TVA SİSTEMİ KULLANILARAK DONATILARIN KOROZYON POTANSİYELLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

IMPROVEMENT OF CORROSION POTENTIALS OF REINFORCEMENTS BY USING TVA SYSTEM

İlker Bekir TOPÇU
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, ilkerbt@ogu.edu.tr, (sorumlu yazar), ORCİD NO: 0000-0002-2075-6361

Suat PAT
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, suatpat26@yahoo.co.uk, ORCİD NO: 0000-0001-9301-8880

Arda UZUNÖMEROĞLU
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, ardauzunomeroglu@gmail.com , ORCİD NO: 0000-0003-4204-0564

ÖZET

Korozyon betonda çatlamaya neden olur ve taşıma kapasitesini azaltır. Korozyon, inşaat demirinin dayanıklılığını etkiler; bu nedenle bu durum devam ederse kullanım ekonomik olmayacak ve ömrünü tamamlamayacaktır. Demir ve çelik malzemeler farklı atmosfer koşullarından etkilenerek fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerini kaybederler. Bu çalışmada betonarme yapılarda donatının korozyon direnci artırılmıştır. Bu amaçla farklı bir prensip olan Termiyonik vakum ark sistemi kullanılarak donatılar çinko ve bor elementlerinin kombinasyonları ile kaplanmıştır. Kaplamalı donatılar kalıptaki beton karışımına gömülmüş ve korozyona karışı olan dirençleri araştırılmıştır. Kürleme aşamasının ardından numuneler kalıplardan çıkarılarak hızlandırılmış korozyon testine tabi tutulmuştur. Ayrıca küp ve silindir numunelerin basınç dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Termiyonik vakum ark (TVA) sistemi ile kaplanmış donatıların, kaplanmamış donatılara göre daha geç hasar gördüğünü göstermektedir. Kaplamalar sayesinde hasar oluşma süresi uzamış ve donatının korozyon direnci artarmıştır. Bu çalışma ile donatıdaki olumsuz etkiler sonucu oluşan korozyon reaksiyonlarını ortadan kaldırarak yapıların ömrünün uzamasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Korozyon, Donatı, Termiyonik vakum ark, Kaplama, Dayanıklılık.

ABSTRACT
Corrosion results cracking in the concrete and it reduces the bearing capacity. Corrosion affects the durability of rebar; therefore, usage would not be economical and complete its lifetime if this situation persists. Iron and steel materials lose their physical, chemical and electrical properties by being affected by these different atmospheric conditions. In this study, the corrosion resistance of reinforcement in concrete structures was increased. For this purpose, the reinforcements are coated with combinations of zinc and boron elements by using a different principle, the thermionic vacuum arc system. The coated reinforcements are embedded in the concrete mixture in the molds. After the curing stage, the samples were taken out of the molds and subjected to accelerated corrosion test. The results show that the rebars covered with the TVA system were damaged later than the uncoated rebars. Thanks to the coatings, the damage occurrence time is extended and the corrosion resistance of the reinforcement is increased. It is believed that with this study, it will contribute to the prolongation of the life of the structures by eliminating the corrosion reactions that occur as a result of negative effects in the reinforcement.

Keywords: Corrosion, Rebar, Thermionic vacuum arc, Coatings, Durability.

GİRİŞ

Betonarmenin "dayanıklılık" özelliği, dış etkilerden veya betonun bileşenlerinden olumsuz etkilenmeden yıllarca mukavemetini ve kalitesini kaybetmemesi anlamına gelir. Aynı zamanda dayanıklılık, çevre ve hizmet koşulları altında özgün özelliklerini ve tasarım işlevini korumak olarak da tanımlanabilir [1]. Beton, çevresel koşullar, malzeme özellikleri veya tasarım hataları gibi olumsuz koşullar altında özelliklerini kaybeder. Tüm bu faktörler arasında en etkili ve gizli bozulma donatı korozyonu olmuştur. Demir ve çelik malzemeler bu farklı atmosfer koşullarından etkilenerek fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklerini kaybederler [2]. Genel olarak, donatının çevresindeki nem, oksijen ve klorürler donatının korozyonundan sorumlu başlıca faktörlerdir. Betondaki varlıkları sıcaklığa, neme, çevredeki kimyasal içeriğe ve beton kaplamanın kalitesine ve kalınlığına bağlıdır [3-10].

Demir ve çeliğin korozyona karşı korunmasında en akılcı ve kesin çözüm malzemenin sıcak daldırma galvaniz yöntemi ile kaplanmasıdır. Sıcak daldırma galvanizli çinko kaplama, çelik havada, toprakta veya suda korozyona maruz kaldığında standart, etkili, ekonomik ve kolay uygulanabilir bir koruma yöntemidir [11]. İnşaat sektörü açısından, galvanizli inşaat demirleri betonla iyi uyum sağlar ve çeliğin aderans gücünü iki katına kadar artırabilir [12]. Galvanizleme işlemi genellikle çinko ile yapılır. Bu yöntem birçok endüstriyel bileşen ve nano malzeme üzerinde denenmiş ve hem akademik hem de endüstriyel ortamlarda yaygın olarak kullanılmıştır [12-14].

Düşük karbonlu çeliklerde yüzey oksidasyonu ve oyuk tipi korozyon meydana gelebilir ve yüzeyler kırmızı-kahverengi pas görünümündedir. Yüzeyde bir kaplama oluşturularak çeliğin korozyon direnci arttırılabilir. İnşaat demirini korozyondan korumak için birçok yöntem kullanılmıştır, ancak bu yöntemler ya çok pahalıdır (paslanmaz çelik) ya da beton ile donatı arasındaki aderansı azaltır (epoksi kaplamalar) [14-24].

Bu çalışmada kullanılan yöntem eşsiz ve benzeri görülmemiş bir tekniktir. Bu makalede, çeliklerin korozyon direncini arttırmak için TVA sistemi kullanılmıştır. Diğer korozyon koruma yöntemlerinden farklı olarak bu sistem, donatı yüzeyinin kaplanması esasına dayanmaktadır. Böylece korozyon önleyiciler ve epoksi kaplamalar gibi aderansı azaltan kimyasal sıvıların önüne geçilmiş olur. Sistem ucuz ve hızlı uygulama sağlar. Metali korozyondan korumak için daha önce endüstriyel uygulamalarda kullanılıyordu fakat bu çalışmada ilk defa betonarme donatılar üzerinde kullanılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Numuneler ve Materyaller

Eskişehir çimento fabrikası tarafından üretilen geleneksel Portland çimentosu (CEM I) betona bağlayıcı olarak eklenmiştir. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri standartlara uymaktadır. Betona agrega olarak kırılmış kalker ve kum eklenmiştir. Çimento, iri agrega ve ince agreganın özgül ağırlığı sırasıyla 3.15, 2.71 ve 2.58 g/cm^3'tür.

Şekil 1. Üretilen donatılı lolipop numuneler

Kullanılan malzemeler geleneksel beton yapımına uygun olarak kullanılmış ve donatıların korozyon direnci karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, 350 kg çimento dozajı ile 0,5 su/çimento oranı kullanılmıştır. Deneyler için küp (15 cm) ve silindir (100x200 cm) numuneler dökülmüştür. Silindirlerin içine 20 cm uzunluğunda nervürlü inşaat demiri yerleştirildi. Numuneler 28 gün suda kürlenmiştir. Numuneler deney zamanına kadar kürde tutulmuş, zamanı gelince havuzdan çıkarılarak deneye tabi tutulmuştur.

Test Metodu

Bu çalışmada, TVA adı verilen bir sistemde inşaat donatıları ince filmlerle kaplanmıştır. TVA, bir PVD sistemi olarak kabul edilebilir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda bu tür ince filmlerin donatıyı korozyondan koruduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, kaplamalı donatıların en önemli yapısal kusurlardan biri olan korozyona etkisi araştırılmıştır.

Şekil 2. TVA sisteminin dış görünümü

TVA tekniği birçok yeni teknolojik uygulamada kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi iyon destekli kaplama tekniğidir. Anot malzemesinin iyonlarla bombardımanı ile üretilen kaplamalar yüksek dayanımlı ve yapışma özelliğindedir. Ayrıca bunlar son derece pürüzsüz, yoğun ve yüksek kohezyonlu kaplamalardır. TVA ile yapılan karbon ve bor kaplamalarda yapıların nano boyutta olduğu görülmüş ve bu durum TVA tekniğinin nano teknoloji uygulamalarında kullanılmasına neden olmuştur. TVA'nın gösterimi Şekil 2'teki gibidir. TVA sistemi 9 ana bölümden oluşmaktadır.

Betonarme numuneler nano yapılarla kaplandıktan sonra bu kaplamaların donatı yüzeyindeki korozyona karşı dayanıklılığı deneye hazır hale getirilmiştir. Kullandığımız yöntem ve kaplama malzemesi benzersiz bir sistemdir.

Şekil 3. Kaplanmış inşaat donatıları

Şekil 3'de, üç farklı kaplama ile kaplanmış inşaat demiri örneklerini göstermektedir. Her kaplama, korozyon etkisine farklı tepki vermiş ve korozyon hızını farklı şekilde azaltmıştır. Dökülen tüm numuneler için beton karışımları aynı olduğu için kaplamaların korozyonu önlemedeki etkileri karşılaştırılabilir. Kaplama işlemi tamamlandıktan hemen sonra beton dökümü yapılmıştır.

Elektriksel Direnç Sonuçları

Betonarme yapılarda meydana gelen donatı korozyonu, çevresel etkilere ve donatıya bağlı olmakla birlikte, betonun kalitesi yüksek ise korozyon olayı ya çok geç gerçekleşir ya da hiç oluşamaz. Bu nedenle betonun basınç dayanımı, yerleşimi, kalitesi ve çimento oranı donatı korozyonunu etkileyen çok önemli parametrelerdir.

Şekil 4. Numunelerde elektriksel direnç deneyinin yapılışı

Bu çalışmada, donatısız beton numunelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bunun nedeni betonun kalitesi hakkında bilgi sahibi olmaktır. Şekil 4'de gösterilen deneyde, donatısız betonların elektriksel direnç değerleri belirlenmiştir. Bu değerler küp ve silindir numuneleri için ayrı ayrı yapılmış olup 28. ve 90. günlerdeki dayanım değerleri sonuç ve tartışma bölümünde grafiklerde gösterilmiştir.

Hızlandırılmış Korozyon Deneyi

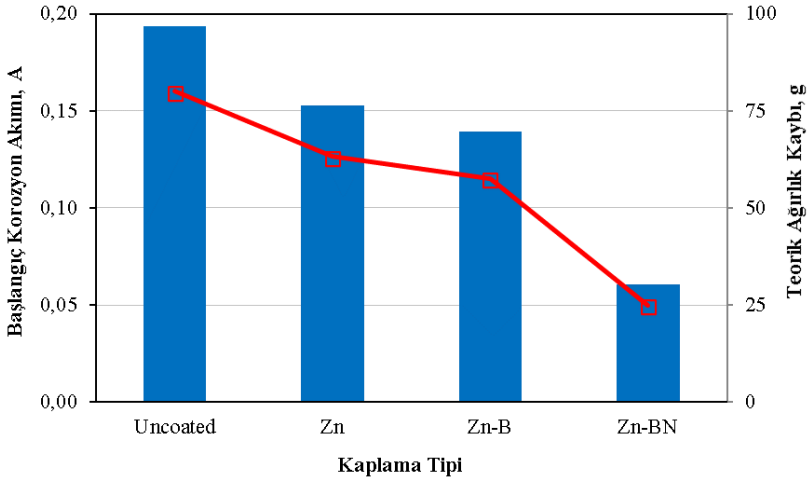
Hızlandırılmış korozyon gibi hızlı akım testlerinin amacı, betonarme numunelerin korozyon performansını incelemektir. Bu tekniğin yardımı ile, Şekil 5'de gösterilen beton lolipop numunelerine hızlandırılmış korozyon testi uygulanmıştır. Bu testte, lolipop numunelerindeki

gömülü inşaat demiri bir anot görevi görür ve paslanmaz çelik plakalar katot görevi görür. Elektrolit olarak %4 sodyum klorür çözeltisi (NaCl) kullanılmıştır. Anot ve katot arasındaki harici doğru akım güç kaynağından 20V'luk sabit bir voltaj uygulanmıştır. Elektrik akımı zamana göre kaydedilmiştir.

Şekil 5. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucunda hasar oluşmuş numuneler

Yukarıdaki Şekil 5'de hızlandırılmış korozyon testinin betonarme numuneler üzerindeki uygulaması gösterilmektedir. Güç kaynağından sağlanan voltaj numunelere iletilir. Voltaj, numunelerden geçtikten sonra datalogger'da akım olarak okunur. Veri kaydedici, 16 günlük test süresi boyunca her bir veriyi kaydeder. Bilgisayara aktarılan bu veriler yardımıyla Şekil 6'da verilen zamana bağlı başlangıç korozyon akım ve teorik ağırlık kayıpları hesaplanmıştır.

Betonarme numuneler hazırlanırken içine yerleştirilen donatıların her biri TVA sistemi yardımıyla ayrı malzemelerle kaplanmıştır. Hızlandırılmış korozyon testinin neden olduğu hasara baktığımızda, kaplamalar korozyon akımını engelleyerek korozyon hasarını azaltmıştır. Her bir kaplama farklı bir korozyon koruması sağlamıştır. Yüksek akım soğuran numuneler daha fazla hasar görmüş, kaplamalar tarafından engellenen akımı daha az olan numuneler daha az zarar görmüştür.

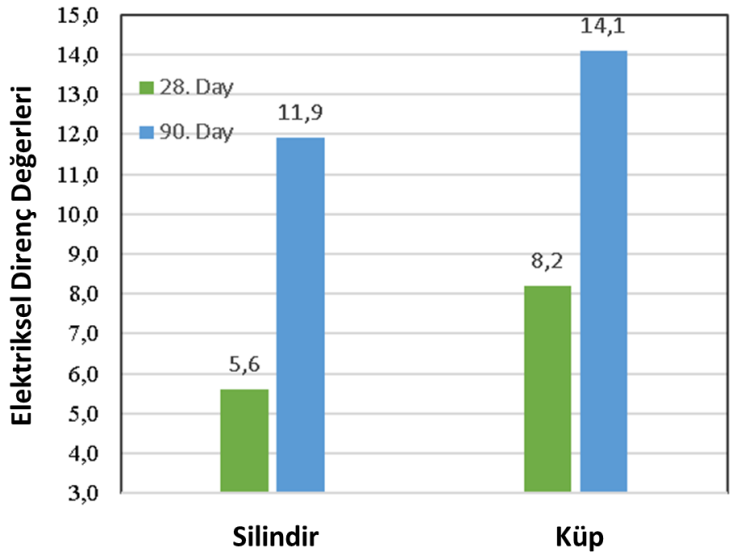


Şekil 6. Kaplanım numunelerde başlangıç korozyon akımı ve teorik ağırlık kayıpları

Şekil 6'da görüldüğü gibi sistem tarafından emilen en yüksek başlangıç korozyon akımına sahip numune kaplanmamış numunedir. Hızlandırılmış korozyon test sisteminin uyguladığı akım,

korozyon potansiyeli ile doğru orantılı olduğu için daha az akım emen numuneler daha az korozyona uğrar.

Hasar oluşum sürelerini göz önüne aldığımızda kaplamasız donatılarda hasar daha erken meydana gelirken, kaplama tipine göre hasar oluşma süreleri artmıştır. Kontrol numunesinde, Zn kaplı ve Zn-B kaplı numunelerde çatlak oluşumu daha erken başlamış ve hasar meydana gelmiştir. Ancak Zn-BN kaplı numune yaklaşık 15 gün boyunca çatlamadan kalmıştır. Beton kalitesi tüm numuneler için aynı olduğu için, son zamanlarda çatlayan numunelerde kaplamanın etkinliği açıkça görülmektedir.



Şekil 7. Küp ve silindir numunelerde yapılan elektriksel direnç deney sonuçları

Donatısız dökülen beton numunelerin elektriksel direnç özellikleri Şekil 7'de verilmiştir. Beton karışımları aynı olduğu için şekil etkisinden bağımsız olarak elektriksel direnç sonuçları birbirine yakındır. Buradan çıkarılacak sonuç, kür süresi arttıkça beton içindeki hidratasyon reaksiyonlarının daha iyi geliştiği, beton numunelerinin basınç dayanımı ve elektriksel dayanım sonuçlarının ileri yaşlarda olumlu yönde arttığıdır.

SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada, korozyonun binalarda oluşturduğu hasara karşı donatı kaplamalarının önemi ortaya konmuştur. Korozyonun betonarme yapılara verdiği zarar daha önce birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur. Korozyondan korunmak için geliştirilen yöntemler ya etkisizdir ya da uygulama açısından yüksek maliyetler gerektirir. İnşaat alanına entegrasyon açısından bazı yöntemlerin uygulanması zordur. Bu çalışmayı diğer yöntemlerden ayıran nokta, farklı amaçlar için kullanılan TVA yönteminin literatürde ilk kez betonarme yapılarda kullanılan donatıları kapsayacak şekilde kullanılmasıdır.

TVA sistemi kullanılarak donatılara Zn, Zn-B ve Zn-BN kaplamalar uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Takviye çubuklarında oluşturulan ince filmler, takviyeyi korozyon reaksiyonlarından korumuştur. Bu çalışma sonucunda en iyi sonuç, daha düşük korozyon akımı ve daha uzun hasar oluşum süresi ile Zn-BN numunesinde gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın gelecekteki uygulamalara ışık tutacağı düşünülmektedir. Korozyonun yıkıcı etkilerinden kaçınmanın en etkili yolu, korozyon reaksiyonlarının oluşmasını en baştan önlemektir. İnşaat sürecinin başında korozyonu önlemenin maliyeti, korozyon oluştuktan sonraki maliyetlere göre çok daha azdır. Ayrıca korozyona neden olabilecek can ve mal kayıpları da akılda tutulmalıdır. Bu sistem kullanılarak donatılar korozyona dayanıklı olarak üretilebilmekte ve yapıyı korozyonun zararlı etkilerinden korumak için ek yöntem ve maliyetlere gerek kalmamaktadır.

KAYNAKLAR

[1.] Verbruggen, H., Terryn, H., Graeve, I.D., Inhibitor evaluation in different concrete pore solution for the protection of steel rebars. Construction and Building Materials, 124(2016) 887-896.

[2.] Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Rapid Corrosion Test on Carbon Fiber Strengthened Concrete, Paper Ref.: CE-SM-028 – Int. Civil Engineering and Architecture Conference 2019 (ICEARC'19), 17-20 April 2019, Trabzon, Turkey, ss. 2196-2201.

[3.] Elsener, B., Corrosion Inhibitors for Steel in Concrete-State of the Art Report. European Federation of Corrosion and Institute of Materials, The University of Virginia, European Federation of Corrosion, (2001) p. 68.

[4.] Jiang, S.B., Jiang, L.H., Wang, Z.Y., Shuya, M.J., Song, S., Yan, X., Deoxyribonucleic acid as an inhibitor for chloride-induced corrosion of reinforcing steel in simulated concrete pore solutions. Construction and Building Materials, 150 (2017) 238-247.

[5.] Mohammadigharehbagh, R., Pat, S., Musaoglu, C., Korkmaz, Ş., & Özen, S. The investigation of the Cr doped ZnO thin films deposited by thermionic vacuum arc technique. Materials Research Express, 5(2) (2018), 026403.

[6.] Mohammadigharehbagh, R., Pat, S., Özen, S., Yudar, H. H., & Korkmaz, Ş. Investigation of the optical properties of the indium-doped ZnO thin films deposited by a thermionic vacuum arc. Optik, 157 (2018) 667-674.

[7.] Mohammadigharehbagh, R., Pat, S., Yudar, H., Özen S., Korkmaz, Ş., Investigation of some physical properties of Ge-doped ZnO thin films deposited by thermionic vacuum arc technique. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 28(19) (2017), 14131-14137. DOİ: 10.1007/s10854-017-7266-y.

[8.] Musaoğlu, C., Pat, S., Özen, S., Korkmaz, Ş., Mohammadigharehbagh, R., Investigation of the structural, surface, optical and electrical properties of the Indium doped CuxO thin films deposited by a thermionic vacuum arc. Materials Research Express, 2018, 5(3), DOİ: 10.1088/2053-1591/aab57a.

[9.] Pat, S., Özen, S., Korkmaz, Ş., A Rapid Method for Deposition of Sn-Doped GaN Thin Films on Glass and Polyethylene Terephthalate Substrates. journal of electronic materials, 47(1) (2018), 167-172., DOİ: 10.1007/s11664-017-5752-x

[10.] Pat, S., Şenay, V., Özen S., Korkmaz Ş., A study on some physical properties of a Pb-doped GaAs thin film produced by thermionic vacuum arc. Journal of Alloys and Compounds, (2017), 720(null), 383-387., DOİ: 10.1016/j.jallcom. 2017.05.297.

[11.] Pat, S., Yudar H., Korkmaz Ş., Mohammadigharehbagh, R., Özen S., Pat, Z., Transparent nano layered Li3PO4 coatings on bare and ITO coated glass by thermionic vacuum arc method. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, (2017), 28(24), 19010-19016., DOİ: 10.1007/s10854-017-7855-9.

[12.] Silik, E., Pat, S., Özen, S., Mohammadigharehbagh, R., Yudar H., Musaoğlu C., Korkmaz Ş., Electrochromic properties of TiO2 thin films grown by thermionic vacuum arc method. Thin Solid Films, (2017), 640(null), 27-32., DOİ: 10.1016/j.tsf.2017.07.073.

[13.] Soner, Ö., Pat, S., Korkmaz, Ş., Characterization of Pb-Doped GaN Thin Films Grown by Thermionic Vacuum Arc. Journal of electronic materials, 2018, 47(7), 3727-3732., DOİ: 10.1007/s11664-018-6232-7.

[14.] Topçu İ.B, Boğa A.R, Çimento Tipinin Donatı Korozyonuna Etkisi, 7th National Concrete Congress, 28-30 November, Istanbul, (2007) pp. 301-311.

[15.] Topçu İ.B., Boğa A.R., Hocaoğlu A.O., Modeling corrosion currents of reinforced concrete using ANN, Automation in Construction, (2009), Vol. 18, Issue 2, Pages 145-152.

[16.] Topçu, İ.B., Uzunömeroğlu, A., Use of Corrosion Inhibitors in Reinforced Concrete, 4. International Conference on Civil Environmental, Geology and Mining Engineering (ICOCEM- Trabzon 2019), Trabzon 20-22 April 2019, ss. 34-50.

[17.] Vyrides, I., Rakanta, E., Zafeiropoulou, T., George, B.G., Efficiency of amino alcohols as corrosion inhibitors in reinforced concrete,Open Journal of Civil Engineering, (2013), 3(2):1-8.

[18.] Topçu, İ.B., Uzunömeroğlu, A., Properties of Corrosion Inhibitors in Reinforced Concrete, International Civil Engineering and Architecture Conference 2019 (ICEARC'19), 17-20 April (2019) Trabzon, Turkey, ss. 1999-2010.

[19.] Xu, C., Jin, W.L., Wang, H.L., Huang, N., Li, Z.Y., Mao, J.H., Organic corrosion inhibitor of triethylenetetramine into chloride contamination concrete by electro-injection method, Construction and Building Materials, (2016), 115: 602-617.

[20.] Topçu, İ.B., Karakurt, C., Properties of reinforced concrete steel rebars exposed to high temperatures, Research Letters in Materials Science, (2008) Vol. 2008, Article ID 814137, 4 pages, doi:10.1155/2008/814137.

[21.] Hossain, S.M.Z., Kareem, S.A., Al-Shater, A., Ezuber, H., Hossain, M.M., Razzak, S.A., Effects of cinnamaldehyde as an eco-friendly corrosion inhibitor on mild steel in aerated NaCl solutions, Arabian J. for Science and Engin., (2019) pp. 1-29.

[22.] Elsener, B., Angst, U., Corrosion inhibitors for reinforced concrete. In: Aïtcin PC, Flatt RJ, editor. Science and Technology of Concrete Admixtures. 1st ed. Elsevier, Woodhead Publishing, (2016), 321-339.

[23.] Topçu, İ.B., Uzunömeroğlu, A., Pat, S., Enhancing the Corrosion Resistance of Reinforced Concrete Rebar by the Implementation of Anti-corrosive Coatings with Using TVA System， PACE 2021, 20-23 June (2021) Erzurum, Turkey.s

[24.] Topcu, I.B., Uzunomeroglu, A., Pat, S. (2021). Enhancing the Corrosion Resistance of Reinforced Concrete Rebar by the Implementation of Anti-corrosive Coatings with Using TVA System, PACE 2021, Erzurum, Turkey on 20-23 June 2021.