








Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Elektro Galvaniz İşleminin St37 Ankraj Elemanının Korozyon Mekanizmasına Etkisinin Araştırılması

 Muhammed MARAŞLI ^{a,*},  Volkan AKMAZ ^{a,*},  Menderes KAM ^b,  Kader DİKMEN ^a,
 Hüsnü GERENGİ ^c

^a Fibrobeton Yapı Elemanları San. ve İnşaat A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Düzce, TÜRKİYE

^b Makine ve Metal Teknolojileri, Dr. Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^c Korozyon Araştırma Laboratuvarı, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: volkanakmaz@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.938836

Öz

Düşük karbonlu çelik alaşımları; başta inşaat, otomotiv, beyaz eşya ve petrokimya olmak üzere birçok üretim sektöründe, fiyat /performans oranı göz önünde bulundurularak yoğun miktarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, cam elyaf katkılı beton (GRC: Glassfibre Reinforced Concrete) ile birlikte kullanılan elektro galvanizli ve galvanizsiz St37 ankraj pad elemanının, %3.5 NaCl ortamındaki korozyon mekanizması Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Potansiyodinamik Polarizasyon (TP) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Elektro galvaniz işleminin, ankraj pad elemanını %3.5 NaCl ortamında yaklaşık 3.2 kat daha iyi koruduğu belirlenmiştir. İki saat boyunca açık devre potansiyelleri (OCP) incelenmiş ve elektro galvaniz işlemi uygulanmamış metalin potansiyel değişimi yaklaşık 235 mV olurken, elektro galvaniz işlemi uygulanmış metalde bu değişim sadece 9 mV olmuştur. Deney öncesi ve sonrası optik resimlerle metal yüzeyindeki deformasyonların elektrokimyasal verileri desteklediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elektro galvaniz, Korozyon, %3.5 NaCl, St37

Investigation of the Effect of Electro Galvanizing Process on Corrosion Mechanism of St37 Anchorage Element

ABSTRACT

Low carbon steel alloys; is used extensively in many production sectors, especially in construction, automotive, white goods and petrochemicals, considering the price / performance ratio. In this study, the corrosion mechanism of electro galvanized and non-galvanized St37 anchor pad element used with glass fiber reinforced concrete (GRC: Glassfibre Reinforced Concrete) in 3.5% NaCl environment was investigated using Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) and Potentiodynamic Polarization (TP) methods. It was determined that the electro galvanization process protected the anchor pad element 3.2 times better in 3.5% NaCl environment. The open circuit potentials (OCP) were examined for two hours and the potential change of the metal that was not electro galvanized was approximately 235 mV, while this change was only 9 mV in the electro galvanized metal. It was seen that the deformations on the metal surface supported the electrochemical data with the optical pictures taken before and after the experiment.

Keywords: Electro galvanize, Corrosion, 3.5% NaCl, St37

I. GİRİŞ

Ülkemizde çok sayıda sanayi kuruluşu bulunmaktadır. Bu sanayi kuruluşları, üretim alanlarında çok sayıda malzemeye ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde yapı ihtiyaçlarının karşılanmasının yanı sıra yeni yapılar inşa etmek ve bu yapıların da şehir merkezinde olması ile birlikte yeni ihtiyaçlara yeni çözümler üretilmesini gerektirmiştir. Bu bağlamda, teknolojiye bağlı olarak, ön yapımlı betondan ön dökümlü betona (prekast) geçiş olmuştur [1].

Sanayi kuruluşlarında en çok tercih edilen malzemelerden biri St37 çeliği, genel yapı malzemelerinde yaygın olarak kullanılır. Sıcak üretim ile elde edilen çeliğin yeniden işlem yapılarak soğuk çekme sonucunda imal edilen St37 çeliğidir. Bu işlem neticesinde malzemeye yeni özellikler kazandırarak daha dayanıklı hale gelmiş olur. Bu çelik, daha ekonomik olduğundan dolayı birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar; yapı malzemeleri, gemi inşası, ağır sanayi inşaatları, bisiklet, mobilya ve çelik eşyalar vb. gibidir [2, 3]. Ayrıca, otomotiv parçalarında, makine parçalarında ve millerde kullanılır. Karbon değerinin düşük olmasından dolayı kaynak kabiliyetleri ve mukavemetleri yüksek olan yapı çelikleridir. Bu özelliklerinde dolayı montaj anında ve montaj sonrası kaynak olmasına ihtiyaç duyulan makine elemanları ve bileşenlerinde uygun olmaktadır. Bu gibi özelliklerinden dolayı daha çok tercih edilir [4, 5]. St37 ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, Ansys paket programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve St37 (3 mm kalınlık) üç boyutlu modellemesi gerçekleştirilmiştir. Malzemenin orta noktasına 50 MPa uygulanmış, eksenlere göre mekanik gerilim analizleri gerçekleştirilmiş ve analizler sonucu St37 çeliğinin mekanik gerilim dağılımlarına bakıldığında basınca göre mesnetlere uyguladığı etkinin arttığı gözlenmiştir [6]. Yarı rijit bağlantılı yapıda olan çelik taşıyıcı sistemlerin mekanik davranışları sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir [7]. Çeliklerde oluşan kalıntı gerilmeleri incelemek için köşe birleştirmelerine farklı eğim, farklı ısı girdisi ile deneyler ve sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Bunun sonucunda işlem parametrelerinin kalıcı gerilmeler üzerine etkisini detaylı olarak araştırılmıştır [8].

Cam elyaf katkılı beton - GRC (Glassfibre Reinforced Concrete), prekast sektörünün en çok duyulan teknik terimleri arasında bulunmaktadır. Cam elyaf, çimento ve yapı kimyasalları katkılı beton tipi dayanıklıdır. Geleneksel olarak hazırlanan betonlara göre çarpma, basınç ve bükülme dayanımlarının yüksek olması, bina cephelerinde çok tercih edilen bir seçenek olarak daha yeni tasarımlara zemin hazırladığı görülmektedir. Ülkemiz, deprem kuşağında bulunmasından dolayı prekast uygulamalarını seçmek büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, dış duvara gerek olmadan hem bina üzerine gelecek fazla yükü azaltırken, hem de hafiflik avantajı sayesinde dayanıklılık da sağlamaktadır [9].

Alkaliye dayanıklı cam elyaf katkılı beton türü olan Fibrobeton, 10-15 mm kalınlıkta üretilmektedir. Çeşitli kalıplara döküm kolaylığı açısından ve daha kolay kalıplama ile iyi bir dekorasyon malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, çelik ile takviye edilmesi ile istenilen geometrik şekilde panel olarak iyi bir cephe kaplama malzemesi olarak, yüksek dayanıma sahip ve uzun ömürlü bir yapı malzemesidir [10]. Literatürde, cam elyaf katkılı prekast beton cephe panelleri bir alan çalışması yapılarak ayrıntılı olarak incelenmiş ve binalarda performans değerlendirmesi yapılmıştır. Çok sayıda üretim ve performansla ilgili avantajları, uygulama avantajları ve dezavantajlara sahip olduğu görülmüştür [1].

Yapım yöntemleri arasında iki tür bulunmakta olup, bunlar premix ve spray sistemlerdir. Hazırlanan karışım kalıp içerisine dökülürse premix, püskürtme yapılırsa spray olarak isimlendirilir. Üretimi yapılacak olan parçanın tamamının dolu olması istendiğinde genellikle premix yöntemi seçilir. 4-5 cm üzerindeki yüzey hareketliliklerinde malzemenin ağırlığını azaltmak amacıyla 12-16 mm arasında spray metodu ile üretim yapılır. Temelde üç farklı kalıp tipi kullanılır. Bunlar, ahşap, polyester ve silikon kalıplardır. Döküm sayısına ve kalıbın üzerinde yapılacak dekoratifleğe göre kalıp tipi belirlenir. Kalıpların efektif kullanılması üretim başına maliyetleri düşüreceği için fiyat üzerinde önemli bir rol oynar. Üretimi yapılacak GRC prekast cephe kaplamalarının hesaplamalar sonucunda statik hesaba göre karkaslı ya da padli üretimi yapılmaktadır. Pad, genellikle küçük ve metal konstrüksiyon altyapısına imkan vermeyen durumlarda kullanılır. Her iki bağlantı türünde de fleks çubuk adı verilen Q8 çelik

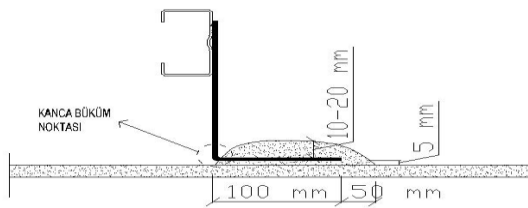
çubuklar kullanılarak deprem yüklerinin panelde absorbe edilmesine imkan verir. Karkaslı sistemde ise, padlerin üzerlerinde kaynakla sabitlenmiş kutu profil yer almaktadır. Kutu profilin üzerinde halfen c kanalı kaynatılmakta ve L ankrajlarla ana konstrüksiyona bağlantı gerçekleştirilmektedir. Kaynak yapılırken yüksek ısı oluşur ve kaynak yapılan profilin yüzeyinde madde kaybı yaşanır. Ayrıca yüksek ısı çelik içerisindeki suyun azalmasına ve malzemenin gevrekleşmesine sebebiyet verir. Beton esaslı prekast cephe panellerinde katmanların birbirine bağlanması ve yük paylaşımını sağlamak için farklı bağlantı elemanları bulunmaktadır. Bunların seçerken panellerin özelliklerini göz önünde bulundurulması gerekmektedir [9, 10].

Katkılı betona sahip cephe panellerinde, bağlantı elemanlarının kullanılacağı alana ve işlevine göre birçok görevi bulunur. Bu görevler; katmanlar arası yatay kuvvetleri aktarmak, katmanlar arası yük aktarımını sağlamak, katmanları bir arada tutmak ve panelde sehim - kayma direnci sağlamaktır. Katmanlı panellerde bulunan bağlantı elemanları farklı şekil, boyut ve malzemelerden oluşmaktadır. Bu bağlantılardan bazıları; metal, plastik, kaynaklı tel kafes, lifli kompozit bağlantı ya da dolu beton yüzeyler şeklinde olabilir. Bağlantı elemanlarının panelin boyutlarına, ağırlıklarına ve istenildiği performansla göre olması gerekir [1, 10, 11, 12]. Bağlantı elemanları panele uygun olarak seçilmeli ve üretimde yalıtım katmanının zarar görmesi ve ısı köprüsü oluşmasına izin verilmemelidir. Bu yüzden, beton esaslı panellerde ısı iletim katsayısı düşük lifli kompozit bağlantı elemanları seçilmektedir. Ankraj sistemleri, panelin boyutuna, formuna ve taşınacağı araca göre farklılık göstermektedir. Panellerde vidalı, geçmeli, kablolu veya kelepçeli ankraj sistemleri tercih edilmektedir [13].

Bu çalışmada, GRC ile birlikte kullanılan elektro galvanizli ve galvanizsiz St37 ankraj pad elemanının, %3.5 NaCl ortamındaki korozyon mekanizması Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Potansiyodinamik Polarizasyon (TP) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır.

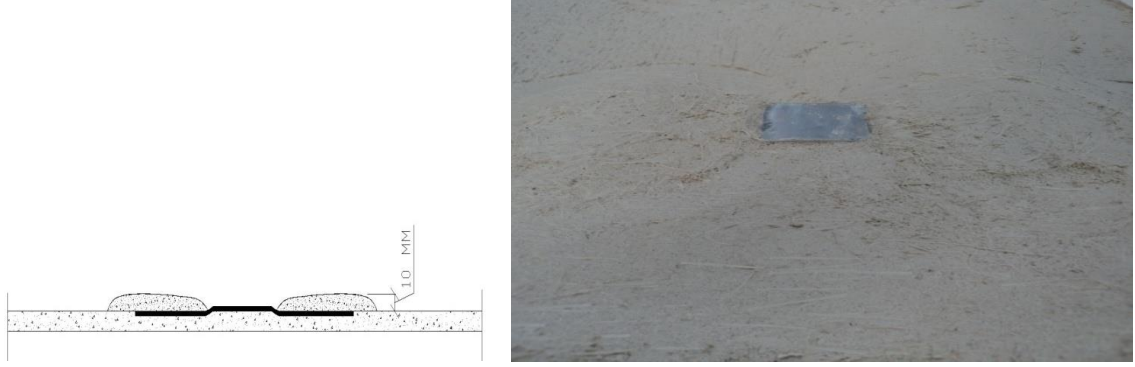
II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, bir adet pad kancasının padlenmesinde 450-500 gr harç kullanılır. Çift kancalı bağlantılarda harç miktarı 600-650 gr olarak alınır. Pad sayısına göre kullanılacak pad harcı hazırlanır. Şekil 1’de gösterildiği gibi pad kancalarının üzerine harç yerleştirilir. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde özellikle kanca büküm noktasının açıkta kalmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 1. Pad sayısına göre kullanılacak harcın hazırlanması.

Ankraj yerleştirme işlemi özel durumlar hariç dökümün son katı atılır atılmaz gerçekleştirilir, Ankraj teknik resimde belirtilen ölçülerde yerleştirilir ve ankraj kenarları Şekil 2’deki gösterildiği gibi harç ile kapatılır. Ankrajın montaj için kullanılacak kısımları açıkta kalmalıdır ve bu kısımlara harç bulaşmamalıdır.



Şekil 2. Ankraj kenarlarının harç ile kapatılması.

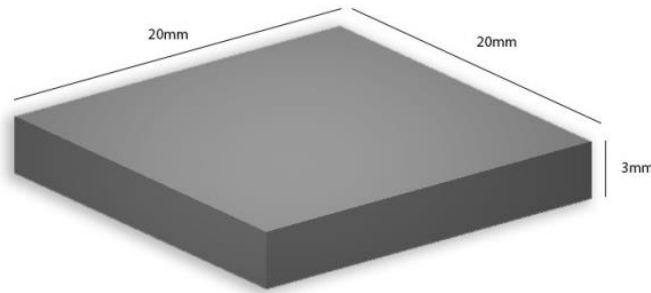
A. ELEKTROKİMYASAL ANALİZLER (OCP-EIS-TP)

Deneyde kullanılan elektro galvaniz uygulanan St37 çeliğine ait numunenin kimyasal bileşimi Tablo 1’de gösterilmiştir. St37 çeliği Erk Demir Çelik San. ve Tic. A.Ş firmasından temin edilmiştir [16]. Elektro galvaniz işlemi ise Ateş Galvaniz firmasında yapılmıştır [17]. Galvaniz kalınlığı Elcometer 456 F cihazı kullanılarak ölçülmüş ve kalınlığın 10-15 μ olduğu tespit edilmiştir.

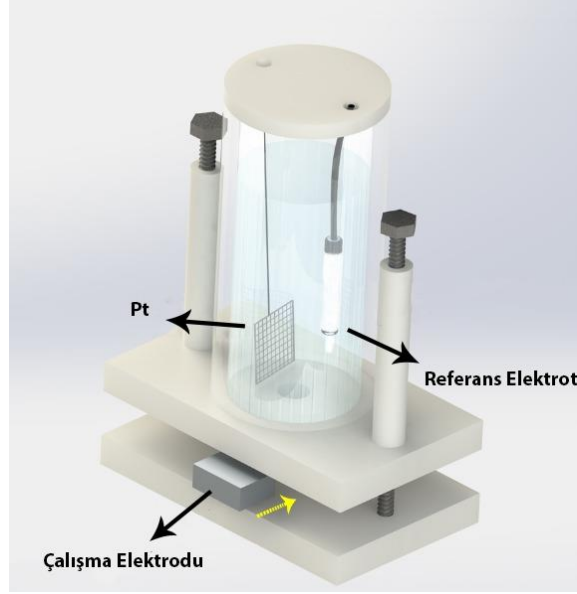
Tablo 1. St37 metalinin kimyasal bileşimi (wt. %).

Metal	C	Mn	P	N	S	Si
St37	0,22	1,40	0,05	0,009	0,045	0,30

Elektrokimyasal testler için numuneler Şekil 3’te gösterildiği gibi ölçülendirilip, Şekil 4’te gösterilen düzenek kullanılarak oda sıcaklığında OCP, EIS ve TP deneyleri yapılmıştır. Referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrotu ve karşıt elektrot olarak Pt tel kullanılmıştır. Kullanılan numunelerin sadece 0.785 cm^2 ’lik kesit alanı korozif ortama maruz bırakılmıştır. GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA cihazı elektrokimyasal ölçümlerde kullanılmıştır.



Şekil 3. Elektrokimyasal testler için kullanılan numunelerin ebatları.



Şekil 4. Elektrokimyasal testler için kullanılan deney düzeneği.

OCP ölçümleri sonrası EIS ve ardından TP deneyleri aynı numuneye uygulanmıştır. Her bir ölçüm 7 defa yapılmış ve ortalama değere en yakın veriler burada sunulmuştur. Çalışma elektrotunun yüzeyi 400-2000 sınıflardaki zımpara kâğıtları ile iyice zımparalanarak yüzeyin pürüzsüz olması sağlanmıştır. Bu işlemlerden sonra, numunenin yüzeyi saf suyla yıkanarak, asetonla silinip iyice kurutulmuştur. Korozif ortam olarak kullanılan %3.5 NaCl çözeltisi, elektrokimyasal ölçümler öncesi çözelti 10 dakika boyunca manyetik karıştırıcı ile karıştırılmış daha sonra korozyon hücresine ilave edilmiştir.

B. OPTİK GÖRÜNTÜLEME

Deney öncesi ve TP yöntemi sonrası, kullanılan çalışma elektrotunun yüzeyi BAB marka [18] ters mikroskopla incelenmiştir (Şekil 5). Plan Akromatik 20X/0.35 (S) objektif kullanılarak 100x büyütme ile oda sıcaklığında inceleme yapılmıştır.

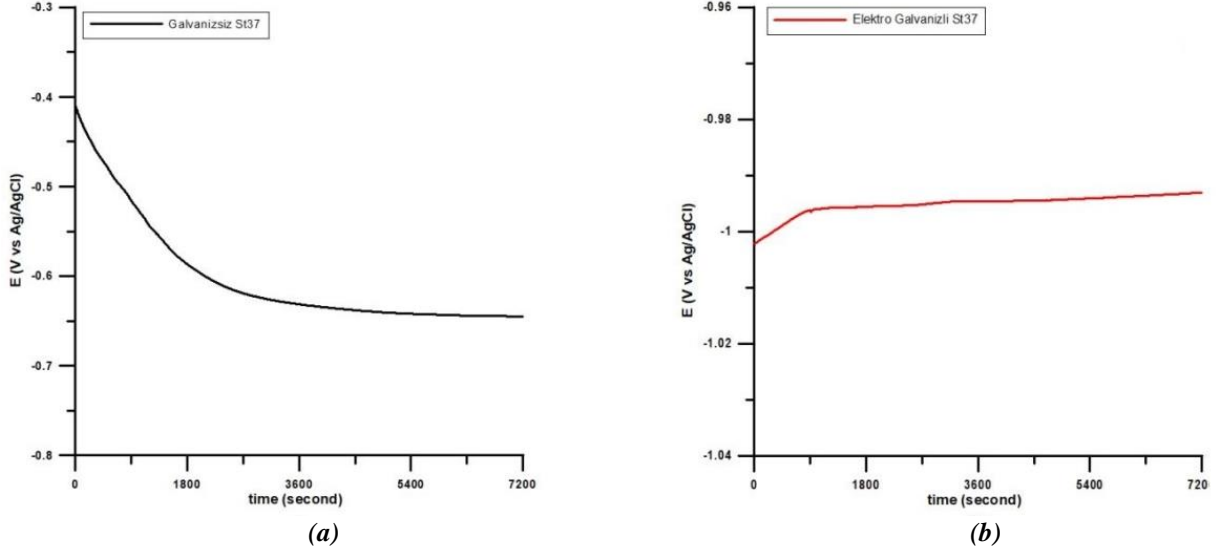


Şekil 5. Ters Metalurji Mikroskobu.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. OCP ANALİZİ

Şekil 6'da galvanizsiz ve galvanizli numunelerin 2 saat boyunca referans elektrot olarak kullanılan Ag/AgCl'e karşı potansiyel değişimi gösterilmiştir.



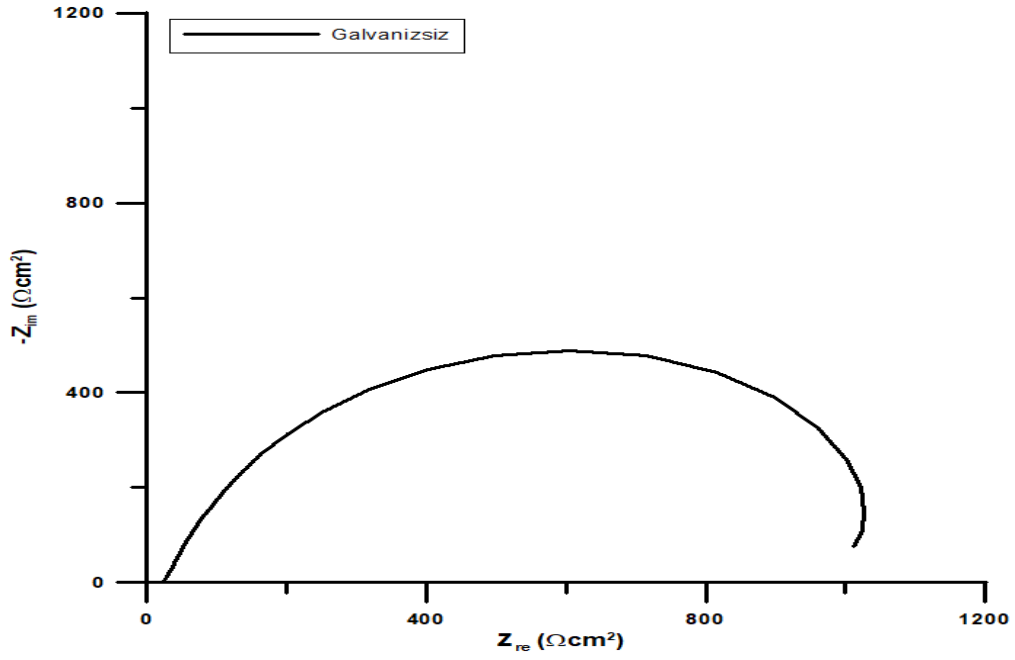
Şekil 6. Galvanizsiz (a) ve galvanizli (b) çalışma elektrotlarının zamana bağlı potansiyel değişimi.

Galvanizsiz çalışma elektrotun potansiyeli yaklaşık 3600 saniye boyunca katodik yönde azalmıştır. Deney öncesi -410 mV olan elektrot potansiyeli, 3600 saniye sonunda -630 mV olarak ölçülmüştür. Bu değişim, deneyin ilk 3600 saniyesi boyunca sistemin stabil olmadığını göstermektedir. 3600 saniye sonunda sistem dengeye gelmiş ve deney bitiminde (7200 saniye sonunda) ölçülen elektrot potansiyeli -645 mV olmuştur. Bu bulgu, çalışılan bu sistem için EIS ölçümleri öncesi 7200 saniye olarak belirlenen bekleme süresinin doğru bir seçim olduğunu göstermektedir.

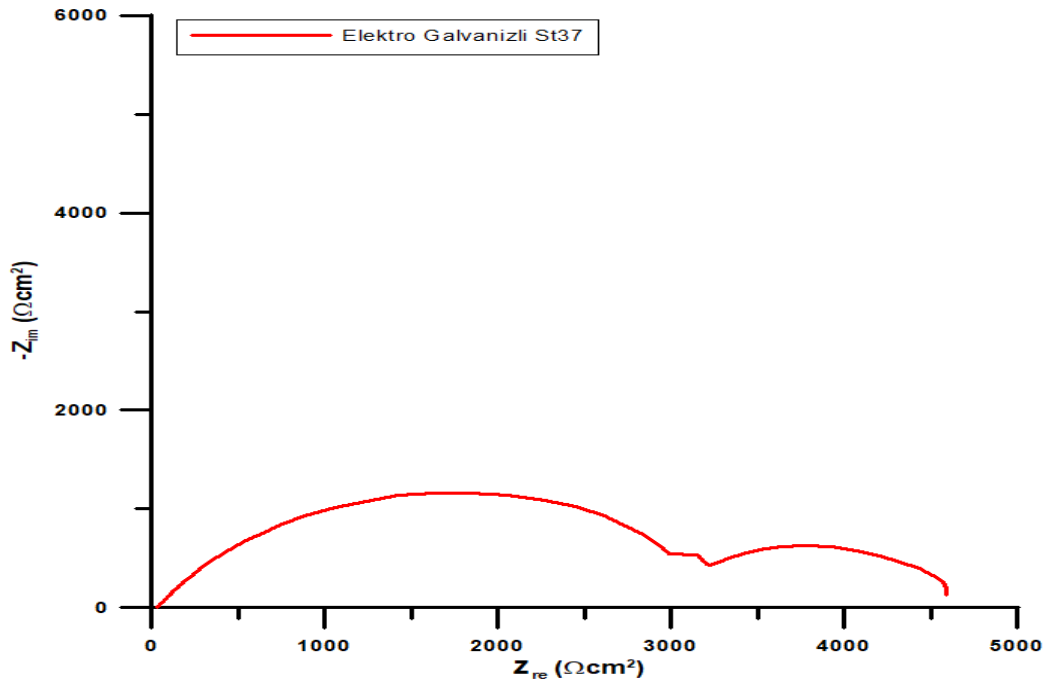
Galvanizli elektrotun potansiyeli beklendiği gibi daha katodik bölgede -1002 mV olarak ölçülmüştür. Deney bitimine kadar bu potansiyel değişimi korozyon etkisiyle sadece 9 mV değişmiştir. Bu potansiyel değişimin daha iyi gözükmesi için galvanizsiz elektrotun zamana bağlı potansiyel değişimi Şekil 6'da ayrıca gösterilmiştir.

B. EIS ANALİZİ

OCP ölçümleri sonrası EIS ölçümleri 100.000-0.01 Hz frekans aralığında yapılmıştır. EIS ölçümleri sonunda elde edilen Nyquist eğrileri galvanizsiz ve galvanizli numuneler için Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.

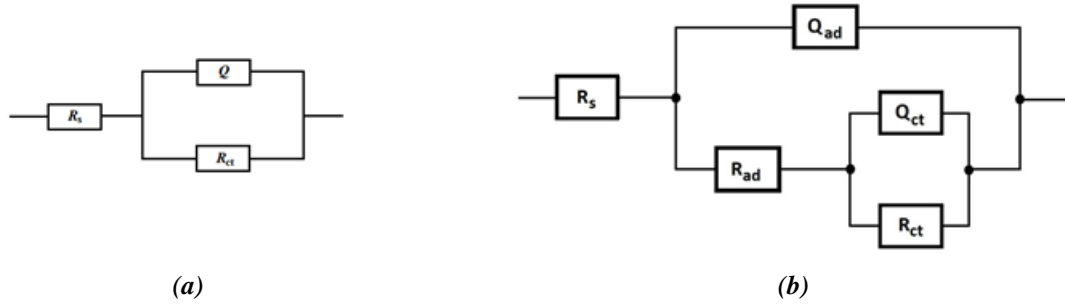


Şekil 7. Galvanizsiz numunenin EIS ölçümleri sonunda elde edilen Nyquist diyagramı.



Şekil 8. Galvanizli numunenin EIS ölçümleri sonunda elde edilen Nyquist diyagramı.

Nyquist eğrilerinin doğru analiz edilmesi için uygun devrenin belirlenmesi son derece önemlidir [19]. Bu analizler için ZSimpWin 3.21 yazılımı kullanılmıştır [20]. Deneysel ve devrenin öngördüğü hesaplanan verilerin uyumunun olabildiğince yüksek olması amaçlanmaktadır. Şekil 4'te belirtilen Nyquist diyagram R(QR) devresi kullanırken, galvanizli numuneye ait Nyquist diyagramı R(Q(R(QR))) devresi kullanılmıştır. Kullanılan devrelerin diyagramları Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Galvanizsiz St37 (a) ve elektro galvanizli (b) ankraj pad elemanın %3.5 NaCl ortamında korozyonunun EIS yöntemiyle elde edilen verilerin analiz edildiği devreler.

Devrede belirtilen her bir elektrokimyasal parametre bir anlam ifade etmektedir [21]. R(QR) devre modelinde sırasıyla; R_s : Çalışma ile referans elektrotlar arasındaki çözelti direncini, Q: sabit faz elemanı ve R_{ct} : Metal yüzeyindeki yük transfer direncini göstermektedir [22].

R(Q(R(QR))) devre modelinde üç tane direnç (R) değerinin olduğu görülmektedir. Bunlar sırasıyla yukarıda tanımlandığı gibi R_s , R_{ct} ve metal üzerindeki kaplamanın direncini (R_{ad}) ifade etmektedir. Kullanılan bu devrelerle elde edilen veriler Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Galvanizsiz St37 ankraj pad elemanın %3.5 NaCl ortamında korozyonunun EIS yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları.

Ortam	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	$Y_o \times 10^{-3}$ ($\mu\Omega s^n \text{ m}^{-2}$)	n	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)
%3.5 NaCl	24.16	1.07	0.81	1169

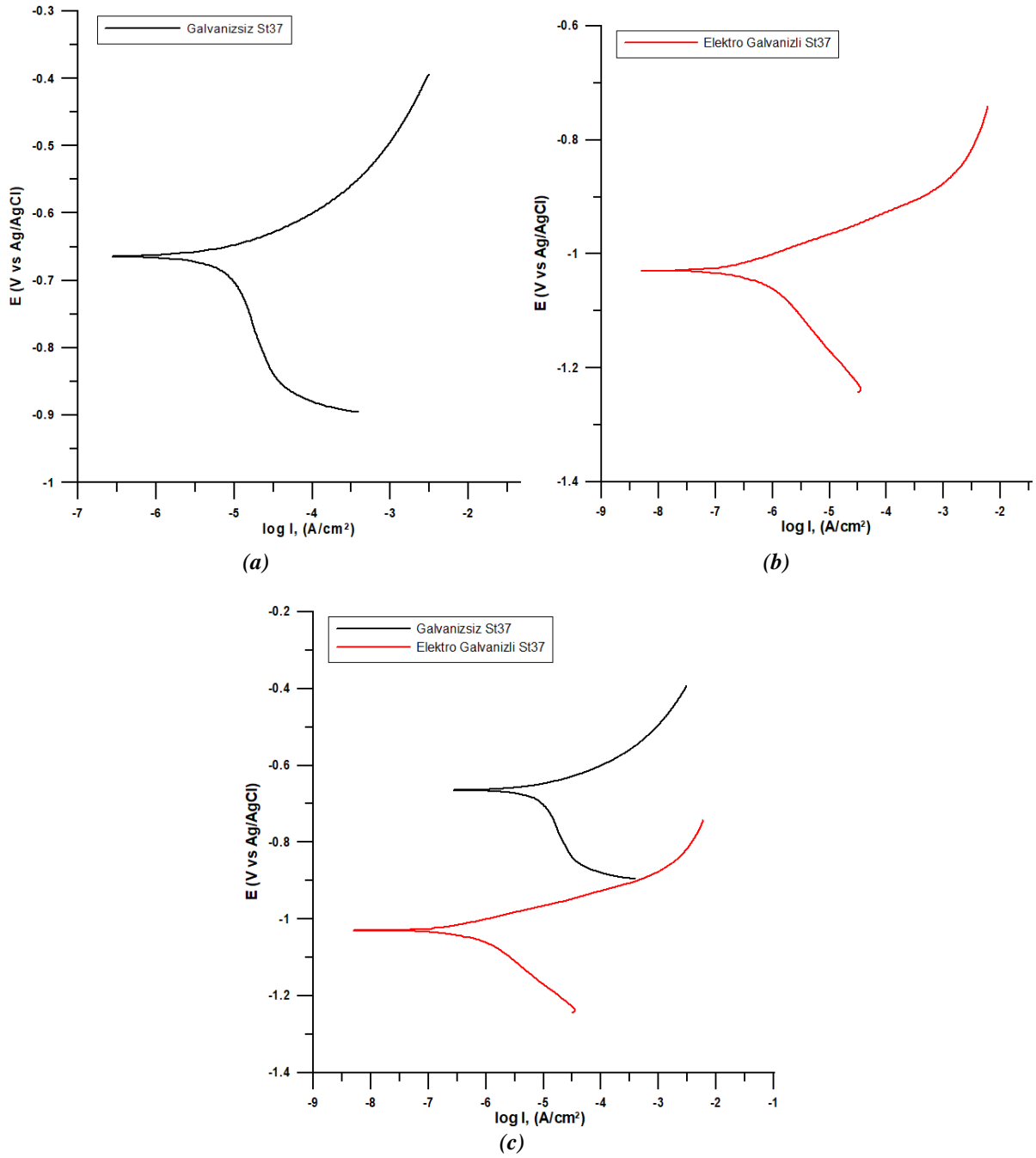
Tablo 3. Elektro galvanizli St37 ankraj pad elemanın %3.5 NaCl ortamında korozyonunun EIS yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları.

Ortam	R_s ($\Omega \text{ cm}^2$)	$Y_o \times 10^{-3}$ ($\mu\Omega s^n \text{ m}^{-2}$)	R_{ct} ($\Omega \text{ cm}^2$)	n	R_{ad} ($\Omega \text{ cm}^2$)
%3.5 NaCl	30.31	1.69	3593	1	997

Tablo 2'de R_{ct} değeri $1169 \Omega \text{ cm}^2$, yüzey pürüzlülüğün bir ifadesi olan "n" değeri 0.81 olduğu görülmektedir. "n" değeri $0 < n < 1$ arasında olduğu için bu değer Tablo 3'te belirtildiği gibi 1 olması metalin korozyona karşı elektro galvaniz işlemi ile korunduğunun bir göstergesidir [23]. Elektro galvaniz ile metal yüzeyinde $997 \Omega \text{ cm}^2$ değerinde bir kaplama direnci olduğu görülmektedir. Ayrıca elektro galvaniz işlemi ile metalin R_{ct} değeri, 3.07 kat artarak $3593 \Omega \text{ cm}^2$ değerine çıkmıştır.

C. TP ANALİZİ

EIS ölçümleri sonrası hücre sökülmeden TP yapılmıştır [24]. Elde edilen Tafel diyagramları Şekil 10'da gösterilmiştir. Gamry Echem Analyst V6.33 programı kullanılarak elde edilen parametreler Tablo 4'te gösterilmiştir.



Şekil 10. Galvanizsiz St37 (a) ve elektro galvanizli (b) ankraj pad elemanının %3.5 NaCl ortamında korozyonunun TP yöntemiyle elde edilen Tafel diyagramları, (c) Elde edilen iki diyagram karşılaştırılması.

Tablo 4. Galvanizsiz ve elektro galvanizli ankraj pad elemanının %3.5 NaCl ortamında korozyonunun TP yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları.

Numune	E_{corr} (mV/Ag/AgCl)	i_{corr} ($\mu A/cm^2$)	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)
Galvanizsiz	-664	21	72	350
Elektro Galvanizli	-1030	1.9	40	62

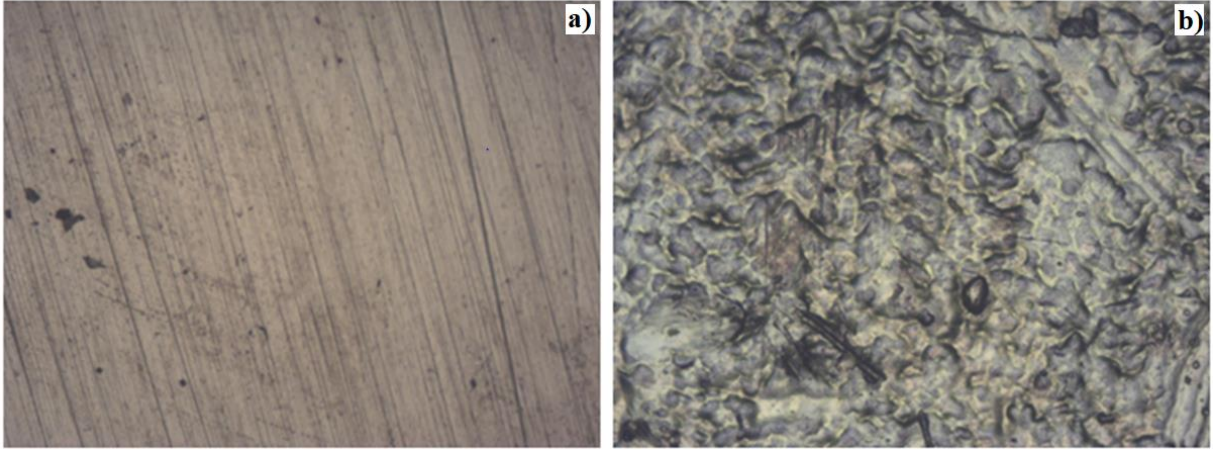
Galvaniz uygulamasının korozyon akım yoğunluğu değerinde (i_{corr}), yaklaşık 11.05 kat azalmaya neden olduğu görülmektedir. i_{corr} değerindeki azalma; çalışılan numunenin daha az korozyona uğradığını göstermektedir [24]. Galvanizsiz numunenin korozyon potansiyeli (E_{corr}) -664 mV iken galvaniz işlemi

ile bu potansiyel daha katodik yöne -1030 mV'a kaymıştır. Anodik Tafel sabiti (β_a) her iki numune için çok az değişmiştir. Bu korozyon mekanizmasının katodik mekanizma üzerinde yürüdüğünü göstermektedir. Elde edilen bu bulgular EIS verilerini desteklemektedir.

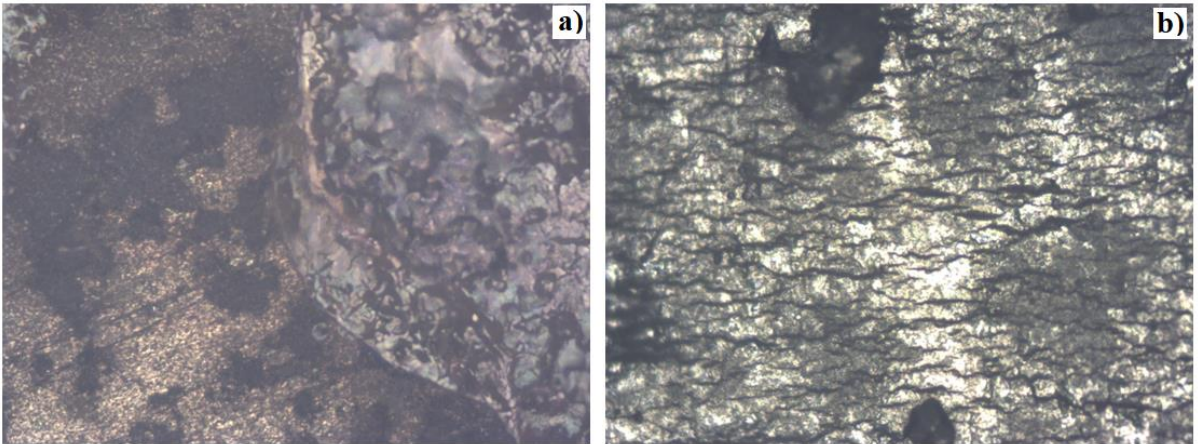
D. OPTİK GÖRÜNTÜ ANALİZİ

Optik görüntü analizleri için numunelerden alınan görüntüler Şekil 11'de deney öncesinde (a) Galvanizsiz St37 ve (b) Elektro galvanizli olarak verilmiştir. Şekil 12'de ise deney sonrası (a) Galvanizsiz St37 ve (b) Elektro galvanizli olarak sunulmuştur.

Optik görüntü analizine göre; deney öncesinde (Şekil 11) yapılan görüntü incelemesinde Galvanizsiz St37 (a) ile elektro galvanizli (b) arasında net bir şekilde galvaniz işleminin etkileri görülmektedir. Deney sonrasında (Şekil 12) yapılan görüntü analizinde; Galvanizsiz St37 (a) ile elektro galvanizli (b), deney öncesi sonuçları ile karşılaştırıldığında Galvanizsiz St37 numunesinin bariz bir şekilde daha fazla korozyona uğradığı, elektro galvanizli numunenin ise daha az korozyona uğradığı gözlenmiştir. Elektro galvaniz işleminin, ankraj pad elemanını %3.5 NaCl ortamında daha iyi koruduğu belirlenmiştir. Elektro galvaniz işlemi uygulanmamış St37 çeliğinin değişimi, elektro galvaniz işlemi uygulanmış metale göre daha fazla olmuştur. Deney öncesi ve sonrası optik görüntülere göre metal yüzeyindeki deformasyonların elektrokimyasal verileri destekler nitelikte olduğu görülmüştür.



Şekil 11. Deney öncesi; Galvanizsiz St37 (a) ve elektro galvanizli (b).



Şekil 12. Deney sonrası; Galvanizsiz St37 (a) ve elektro galvanizli (b).

IV. SONUC

EIS ve TP yöntemleriyle elde edilen elektrokimyasal verilerin birbirini destekler nitelikte olduğu ve elektro galvaniz işleminin korozyona karşı korumada etkili bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır.

- 1) Sadece OCP ölçümleri ile korozyon mekanizmasının ne ölçüde yürüdüğü hakkında bilgi edinilebilir.
- 2) TP yönteminden, elektro galvaniz işleminin anodik reaksiyonu blokladığı net bir şekilde görülmektedir.
- 3) EIS yönteminden elde edilen elektriksel parametrelerin (R_{ct} ve n) birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Elektro galvaniz işlemi uygulanmış metale ait R_{ct} ve n değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerlerin yüksek olması metal yüzeyinde çok daha az korozyon ürününün oluştuğunu göstermektedir.
- 4) Ters metal mikroskobu ile elde edilen görüntüler uygulanan elektrokimyasal verilerin sonuçlarını desteklemektedir. Elektro galvaniz işlemi uygulanmamış metalin yüzeyinde çok daha fazla korozyon oluştuğu görülmüştür.
- 5) Elektro galvaniz işleminde uygulanan kaplama kalınlığının korozyon mekanizmasına etkisi ayrıca araştırılması gereken bir konudur.

TEŞEKKÜR: Bu bilimsel çalışma; Fibrobeton Yapı Elemanları San. ve İnşaat A.Ş. Ar-Ge Merkezi ile Düzce Üniversitesi arasında 08.02.2021 tarih ve E-11414540-903.07.02-12299 sayılı işbirliği sonucu elde edilmiştir. Bu çalışmanın hazırlanmasında değerli katkılarını esirgemeyen Volkan Özdal (Ar-Ge ve Laboratuvar Şefi) ve Berna Güneş'e teşekkür ediyoruz.

V. KAYNAKLAR

- [1] G. Altınay, "Beton esaslı prekast cephe panellerinin üretimi, uygulaması, yapısal performansının değerlendirilmesi ve bir alan araştırması ile incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [2] DTEL. (2021, 10 Mayıs). *St37 çelik nedir?* [Online]. Erişim: <https://www.dtel.com.tr/st37>,
- [3] Uslular Hadde. (2021, 1 Mayıs). *Yapı çelikleri nedir?* [Online]. Erişim: <https://www.uslularhadde.com/yapi-celikleri-nedir>.
- [4] Kalite Metalurji. (2021, 25 Nisan). *Yapı çelikleri nedir?* [Online]. Erişim: <http://kalitemetalurji.com.tr/urunlerimiz/transmisyon-mili/st37-transmisyon-mili>
- [5] Çelik Özellikleri. (2021, 25 Nisan). *Kalite çeliklerin özellikleri* [Online]. Erişim: <https://celikfiyatları.com/st-37-s235-kalite-celiklerin-ozellikleri>.
- [6] S. Taşkaya, "St37 çeliğinin Ansys programında basınca bağlı olarak mekanik gerilmelerin incelenmesi," *The Journal of International Manufacturing and Production Technologies*, c. 1, s. 1, ss. 39-46, 2017.
- [7] R. Dubina, D., Zaharia, "Cold-formed steel trusses with semi-rigid joints," *Thin-Walled Structures*, vol. 29, no. 2, pp. 273-287, 1997.
- [8] M. Awang, "The Effects of Process Parameters on Steel Welding Response in Curved Plates," Master of Science, Collage of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, U. S. A., 2002.

- [9] Mono Prekast. (2021, 29 Nisan). *Grc nedir?* [Online]. Erişim: <https://www.monoprekast.com/grc-nedir>.
- [10] Fibrobeton. (2021, 29 Nisan). *Fibrobeton* [Online]. Erişim: <https://fibrobeton.com.tr/markalar-fibrobeton%C2%AE-8>.
- [11] PCI Committee on Precast Sandwich Wall Panels, State of the Art of Precast/Prestressed Sandwich Wall Panels, Precast, Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1997.
- [12] A. Einea, "Structural and thermal efficiency of precast concrete sandwich panel systems," Ph.D. dissertation, The University of Nebraska, Lincoln, Nebraska 1992.
- [13] Precast Concrete. (2021, 10 Mart). *Precast concrete lifting anchor systems* [Online]. Erişim: http://wn.com/Precast_concrete_lifting_anchor_systems__lifting_considerations.
- [14] A. J. Brookes, M. Mejis, Cladding of buildings, Florence Production Ltd., Wiltshire, Great Britain, fourth edition, 2008.
- [15] Betofiber Teknik Föyü. (2021, 29 Nisan). *Kişisel görüşmeler* [Online]. Erişim: <http://www.betofiber.com>.
- [16] Erk Demir Çelik San.ve Tic. A.Ş. (2021, 5 Nisan). *Erk Demir Çelik* [Online]. Erişim: <http://www.erkdemircelik.com>.
- [17] Ateş Galvaniz Elektro Metal Kaplama San. ve Tic. Ltd. Şti. (2021, 15 Nisan). *Ateş Galvaniz* [Online]. Erişim: <http://www.atesgalvaniz.com>.
- [18] BAB Image Analysing Systems. (2021, 15 Nisan). *Microscopy & Image Processing and Analysis System* [Online]. Erişim: <http://www.bab.com.tr>.
- [19] H.Gerengi, H. I. Uğraş ve M. Yıldız, "Bor katyonu içeren iyonik sıvıların 0.1 M HCl ortamında korozyon inhibitörü olarak kullanılması," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 11-12, 2017.
- [20] J. Ryl, J. Wysocka, M. Cieslik, H. Gerengi, T. Ossowski, S. Krakowiak and P. Niedzialkowski, "Understanding the origin of high corrosion inhibition efficiency of bee products towards aluminium alloys in alkaline environments," *Electrochimica Acta* vol. 304, pp. 263-274, 2019.
- [21] M. Rizvi, H. Gerengi, M. Yıldız, M. Kekeçoğlu and M. M. Pehlivan, "Investigation of Propolis as a Green Inhibitor of SAE 1010 Carbon Steel Corrosion in 3.5% NaCl Environment" *Ind. Eng. Chem. Res.* vol. 59, no. 19, pp. 9328-9339, 2020.
- [22] H. Gerengi, "Anticorrosive Properties of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit Juice on 7075 Type Aluminum Alloy in 3.5% NaCl Solution," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 51, no. 39, pp. 12835-12843, 2012.
- [23] H. Lahbib, B. S. Hassen, H. Gerengi, M. Rizvi and Y. B. Amor "Corrosion inhibition performance of dwarf palm and *Cynara cardunculus* leaves extract for St37 steel in 15% H₂SO₄: a comparative study" *J. Adhes. Sci. Technol.* vol. 5, no. 7, pp. 691-722, 2021.
- [24] H. Gerengi, R. Cakmak, B. Dag, M. M. Solomon, H. A. Tuysuz and E. Kaya, "Synthesis and anticorrosion studies of 4-[(2-nitroacetophenonylidene)-amino]-antipyrine on SAE 1012 carbon steel in 15 wt.% HCl solution," *J. Adhes. Sci. Technol.* vol. 34, no. 20, pp. 2448-2466, 2020.