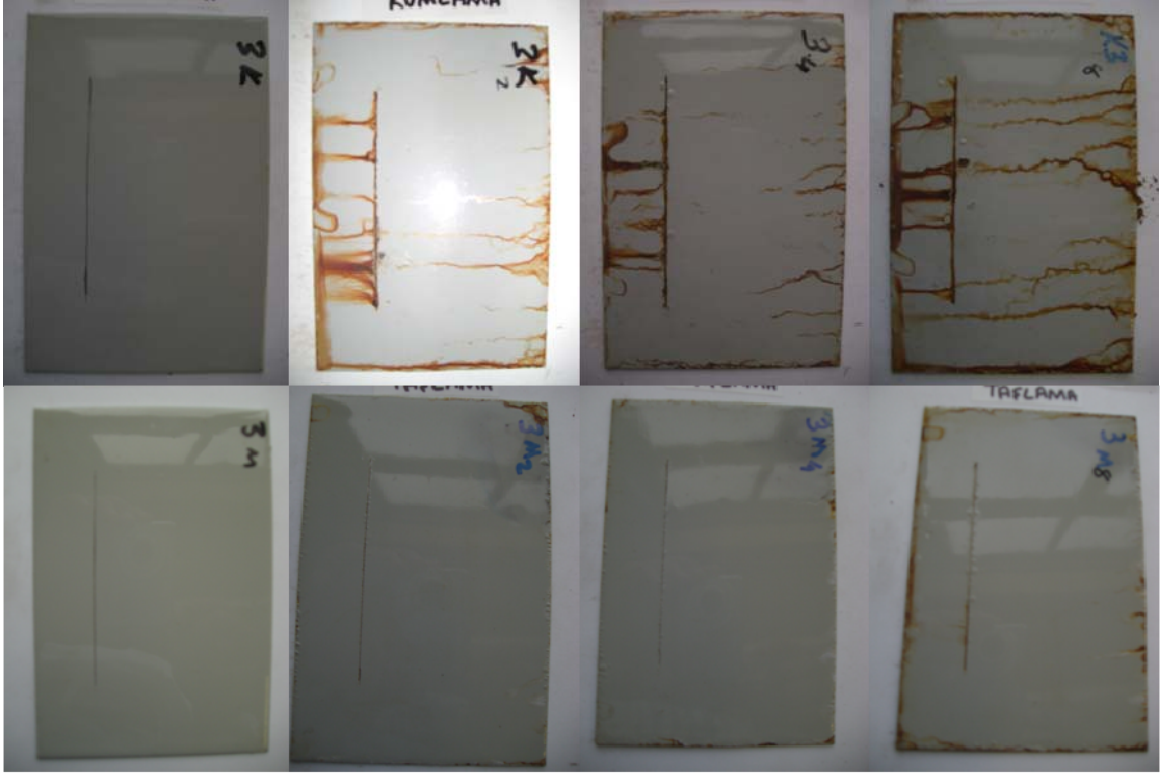
Ek 2 Tuz testi numunelerinin sistemlere göre tüm süreler için durumları



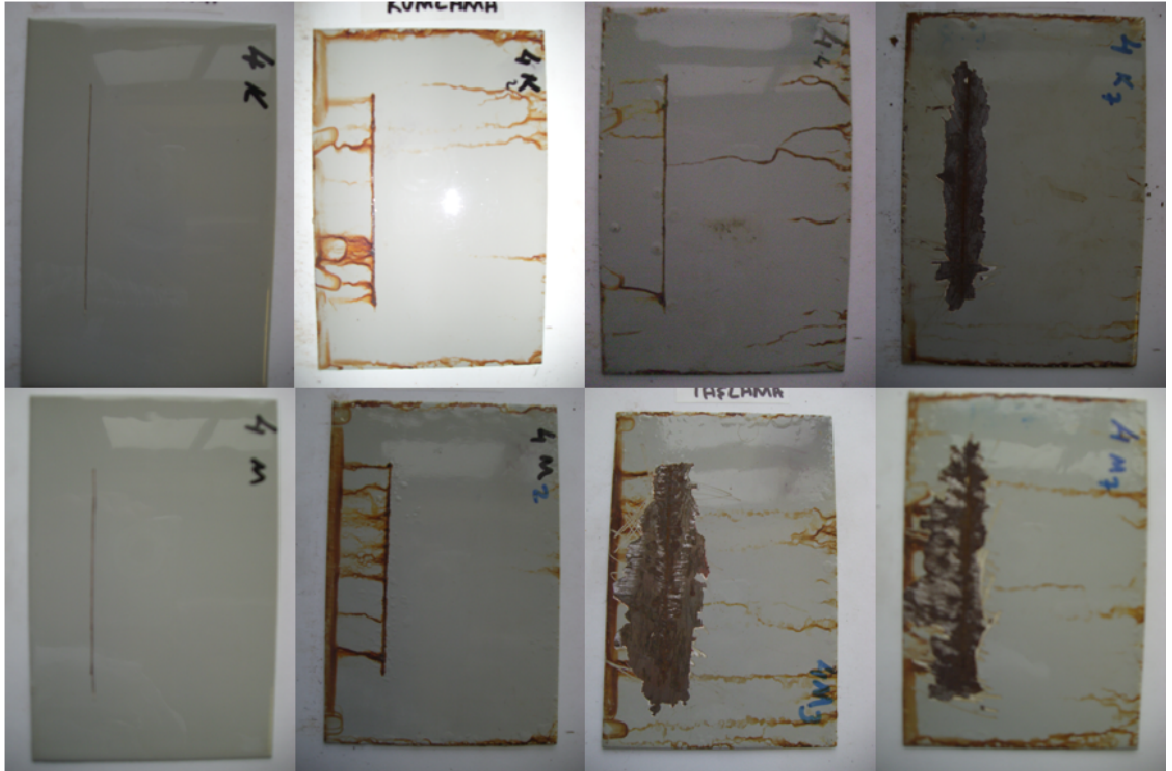
Şekil Ek 2.1 Sistem 1. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat



Şekil Ek 2.2 Sistem 2. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat



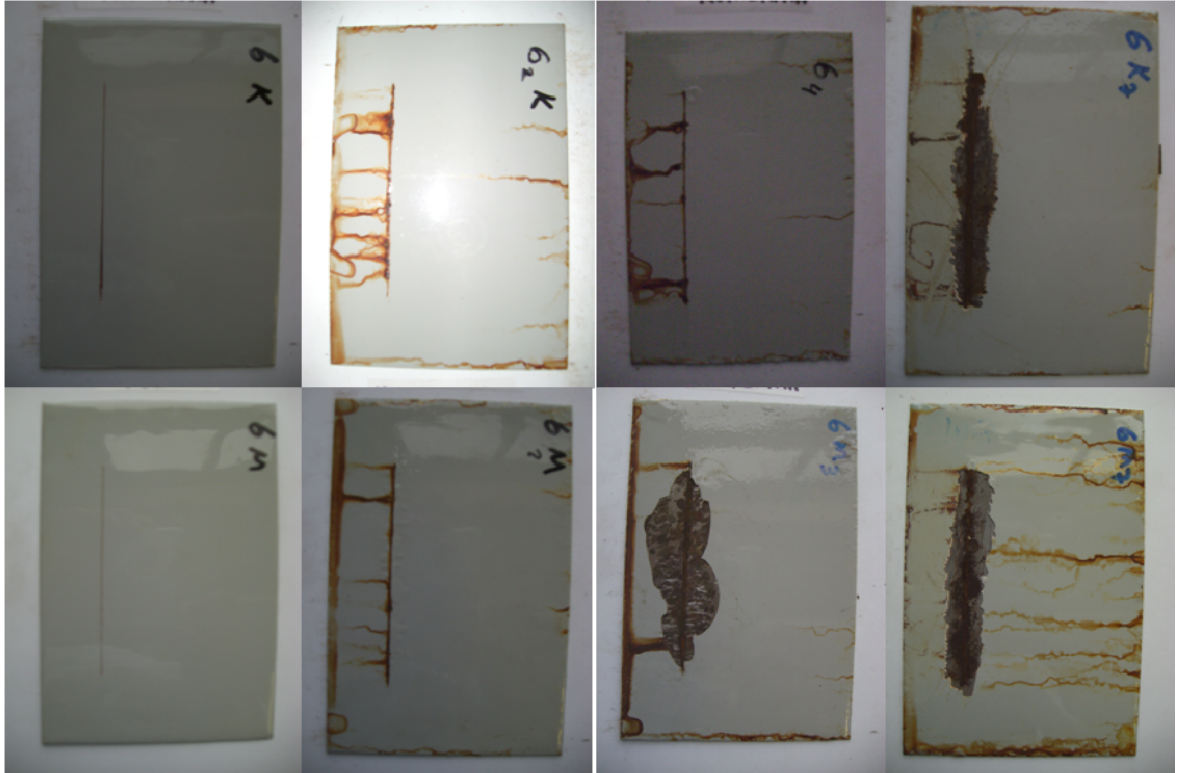
Şekil Ek 2.3 Sistem 3. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat



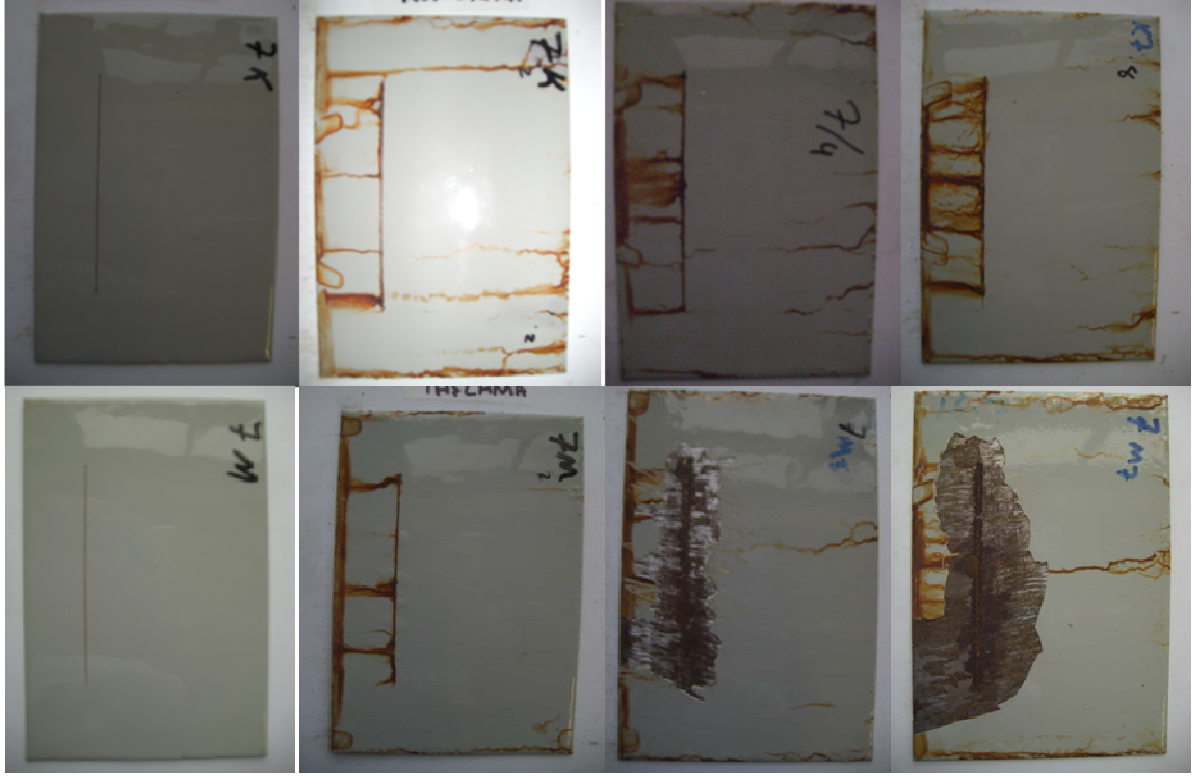
Şekil Ek 2.4 Sistem 4. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat



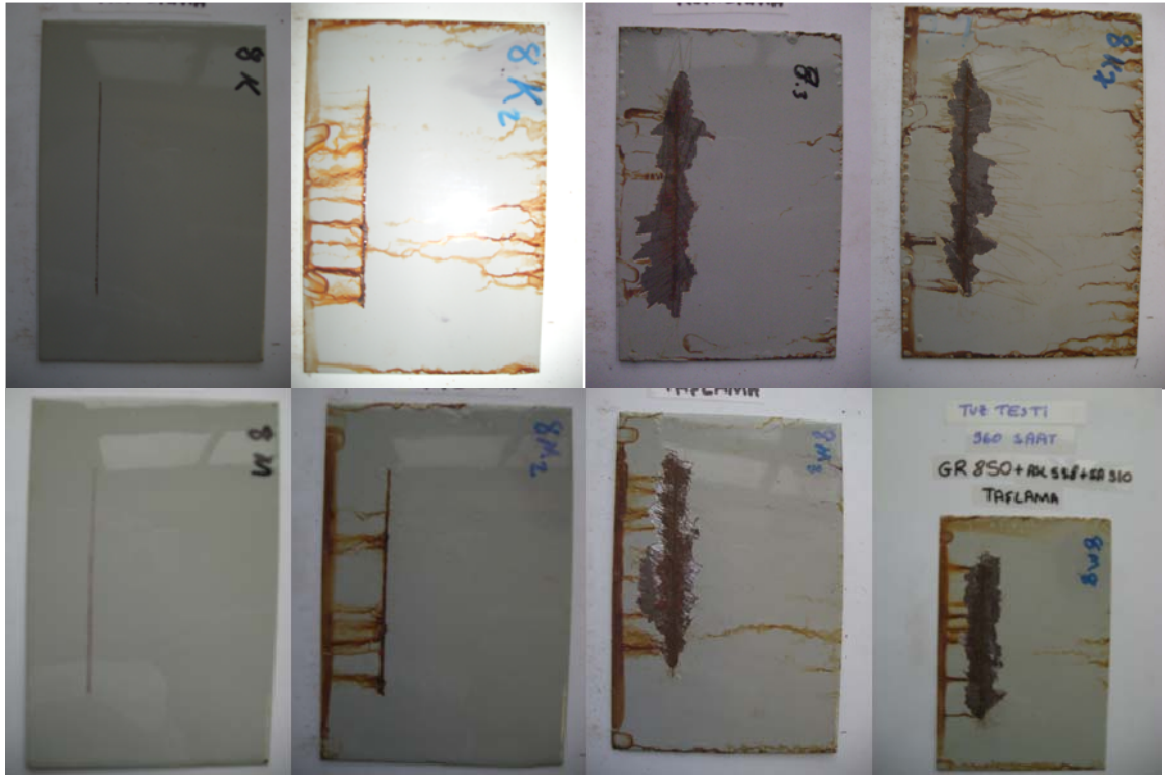
Şekil Ek 2.5 Sistem 5. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat



Şekil Ek 2.6 Sistem 6. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat

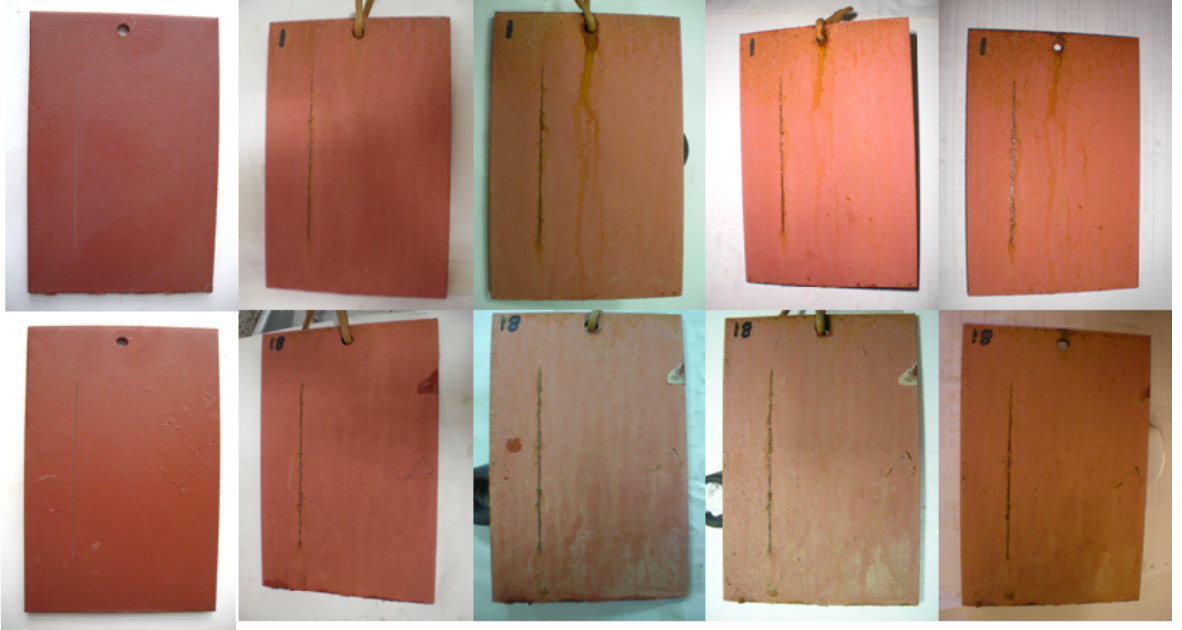


Şekil Ek 2.7 Sistem 7. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat

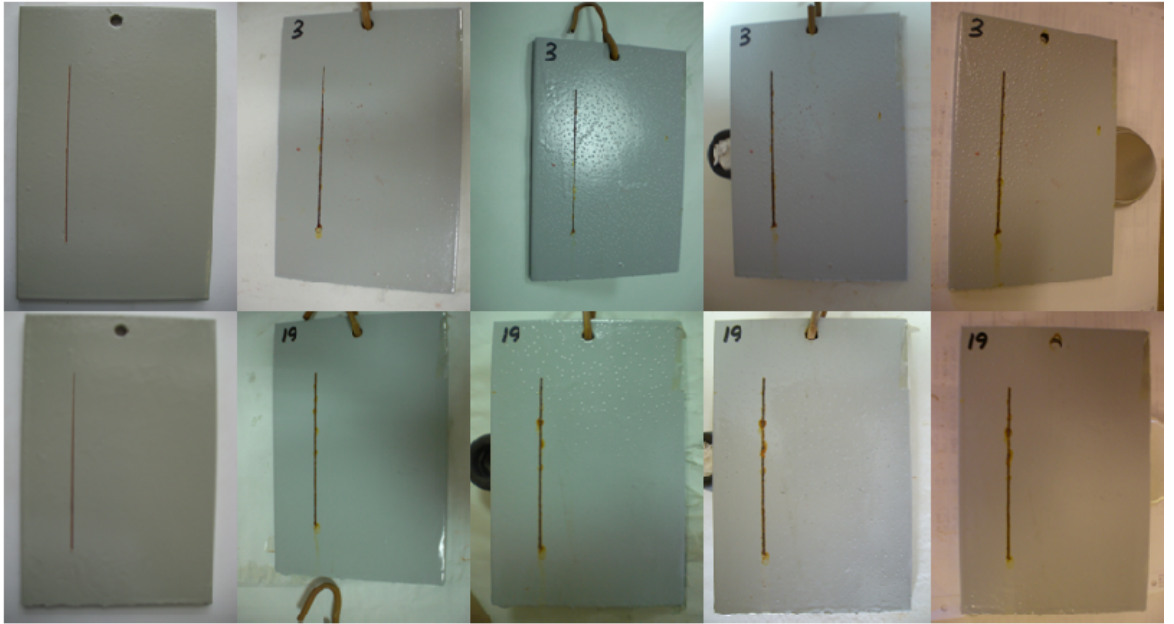


Şekil Ek 2.8 Sistem 8. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 480, 720 ve 960 Saat

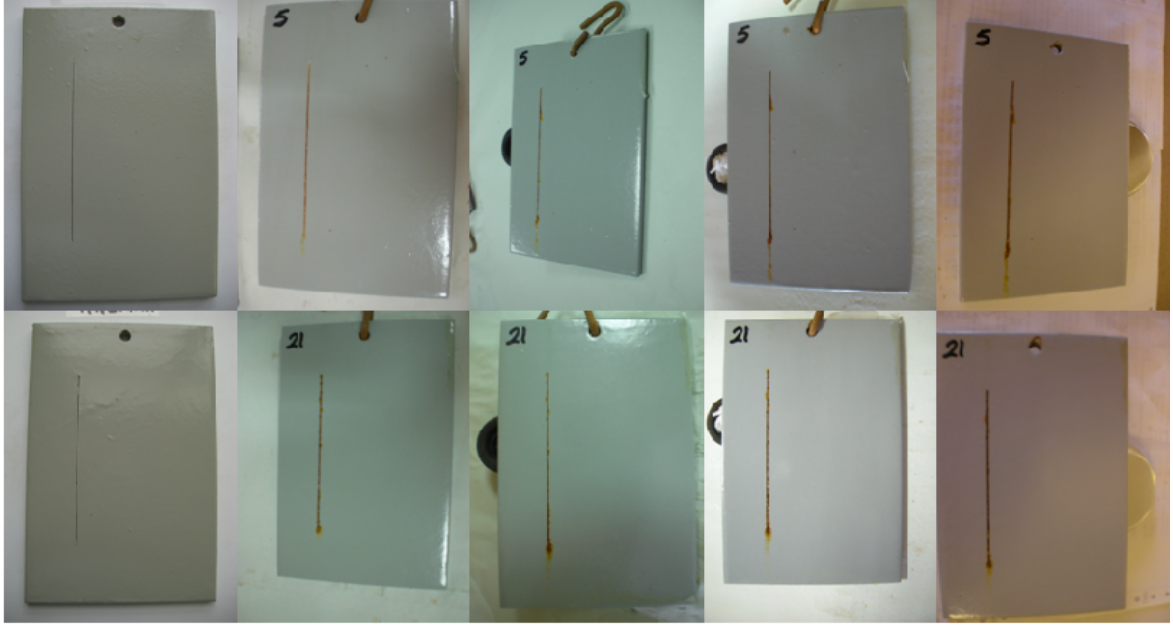
Ek 3 SO₂ testi numunelerinin sistemlere göre tüm süreler için durumları



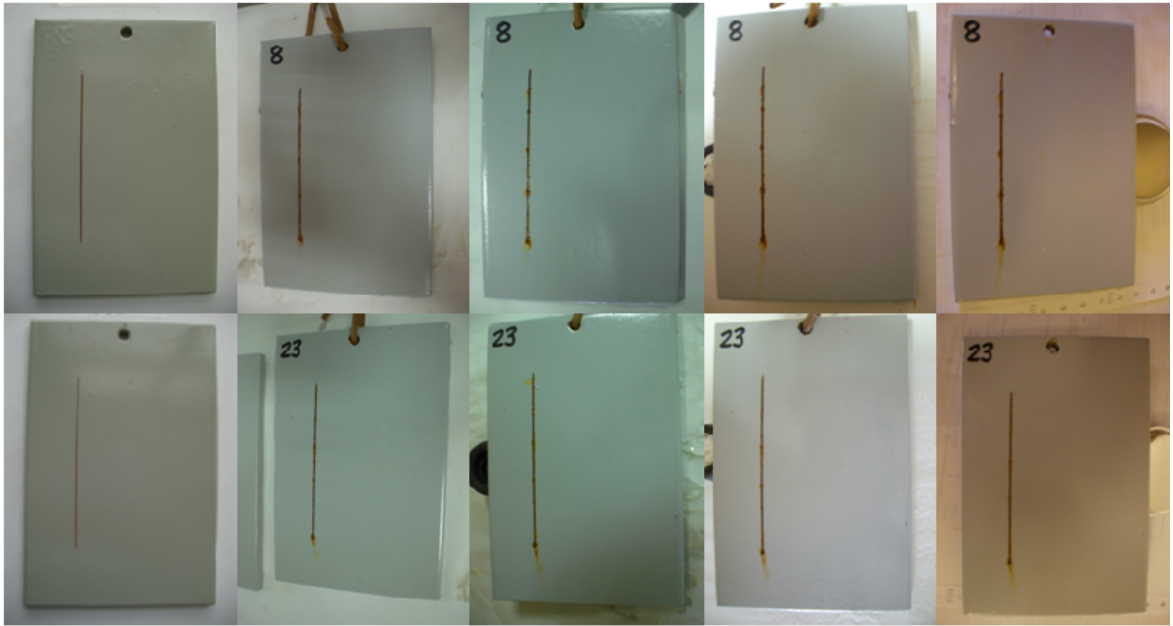
Şekil Ek 3.1 SO₂ Testi Sistem 1 Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün



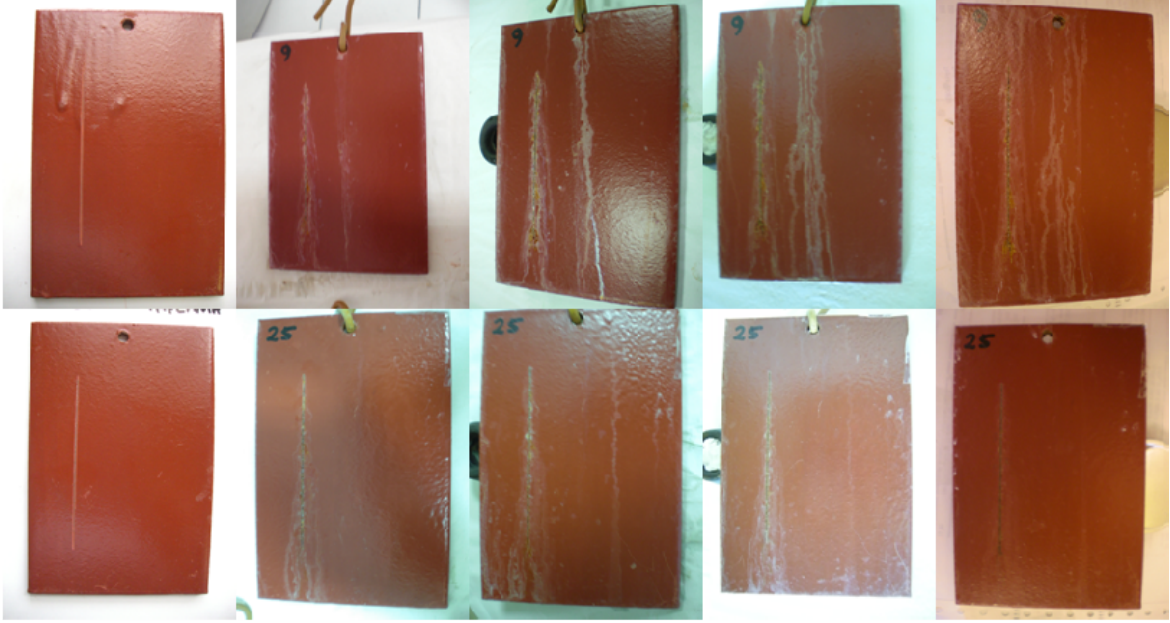
Şekil Ek 3.2 SO₂ Testi Sistem 2 Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün



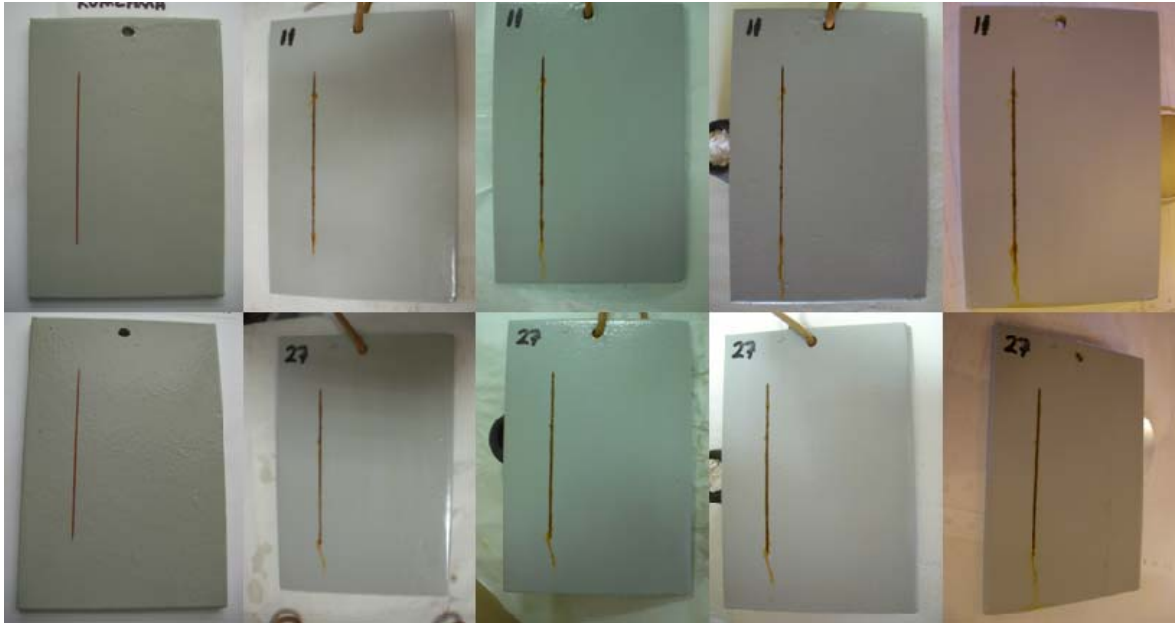
Şekil Ek 3.3 SO₂ Testi. Sistem 3. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün



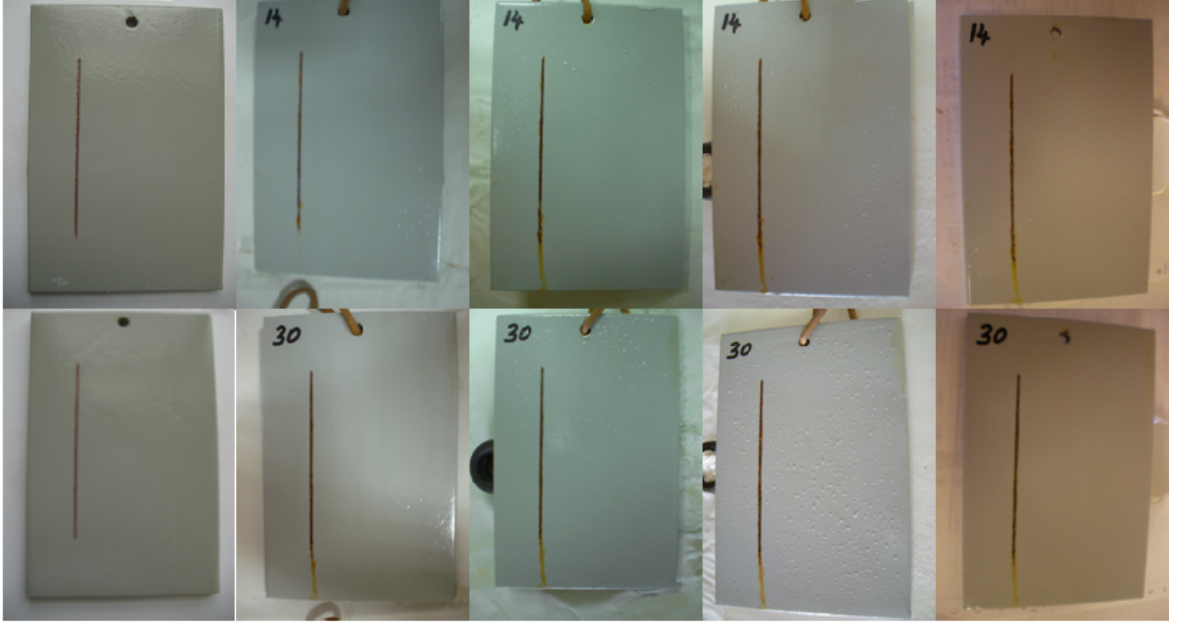
Şekil Ek 3.4 SO₂ Testi. Sistem 4. Üst sıra Kumlanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa: Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün



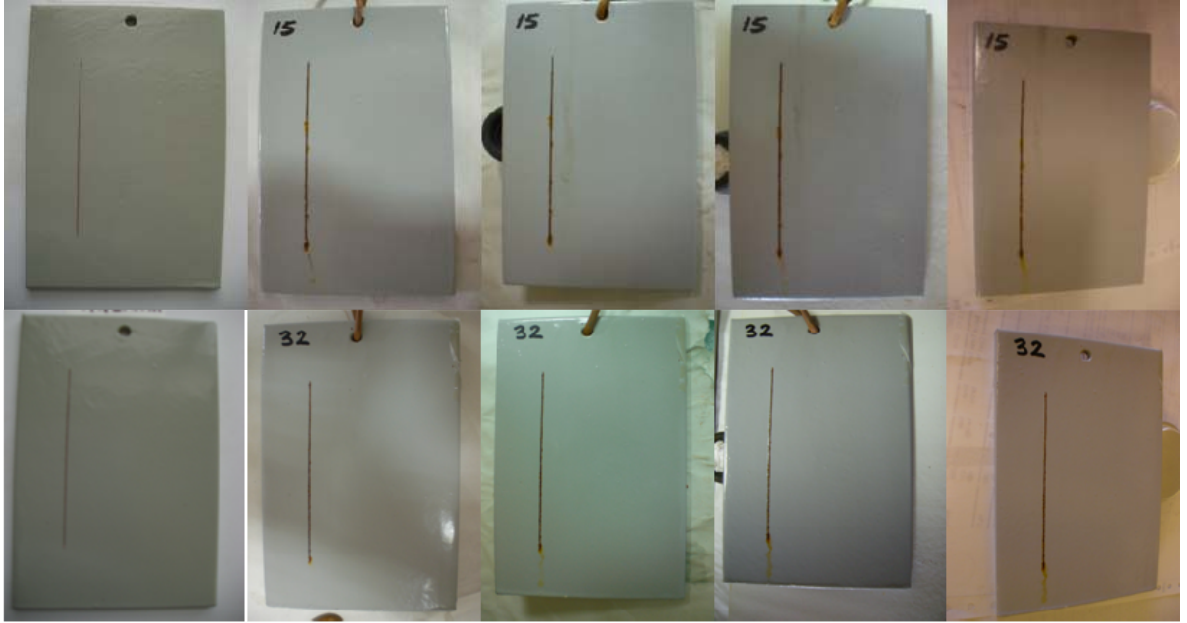
Şekil Ek 3.5 SO₂ Testi. Sistem 5. Üst sıra Kurulanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa Şahit, 4. gün, 10. gün, 15. gün, 21. gün



Şekil Ek 3.6 SO₂ Testi. Sistem 6. Üst sıra Kurulanmış, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa Şahit, 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün



Şekil Ek 3.7 SO₂ Testi. Sistem 7. Üst sıra Kurulmuş, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa Şahit 4. gün, 10. gün, 15. gün, 21. gün



Şekil Ek 3.8 SO₂ Testi. Sistem 8. Üst sıra Kurulmuş, alt sıra taşlanmış. Soldan Sağa Şahit 4. gün, 10. gün, 16. gün, 21. gün

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi:	09.03.1977	
Doğum Yeri:	İstanbul	
Lise:	1988 – 1996	Avusturya Lisesi
Üniversite:	1996 – 2000	Purdue Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği
Yüksek Lisans:	2000 – 2001	Purdue Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği
Doktora:	2002 – 2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı
Çalıştığı Kurumlar:		
	2001 – devam	Duratek Koruyucu Malzemeler San. ve Tic. A.Ş.