

**CEPHE MALZEMESİ OLARAK ATMOSFERİK KOROZYONA DAYANIKLI ÇELİKLER VE DAYANIKLILIĞA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**Kübra Cansu ES<sup>1</sup>, Z. Canan GİRGIN<sup>2</sup><sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yapı Programı, İstanbul, Türkiye<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

kubracansues@gmail.com , zcgirgin@yildiz.edu.tr

**Özet**

Yapının dış kabuğu olan cephe elemanının malzemesinin belirlenmesinde dayanıklılık faktörü önemli bir parametredir. Bu parametre, aynı zamanda malzemenin verimlilik koşullarını sürdürebileceği süreyi belirtir. Atmosferik koşullara dayanıklı çeliklerin incelenmesi, bu araştırmanın içeriğini oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında, yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çeliklerin dayanıklılığına etki eden kimyasal bileşenler, çevre koşulları ve bunların karşılıklı etkileşimlerine yer verilmiştir. Alaşım elementlerinin, zaman içerisinde yüzeyde kontrollü pas-patina tabakası oluşum mekanizması ve sürecine etkisinin yanısıra, atmosferik koşullar ile ilişkisi ele alınmıştır. Ayrıca, bu kapsamda Türkiye'den tipik güncel bir örnek olarak, Piri Reis Üniversitesi'nde yapılan cephe uygulaması irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atmosferik korozyona dayanıklı çelik, dayanıklılık, WS, HSLA, Korozyon, Cephe

**FACTORS AFFECTING WEATHERING STEEL DURABILITY AS FACADE MATERIAL****Abstract**

The durability factor is an important parameter in determining the material of the facade element, which is the outer shell of the structure. At the same time, durability specifies the amount of time that the material can maintain the performance values. The purpose of this study is to determine the durability of the weathering steel (WS) which is in low-alloy high strength steel (HSLA) group. The study includes chemical parameters in alloying materials, their interactions and durability factor of WS under atmospheric conditions. Accordingly, the formation mechanism and process of controlled patina layer, involved parameters are discussed. In addition, the facade application at Piri Reis University is examined as a typical case study from Turkey in this context.

**Keywords:** Weathering steel, durability, WS, HSLA, Corrosion, Facade

## 1. GİRİŞ

Binanın dış kabuğu olan cephe, servis ömrü boyunca atmosfer ile ilişki halindedir. Bu nedenle öncelikle, seçilecek malzemenin tasarım ve estetik açıdan sağlayacağı verimlilik parametrelerinin belirlenmesi gereklidir. Teknolojik imkanların artmasıyla birlikte “doğru malzeme seçimi” ön plana çıkmıştır. Bu seçim yapılırken; düşük maliyet, doğru uygulama, uzun vadeli verimlilik ve estetik görünüm başlıca ihtiyaçlar arasında yer alır. Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler; cila, boya benzeri bakım ihtiyacı göstermemesi, yaşayan bir malzeme olması, estetik açıdan yüzeyinde zaman içinde oluşan koyu kahve-turuncu pas-patina tabakası nedenleriyle mimari çevrede büyük ilgi görmüştür.

Atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin geliştirilmesi (Albrecht and Hall, 2003; Scott and Searls, 1995) ve yerinde performansın belirlenmesi konusunda; farklı atmosferik şartlar için muhtelif deneysel çalışmalar (Melchers, 2008; Aramendia et.al., 2013; Zhang et.al., 2014; Morcillo et.al. 2013) yürütülmüştür. Böylece malzemenin kullanılacağı alanın atmosferik koşullara uygunluğu araştırılmıştır.

Bu çalışmada, Es (2017)'nin bir bölümü olarak; atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin tarihsel gelişiminden kısaca bahsedilmiş, sınıflandırılması yapılmış ve bu grupta yer alan çelik tiplerinden özellikle bir tanesi (Cor-ten®) üzerinde daha detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca, Türkiye’de yapılmış önemli bir mimari örnek; Piri Reis Üniversitesi’nin cephe kaplaması, vaka çalışması olarak ele alınmış, kaplamanın zaman içindeki davranışı irdelenmiştir.

## 2. ATMOSFERİK KOROZYONA DAYANIKLI ÇELİK

### 2.1 Tarihçe

Atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin geliştirilmesi konusunda ilk araştırmalar, 1910’ların başında B.D.Saklatwalla’nın İngiltere’de yürüttüğü, çeliğe vanadyum ilavesi üzerine çalışmalar ile başlamıştır. 1926’da U.S. Steel işbirliği ile yaptığı deneysel çalışmalarda; Cu, P, Si, Ni ve Cr alaşım elementlerinin karbon çeliğine eklenmesinin, atmosferik korozyon dayanımını arttırdığı ortaya çıkmıştır. 1929’da, düşük alaşımlı çelikler HSLA (*High Strength Low Alloy Steel*) adı altında tescillenmiştir (Scott and Searls, 1995). Başlangıç evresinde; demiryolları, elektrik direkleri, konteyner ve köprülerde kullanılan malzeme (Şekil 1a-c) ; zamanla heykel, peyzaj ve mimari çevrede de yer bulmuştur (Şekil 1d).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 1.** a) Yük vagonu örneği [1], b) Silo yapısı örneği [2], c) La Vicaria Arch Bridge (Albacete, İspanya, 2007) [3], d) Four Indeterminate Lines (Arcs in Disorder, Exhibition Château de Versailles, Fransa, 2011) [3]

Çeliğe eklenecek alaşım elementinin tipleri, oranları ve verimliliği konusundaki çalışmalar sonucunda, atmosferik korozyona dayanıklı çelikler (*Weathering Steel*, kısaca *WS*) şimdiki kimyasal bileşimine ulaşmıştır. Çoğunlukla koruyucu ürünlere ihtiyaç göstermeyen *WS* çeliklerin günümüzde dünyada yaygın olarak bilinen markaları Indaten®, Mayari R®, Solanum®, XLERPLATE® dir. Yapılarda önemli kullanım alanı bulan *WS* çeliklerin bazı güncel örnekleri Şekil 2'de görülmektedir.



(a)

(b)



(c)

(d)

**Şekil 2.** a) Fondation FNEL (Luxembourg, 2013) [3] ,  
b) Fitzgibbon Community Centre (Australia, 2012)[4],  
c) Hebburn Central Community Centre (Hebburn,2015) [5],  
d) Interpretation Center in the Atacama Desert (Şili, 2016) [5]

## 2.2 Korozyona Dayanıklı Çelik Üretimi ve Alaşım Elementleri

Atmosferik korozyona dayanıklı çelikler (WS), “düşük alaşımlı çelik”<sup>1</sup> (HSLA) grubunda yer almaktadır. Söz konusu çeliğin üç temel özelliği; yapısal çelikten (karbon çeliği) daha yüksek akma ve çekme dayanımı, minimum bakım ihtiyacı ve zaman içinde oluşan pas-patina yüzeyinin estetik görünümüdür. Bu özelliklerin elde edilmesinde alaşım elementleri ve üretim süreci son derece önemli bir yer kaplar.

### 2.2.1 Üretim Süreci

Atmosferik korozyona karşı dayanıklı çelikler 20 cm kalınlığa kadar üretilir. Oluk, I kiriş, yüzey elemanları, pencere, pervaz, dikme ve diğer hafif elemanlar fabrikasyon olarak üretilir. Korumasız ve açık yapılarda,

<sup>1</sup> Karbon ve artılamayan bileşenler dışında kalan elementlerin toplamı ağırlıkça %5 den azdır.

kaynak ve birleşim elemanları ile ana çelik elemanlara uygun olarak birleştirilir. Birleşim, korozyon çatlamasını önlemek için sızdırmaz ve sıkı olmalıdır.

Atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin üretim süreci, diğer çelik cinsleriyle benzerlik gösterir. Diğerlerinden farklı olarak, istenen fiziksel ve mekanik özelliklere göre, sıvı halde iken belirlenen oranlarda alaşım elementleri eklenir (*alaşım yapma*). Ardından sırasıyla; sürekli döküm, haddeleme, ebatlandırma, şekillendirme, kaynaklama ve ilave olarak yaşlandırma işlemi uygulanır.

Yaşlandırma; malzemenin  $H_2SO_4$  çözeltisi içine daldırılması ile üzerindeki koruyucu tabaka oluşum hızının artırılması, böylece daha kısa sürede istenilen dokuya ulaşılması işlemidir. Uygulama sonucunda kurumaya bırakılan malzeme üstüne poliüretan vernik (Penetrol vb) sürülür, böylece işlem sabitlenmiş olur. Vernik, yüzeydeki aşınmayla oluşan penetrasyonu ve yapışmayı önler.

## 2.2.2 Alaşım Elementleri

Korozyona dayanıklı çeliklerin günümüzde istenilen değerlere ulaşmasında en önemli husus, kullanılan alaşım elementlerinin çeliğe kazandırdığı özelliklerdir, belli başlı elementler Mn, Si, Cu, Cr, V, Al, Ni, P'dir (Scott and Searls, 1995; Es, 2017). Alaşım elementlerinin çeliğe olan başlıca mekanik etkileri Tablo 1'de (Es, 2017) biraraya getirilmiştir. Kükürt hariç, alaşım elementlerinin, akma/çekme dayanımını arttırdığı görülmektedir. C, Cr, P, S sünekliği azaltırken diğer alaşımlar sünekliği arttırmıştır.

**Tablo 1.** Alaşım elementleri ve özellikleri (Es, 2017)

Özellikler/Alaşım Elementleri	C	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Si	Mn	P	S
Akma / Çekme Mukavemeti	+	+	+	+	+	+	+	+	+	o
Darbe Sertliği	+	-	o	+	+	+	+	+	-	-
Korozyon Dayanıklılığı	+	+	+	+	o	+	o	o	+	-
Süneklik/Tokluk	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Sıcakta Mukavemet	+	+	+	+	+	+	+	o	+	o
Kaynaklanabilirlik	-	-	-	o	-	+	o	-	-	-
Sertleşebilirlik	+	+	+	-	-	+	+	+	o	o
Soğuk Biçimlendirme	-	o	o	-	-	o	-	-	-	-
Sıcak Biçimlendirme	+	-	+	+	+	+	-	+	o	-
Aşınma Direnci	+	+	-	+	+	+	-	-	o	o
Oksitlenme Eğilimi	-	-	+	-	o	+	o	o	+	-

(+) : Arttırma (-) : Azaltma (o) : Etkisiz (veya göz ardı edilecek etki)

HSLA çeliklerin en belirgin özelliği, sertleşebilirliğinin alaşımsız çeliklerden (*karbon çeliği*) daha yüksek olmasıdır. Sertlik derecesini karbon (C) belirler, diğer alaşım elementlerinin etkisi düşük düzeydedir. İncelemelerde; C, Cr, Ni, Cu ve P'un korozyon dayanımını arttırdığı, ancak kükürtün (S) fazlasının azalttığı görülmüştür. Fosfor (P), genellikle üretim sürecinin sonucunda oluşur ve korozyon dayanımını arttırmak için

% 0.10'a kadar izin verilir, benzer şekilde kükürt (S) de sınırlandırılır. Günümüzde kullanılan başlıca WS çeliklerinin kimyasal bileşenleri yüzdeleri ile birlikte Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Farklı WS markalarının kimyasal bileşenleri [6-8]

Kimyasal Bileşenler (%)								
WS Markası	C	Mn	P	Si	Ni	Cr	Cu	S
Cor-Ten A <sup>®2</sup>	0.12	0.20-0.50	0.07-0.15	0.25-0.75	0.65	0.50-1.25	0.25-0.55	0.03
Cor-Ten B <sup>®</sup>	0.16	0.80-1.25	0.03	0.30-0.50	0.40	0.40-0.65	0.25-0.40	0.03
Indaten <sup>®</sup>	0.12	1.0	0.15	0.20-0.50	0.30	0.30-0.80	0.25-0.55	0.015
Mayari R <sup>®</sup>	0.15	1.0	0.15	-	-	-	0.20	0.05

### 3. ATMOSFERİK KOROZYON DAYANIMI

Bir yüzey olayı olan korozyon, metal yüzeyinin hava veya su gibi etkilerle teması sonucunda, yüzeyde başlayan ve zamanla ilerleyerek malzemenin daha derin noktalarına doğru hasara neden olabilen, malzeme verimliliğinin düşmesine neden olan bir oluşumdur.

Atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin üzerinde oluşan oksit tabaka, ana metale daha sıkı şekilde yapıştığı için gözenekli bir yapıya sahip değildir<sup>3</sup>. Bunun sonucu olarak, karbon çeliğine kıyasla, atmosferik korozyona dayanıklı çeliğin korozyon kaybı hızının, ilk yıllardan sonra oldukça yavaşladığı gözlenmiştir.

WS çeliğinin korozyon dayanımını, mekanik değerlerinin yanı sıra iklim, yerleşim yönleri ve detaylandırma prensipleri de etkiler. Bunlar madde madde aşağıda incelenmiştir :

o Atmosferik koşullar çok önemlidir. Endüstriyel, kırsal ve kıyı atmosferi olarak üç ana başlık altında incelendiğinde; en iyi sonuç kırsal koşullarında alınırken, en olumsuz sonuca kıyı koşullarında varılır. ASTM A-242 tipi çeliğin<sup>4</sup> tüm atmosferik koşullarda performansı, ASTM A A-588 çeliğinden üstündür. Ancak her iki WS çelik de kıyı ikliminde kullanıma uygun görünmemektedir. Atmosferdeki SO<sub>2</sub> emisyonu açısından karşılaştırma yapıldığında, karbon çeliğine kıyasla (CS) WS çeliğin korozyon dayanımı belirgin biçimde yüksektir (Şekil 3).

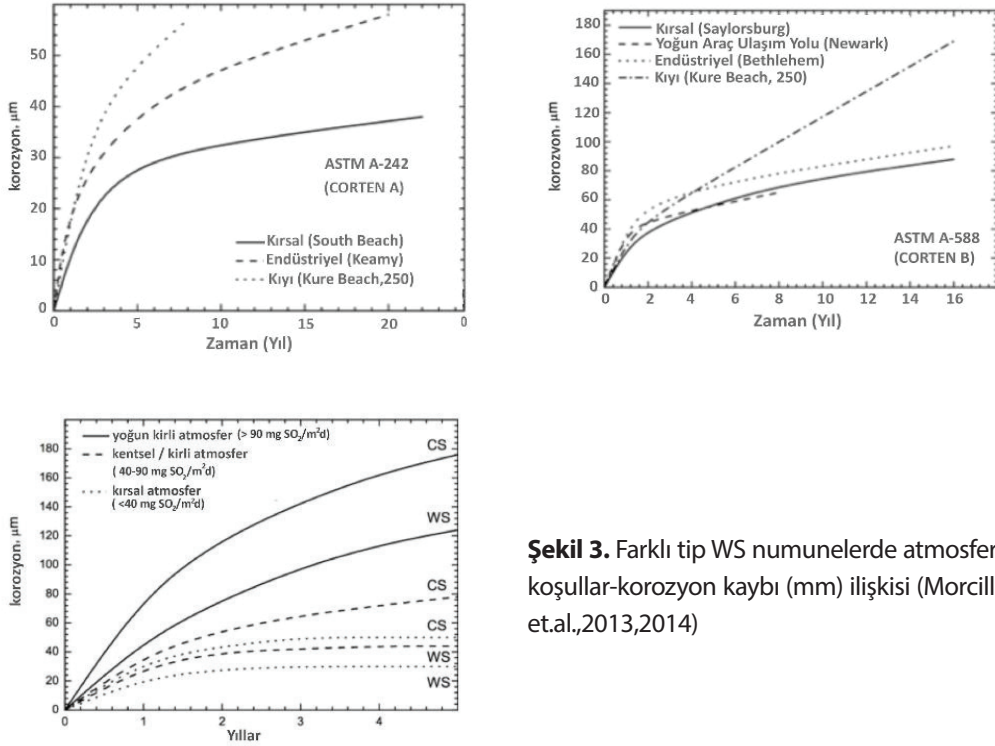
Kırsal kesimde korozyon oldukça yavaş ilerlemektedir, bu nedenle malzemede istenilen görünümün oluşması uzun zaman alacaktır. Kirli endüstriyel ortamda artan korozyon kaybı, WS çelik üzerinde oluşacak

2 Günümüzde en çok kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik olan Cor-ten A<sup>®</sup> çeliğinin orjinal içeriği %0.12 C, %0.07 P, %0.5 Si, %0.3 Cu, %0.2 Ni, %0.7 Cr idi. Ni oranının günümüz değeri (Tablo 2), orjinaline göre oldukça artış göstermiştir. Bu durum araştırıldığında (Diaz, 2013), Ni elementinin çelik yüzeydeki bakır zenginleşmesinden ötürü haddelme işlemi sırasında sıcak aşınmayı en aza indirmek ve kıyı atmosferinde korozyon dayanımının güçlendirmek için artırılmasının faydalı olduğu anlaşılmıştır.

3 Cu, P, Cr, Ni alaşım elementleri, iç pas katmanını güçlendirerek sıkılaştırır. Pas tabakasının üst kısmı gevşekken, iç tabaka yapışkan ve kompakttır. İç pas katmanındaki Ni<sup>2+</sup> iyonları, elektrokimyasal etki ile çelik/pas ara yüzüne Cl itilmesine neden olur. Pas tabakası elektrokimyasal reaksiyonu teşvik eden güçlü bir oksidasyon görevi görür, oksijen difüzyon mesafesi dış pas tabakası kalınlığı ile ilgilidir. Yaş ve kuru geçişi esnasında elektrolit tabakasının kalınlığındaki değişime bağlı olarak, oksijen azalma oranı periyodik olarak değişir ve bu değişim korozyon potansiyellerinde değişimleri neden olur (Melchers, 2008; Zhang et.al., 2014).

4 ASTM A-242 ve A-588 çelik sınıfları aynı zamanda sırasıyla CORTEN-A<sup>®</sup> ve CORTEN-B<sup>®</sup> tipi WS çeliğe karşı gelmektedir.

koruyucu tabakanın tamamen koruyucu nitelikte olmayacağına işaret etmektedir.  $SO_2$  değeri arttıkça, sağlıklı bir pas-patina yüzeyi yerine, parçacık görünümlü oluşacaktır.



**Şekil 3.** Farklı tip WS numunelerde atmosferik koşullar-korzyon kaybı (mm) ilişkisi (Morcillo et.al.,2013,2014)

o Atmosferik korozyon dayanımı için temel şart, metal yüzeyinin ıslanma kuruma döngü-süne maruz kalmasıdır; tasarım, bu döngünün tamamlanmasına imkan verecek şekilde yapılmalıdır. Koruyucu pas-patina oluşabilmesi için, malzemenin sadece dış katmanı değil, aynı zamanda iç katmanının da ıslandıktan sonra tamamen kuruması gerekir. Malzemenin ıslanmadığı taktirde giremeyeceği bu döngünün yokluğu, istenilen rengin sağlanamamasına neden olacağı gibi, kuruma problemi yaşandığında da korozif davranışlar sözkonusu olacaktır (Melchers, 2008; Zhang et.al., 2014).

o Malzemenin kullanıldığı her yüzeyin güneş alması, bu döngünün tamamlanması için katalizör görevi görür. Güneş alan tüm yüzeylerde süre uzadıkça (örnek : güney cephe) daha olumlu sonuçlar gözlenecektir.

o Nemli ortamlarda atmosferik korozyona karşı dayanıklı çelikler tavsiye edilmezken, kuru bölgelerde bir problem gözlemlenmez, ancak pas-patina tabakasının oluşabilmesi için, tasarım direkt olarak ıslanma kuruma döngüsünün tamamlanmasına imkan verecek şekilde olmalıdır.

o Kanallar, cepler ve yarıklar; yağmur ve sürekli nemli kalma riskine karşı dikkatli detaylan-dırılmalıdır. Drenaj delikleri yapıya dâhil edilmeli ya da yeterli havalandırma sağlanmalıdır [9] (Brockenbrough, 2011).

#### 4. CEPHE ÇALIŞMASI ÖRNEĞİ OLARAK PİRİ REİS ÜNİVERSİTESİ

Son zamanlarda, yapı dış yüzeyi üzerine ikincil cephe uygulaması artmıştır. İki tabaka arasındaki hava boşluğu ile enerji tasarrufu sağlanır; ayrıca havalandırma, ışık kontrolü amaçlanır. İkincil cephe olarak çelik, çinko, bakır gibi metaller; plaka, profil ve levha halinde uygulanabilmektedir.

Duvardan bağımsız dış cephe kaplama yöntemi, uygulama sistemi olarak kendini taşıyacak özellikte taşıyıcı sisteme sahip olmalıdır. Bunun için, yapının ana taşıyıcı sistemine sabitlenecek ızgara sistem (tali taşıyıcı sistem) oluşturulur. Panel bu ızgara sisteme monte edilir, ızgara boyutları ve taşıyıcı profiller panelin ağırlığı ve boyutlarına göre seçilir (Çetinel, 2012). Bu tip bir tasarıma örnek olarak, İstanbul Tuzla yerleşkesinde yer alan Piri Reis Üniversitesi verilebilir. Brüt beton yüzeyli, betonarme taşıyıcı sistem üzerine ızgara tali taşıyıcı sistem uygulanmış ve üzerine Cor-ten® paneller monte edilmiştir.

Denizcilik okulu olan Piri Reis Üniversitesi; Kreatif Mimarlık, tedarikçi ve uygulamada yer alan Kasso firması iş birliğinde 2014 yılında tamamlanmıştır. Doğal görünümlü, sade ve yaşayan bir yapı elde edilmek istenmiştir. Gemi, tershane, deniz gibi kavramlar düşünüldüğünde, denizcilik alanında sık kullanılan WS'nin son yıllarda mimari çevrede; düşük maliyet, düşük bakım ve atmosfere maruz kaldıkça değişen doğal yüzey görünümünü ilgi çekmektedir. WS, perfore ve genişletilmiş sac olarak uygulanmıştır. Yapı, Türkiye'de WS panellerin kullanıldığı başlıca mimari örnekler arasında yer almaktadır.

Açık bir alana yerleşmiş olan yapı, güneş ışığı alma ile ilgili genel bir problem yaşamamaktadır. Çevresinde bulunan seyrek ve az katlı yapıların yanı sıra güney cephesi denize bakmaktadır (Şekil 4). Bu nedenle ısınma-kuruma döngüsünü tamamlaması beklenir ancak deniz kenarında yer almasından ötürü WS paneller, havanın nemi ile sürüklenen tuz etkisine maruz kalarak olumsuz etkilenmiştir.

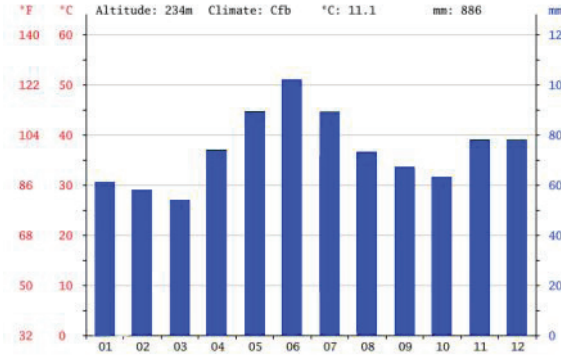


Şekil 4. Piri Reis Üniversitesi, vaziyet planı [10],cepheden görünüm (Fotoğraf: Ömer Kanipak)

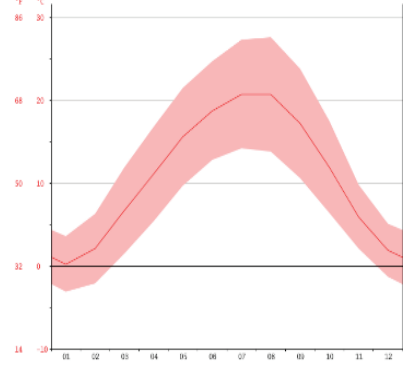
Bölgenin atmosferik koşulları incelendiğinde (Şekil 5), Tuzla bölgesinde yaklaşık 50 mm yağış ile mart ayı yılın en kurak ayı iken, en yoğun yağış ortalama 102 mm ile haziran ayında görülmektedir. Sıcak ve ılıman bir iklim görülmesine rağmen bölgede belirgin bir yağış hakimiyeti vardır, yıllık ortalama yağış 886 mm'dir.

Yıllık ortalama sıcaklık 11.1 °C olup, Ocak ayı -2°C +5 °C aralığında en soğuk geçen aydır, temmuz ayı 15 °C ile 28 °C aralığında en sıcak aydır, yıl boyunca ortalama sıcaklık 20.5°C'dir.





(a)



(b)

Şekil 5. Tuzla bölgesinde yıl boyunca a) yağış değişim grafiği, b) sıcaklık değişim grafiği [11]



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6. Piri Reis Üniversitesi, a) Kuzey Doğu cephe görüntüsü, b) Güney Batı cephe görüntüsü, c) Batı cephe görüntüsü, d) Doğu Cephe görüntüsü

Şekil 6 verileri, malzemenin kuruma periyodunu tamamlamada zorluk çekeceğini göstermektedir. Nitekim Şekil 7'den de görüldüğü gibi, panellerde, bu tip atmosferik koşullarda beklenen en önemli problem olan "pas kuma" mevcuttur. Özellikle arada kalan kuzey batı ve denize bakan güney cephesinde yoğun bir şekilde oluşmuştur.



Şekil 7. Piri Reis Üniversitesi Uygulama Örnekleri

Betona bağlı ve ahşap döşeme üstüne denk gelen panellerin uzun vadede zemini kirletmesini önlemek pek mümkün olmayacağı gibi; çakıl, toprak ve çime inen paneller zeminin yıkanması ile kısa vadeli bir çözüm olarak pastan arındırılabilir. Nitekim

Henüz birkaç yıllık bir örnek olan Piri Reis Üniversitesi cepheleri için en uygun çözüm yöntemi, malzemin yüzeyinde aşındırma yapmak ve kostik içine batırarak koruyucu cila uygulamak olacaktır. Bu çözüm malzemenin uzun vadeli olarak başka bir bakıma ihtiyaç duymamasını sağlayacaktır. Sadece yüzey aşındırması yapıldığı takdirde, kısa sürede aynı sorunla yeniden karşılaşılacak ve uygulanan işlemde otürü malzeme incelmeğe başlayacaktır.

## 5. SONUÇ

Yapı malzemesi seçimi; teknik değerler, estetik kaygılar, maliyet ve ihtiyaca göre değişebilecek kişisel parametreler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Doğru tasarımı doğru malzeme belirler ve uygulanacağı alana göre malzeme tercihi yapılmalıdır.

Atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin cephe malzemesi olarak kullanılabilirliğini saptamak için, içerik ve malzeme performans değerleri üzerinde durulmuştur. Sonuçlar, WS'nin korozyon dayanımı ve dayanıklılığının oldukça tatmin edici olduğunu göstermiştir. Ancak, her ne kadar atmosfere karşı diğer metallerden çok daha dirençli olduğu anlaşılrsa da her iklim koşulu altında aynı başarıyı elde etmek mümkün değildir. WS yaşayan ve kendini yenileyebilir bir malzeme olmasına rağmen, yüksek nem ve tuz içeren kıyı iklimi yada yüksek SO<sub>2</sub> içeren endüstriyel koşullar altında dayanıklılık sorunu yaşayabilmektedir. Bu tip atmosferik koşullarda, malzeme dayanıklılığını arttırmak için, çevresel etkenler tasarıma doğru şekilde entegre edilmeli ve buna bağlı olarak önlemler alınmalıdır. Böylece malzemenin vadettiği servis ömrünün, vadettiği performansta sürdürebilmesi sağlanabilir.

## 6. KAYNAKÇA

**Albrecht, P.**, and T.T.Hall 2003. Atmospheric corrosion resistance of structural steels. *Journal of Materials in Civil Engineering* 15 (1), 2-24.

**Aramendia, J. et al.** 2013. Multianalytical approach to study the dissolution process of weathering steel: The role of urban pollution, *Corrosion Science* 15 (1), 154 –162.

**Brockenbrough, R.L.** 2011. Properties of structural steels and effects of steelmaking and fabrication, (Chapter: McGraw-Hill Professional), Access Engineering, Pennsylvania.

**Çetinel, E.** 2012. Tarihsel süreç içinde dış cephe kaplama malzemelerinin ısı yalıtımı açısından irdelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, Türkiye.

**Diaz, I. et. al.** 2013. Atmospheric corrosion of Ni-advanced weathering steels in marine atmospheres of moderate salinity. *Corrosion Science* 76, 348-360.

**Es, K.C.** 2017. Atmosferik korozyona dayanıklı çeliklerin yapılarda cephe elemanı olarak kullanılabilirlik şartlarının incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.

**Melchers, R.E.** 2008. A new interpretation of the corrosion loss processes for weathering steels in marine atmospheres, *Corrosion Science* 50, 3446 – 3454.

**Morcillo, M., et al.** 2013. Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review. *Corrosion Science* 77, 6 –24.

**Morcillo, M., et al.** 2014. Weathering steels: From empirical development to scientific design. A review, *Corrosion Science* 83, 6 –31.

**Scott, J.C. and C.L. Searls.** 1995. "Weathering steel" in twentieth-century building materials history and conservation, New York: McGraw-Hill, 73-77.

**Zhang, X. et al.** 2014. Layers on corrosion of carbon steel and weathering steel during wet-dry cycles. Corrosion Science 82, 165 –172.

## İNTERNET SİTELERİ

[1] Yük vagonu örneğinin alındığı websitesi adresi <http://modelingthesp.blogspot.com.tr/2013/01/rust-part-2-car-roofs.html>

[2] Silo yapısı örneğinin alındığı websitesi adresi <https://www.flickr.com/photos/traveller2020/3090599981>

[3] Indaten projelerinden görsel örneklerinin alındığı websitesi <[http://flateurope.arcelormittal.com/repository2/fce/Brochures/Indaten\\_brochure\\_EN.pdf](http://flateurope.arcelormittal.com/repository2/fce/Brochures/Indaten_brochure_EN.pdf)

[4] Ws örnek uygulamasının alındığı website [http://www.steel.com.au/products/uncoated-steel/xlerplate-steel/weathering-steel\(E.T:23.10.17\)](http://www.steel.com.au/products/uncoated-steel/xlerplate-steel/weathering-steel(E.T:23.10.17))

[5] Interpretation Center in the Atacama Desert görselinin alındığı website <https://www.dezeen.com>

[6] Bethlehem Steel Mayari R Çeliği Kimyasal İçeriğinin Alındığı Websitesi Adresi <<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=6c06c3d539704435994258b3407574aa&ckck=1>

[7] Indaten Çeliği Kimyasal İçeriğinin Alındığı Websitesi Adresi <[http://constructalia.arcelormittal.com/files/Indaten\\_brochure\\_EN-b8d99cac2c4da8f0da37a9bda131649f.pdf](http://constructalia.arcelormittal.com/files/Indaten_brochure_EN-b8d99cac2c4da8f0da37a9bda131649f.pdf)

[8] U.S Steel Corten A ve Corten B Kimyasal İçeriğinin Alındığı Websitesi Adresi <<http://www.totalmaterial.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&NM=274>

[9] The History Of Corten, All Steel Fabrications < <http://allsteelsculpture.com/history-of-corten-sculptures>

[10] Piri Reis Üniversitesi Görselinin alındığı websitesi adresi <http://www.archello.com/en/project/piri-reis-maritime-university>

[11]Tuzla bölgesi iklim grafiklerinin alındığı website adresi, [www.climate-data.org](http://www.climate-data.org)