



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kalıp Şartlandırıcı Serpantinde Oluşan Korozyonun İnhibitör Kullanımıyla Engellenmesi

İbrahim SARIOĞLU^{a,*}, Mine KURTAY^a, Mesut YILDIZ^a, Mustafa KETREZ^b, Hüsni GERENGİ^a

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

^b Düzce Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: saribrahim2401@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.829751

ÖZET

Plastik enjeksiyon üretiminde üretilen ürünün, kalıptan soğutulması için su kullanılmaktadır. Zamanla kullanıma bağlı olarak ısınan suyun sıcaklığını istenilen derecede tutmak için chiller cihazları kullanılmaktadır. Enjeksiyon makinelerinde ısınan su, chiller cihazlarında bulunan bakır serpantin (eşanjör) yardımıyla soğutulmuş ve tekrar kullanıma hazır hale getirilmektedir. Bu çalışmada; bakır serpantin korozyonu yapay soğutma suyu (SCW) ve yapay soğutma suyuna katılan 1000 ppm NaNO₂ ortamlarında 21 gün süreyle sürekli su devir daimi yapılarak araştırılmıştır. Deney öncesi ve sonrası bakır serpantin yüzeyi Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı X-Ray Kırınımı (EDS) ve Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) yöntemleri ile incelenmiştir. Korozyon inhibitörü olarak kullanılan NaNO₂ bileşiğinin, bakır serpantin üzerinde bir koruyucu film oluşturarak korozyona karşı koruduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bakır serpantin, Korozyon, NaNO₂, Yapay soğutma suyu

Preventing Corrosion In The Mold Conditioner Serpentine By Using An İnhibitör

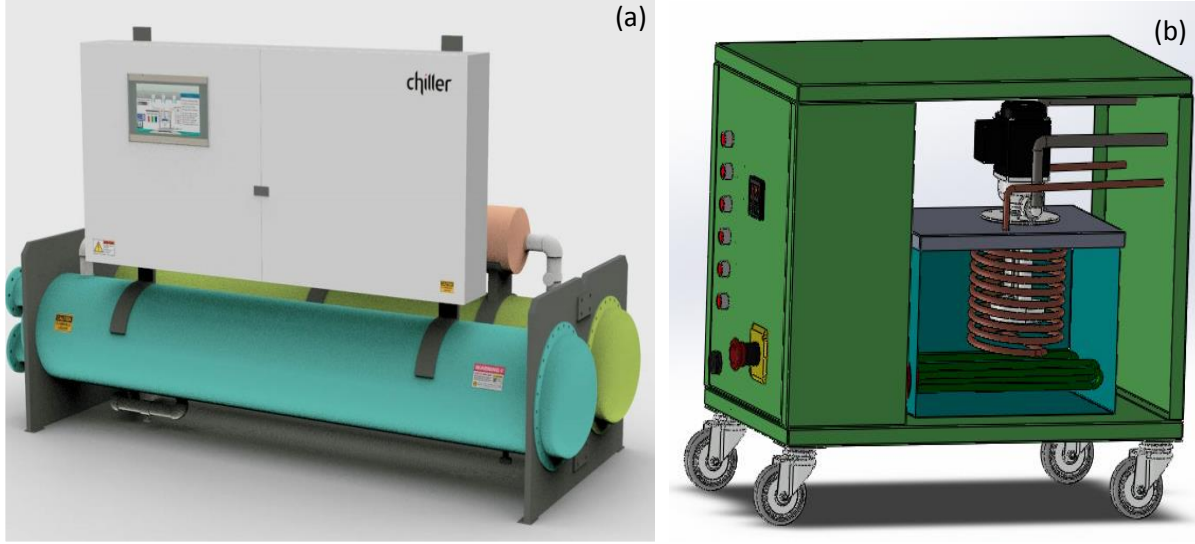
ABSTRACT

Water is used to remove the product generated in plastic injection production by cooling from the mold. Chiller devices are used to keep the temperature of the heated water at the desired temperature depending on the use over time. The water heated in the injection machines is cooled with the help of the copper serpentine (exchanger) in the chiller devices and made ready for use again. In this study; the corrosion of the copper serpentine was investigated in simulated cooling water (SCW) and 1000 ppm NaNO₂ added simulated cooling water environments by continuous water circulation for 21 days. The surface of the copper serpentine was examined by Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive X-Ray Diffraction (EDS) and Atomic Force Microscope (AFM) before and after the experiments. It has been determined that the NaNO₂ compound used as a corrosion inhibitor protects against corrosion by forming a protective layer on the copper serpentine.

Keywords: Copper serpentine, Corrosion, NaNO₂, Simulated cooling water

I. GİRİŞ

Su, istenmeyen ısıyı ısı transfer yüzeylerinden uzaklaştırmak için en yaygın olarak kullanılan soğutma sıvısıdır. Günümüzde sınırlı su kaynaklarının daha iyi kullanılmasının önemli bir nedeni nüfus artışı ve sanayileşmeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, soğutma suyunu yeniden kullanan açık devridaim soğutma suyu sistemleri, büyük merkezi hizmet istasyonlarında, kimya, petrokimya ve petrol arıtma tesislerinde, çelik ve kâğıt fabrikalarında ve her tür işleme tesislerinde sıklıkla kullanılmaktadır [1].

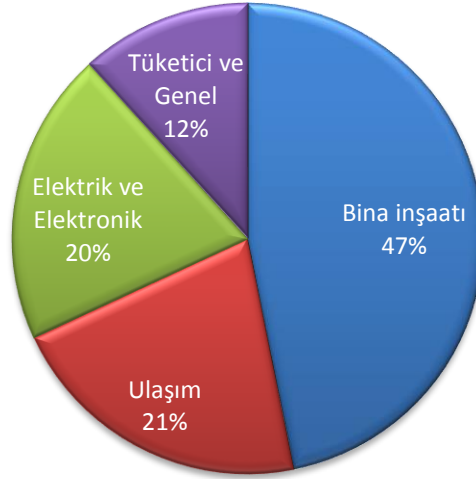


Şekil 1. (a) Chiller ve (b) Sıcaklık Kontrol Cihazları

Isı eşanjörleri, ısıyı bir ortamdan diğerine aktaran cihazlardır. Bu ortam, bir gaz, sıvı veya her ikisinin bir kombinasyonu olabilir. Ortamların karışmasını önlemek için yüksek ısı transfer katsayısına sahip bir malzemeyle ayrılır ve yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa ısı geçişi olur. Isı eşanjörlerinde; eşanjörden akan akışkanlardan biri ısı transferinden dolayı ısı kazanırken diğeri ısı kaybetmektedir. İşlem buharlaşma veya yoğuşmayı içermiyorsa, her iki akışkanında sıcaklığı değişmektedir. Isı eşanjörleri hem soğutma hem de ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır [2]. Plastik sektöründe hammaddenin sıcaklığını ayarlamak, chiller ve sıcaklık kontrol cihazlarında plastik enjeksiyon makinasındaki hammaddenin ısıtılması ve kalıpta şekil aldıktan sonra soğutulmasını sağlamak amacıyla ısı eşanjörleri kullanılmaktadır (Şekil 1). Isı eşanjörleri, chiller cihazlarında soğutucu akışkan tarafından eşanjörde suyun soğutulmasına ve sıcaklık kontrol cihazlarında rezistans tarafından ısıtılan akışkanın (yağ veya su) serpantin vasıtasıyla soğutulmasını sağlamaktadır.

Isı eşanjörlerinin verimli olması için yapımında bakır ve alüminyum gibi yüksek ısı transferine sahip malzemeler tercih edilmektedir. Ayrıca serpantin tipi ısı değiştiriciler, yüksek ısı transfer katsayıları ile küçük bir alanda yüksek ısı transfer bölgesi nedeniyle ısı eşanjörleri için çok verimlidir. Son zamanlarda ısı değiştiricilerdeki gelişmeler, daha fazla ısı transfer alanı ve daha iyi akış avantajı sağlaması nedeniyle spiral bobin tipi ısı değiştiricilerin kullanımını arttırmıştır [2].

Günlük yaşamımız için gerekli bir mineral ve element olan bakır, yüksek sünekliği, şekil alması, ısı ve elektrik iletkenliği ve korozyona dayanımı nedeniyle büyük ilgi gören endüstriyel metallerden biridir [3]–[6]. ABD'de tüketilen miktarlar bakımından demir ve alüminyumdan sonra üçüncü sırada yer alan bakır ve alaşımları, elektronik endüstrilerinde, denizcilik endüstrilerinde, elektrik santrallerinde, ısı eşanjörlerinde ve soğutma kulelerinde tel, levha ve boru hatlarının üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2) [6]–[8].



Şekil 2. Bakırın kullanım alanları

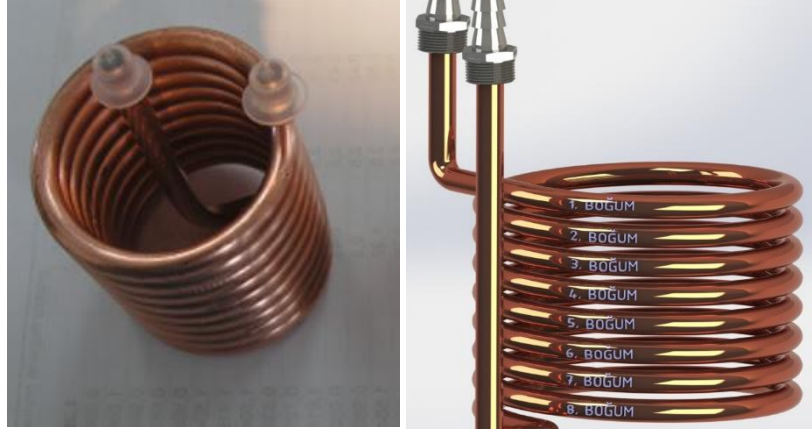
Korozyon bir malzemenin bulunduğu ortamla kimyasal veya elektrokimyasal etkileşime girmesi sonucunda bozulması ve işlevini kaybetmesi olayıdır. Soy metaller hariç metallerin büyük bir kısmı atmosferik ve doğal koşullarda zamanla az veya çok korozyona uğramaktadır [9]. Metallerde korozyonu önlemek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri de uygulaması kolay ve ekonomik bir yöntem olan inhibitör kullanmaktır [10]. İnhibitörler, metallerde oluşan korozyon hızını azaltabilir ve metallerin kullanım ömrünü arttırılabilir. Proses endüstrisi, ısıtma ve soğutma sistemleri, paketleme, kaplama endüstrisi ve daha birçok teknik uygulamada onlarca yıldır başarıyla kullanılmaktadır [10]–[12]. Agresif iyonların malzemeye nüfuz etmesini önlemeye odaklanan tekniklerin aksine inhibitörler, agresif iyonlar mevcut olduğunda veya korozyon süreci başladığında dahi korozyona karşı koruma sağlayabilir [3].

Isı eşanjörlerinde kullanılan malzemeler zamanla bulunduğu ortamla etkileşime uğrayarak malzemede korozyona neden olmaktadır. Isı eşanjörlerinin korozyon arızaları yaygındır ve genellikle yüksek bakım veya onarım maliyetleri gerektirmektedir [13]. Çoğu arıza, çukurcuk veya gerilme korozyonu gibi korozyon biçimlerinden kaynaklanmaktadır. Uygulaması basit ve kullanışlı bir yöntem olan korozyon inhibitörleri [14] ısı eşanjörlerinde korozyonu azaltmakta ve sistemin verimli olarak çalışmasını sağlamaktadır [15]–[19]. Bir korozyon inhibitörü olarak, NaNO_2 1940’larda petrol endüstrisi, benzin ve diğer petrol ürünlerinde çelik boru hatlarındaki iç korozyonu önlemek için test edilmiştir [20]. Deneyler, %0,1 (1000 ppm) konsantrasyonlarda, NaNO_2 ’nin oldukça etkili olduğunu göstermiştir. A. Wachter’ın 1945 yılındaki çalışmasından iki yıl sonra ürün ABD’deki benzin boru hatlarının üçte birinden fazlasında kullanılmıştır [21]. NaNO_2 sulu ortamda korozyon inhibitörü olarak başarıyla kullanılmaktadır [22]–[24]. Belirgin inhibisyon için ihtiyaç duyulan NaNO_2 , koşullara, suyun pH ve bileşimine göre değişmektedir. NaNO_2 , NaCl çözeltilerinde ve sulu alkol çözeltilerinde çeliği korozyona karşı korumaktadır. Ayrıca pas ile kaplanmış çelik üzerinde de etkilidir [20],[23].

Bu çalışmada; bakır serpantin korozyonu SCW ve NaNO_2 ilaveli SCW ortamlarında 21 gün süreyle sürekli su devir daimi yapılan sistemde araştırılmıştır. Ayrıca, yapay soğutma suyuna katılan inhibitörün 21 gün sonunda serpantin yapımında kullanılan bakır malzemenin morfolojik yapısına etkisi tartışılmıştır.

II. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, korozyon deneyleri için Bulgaristan Sofia Med Ad'dan [25] temin edilen %99,9 saflıktaki bakır serpantinler iki farklı ortama maruz bırakılmıştır [26]. Ayrıca 8 boğumdan oluşan bakır serpantinler yukarıdan aşağıya doğru 1'den 8'e kadar numaralandırılmıştır (Şekil 3).

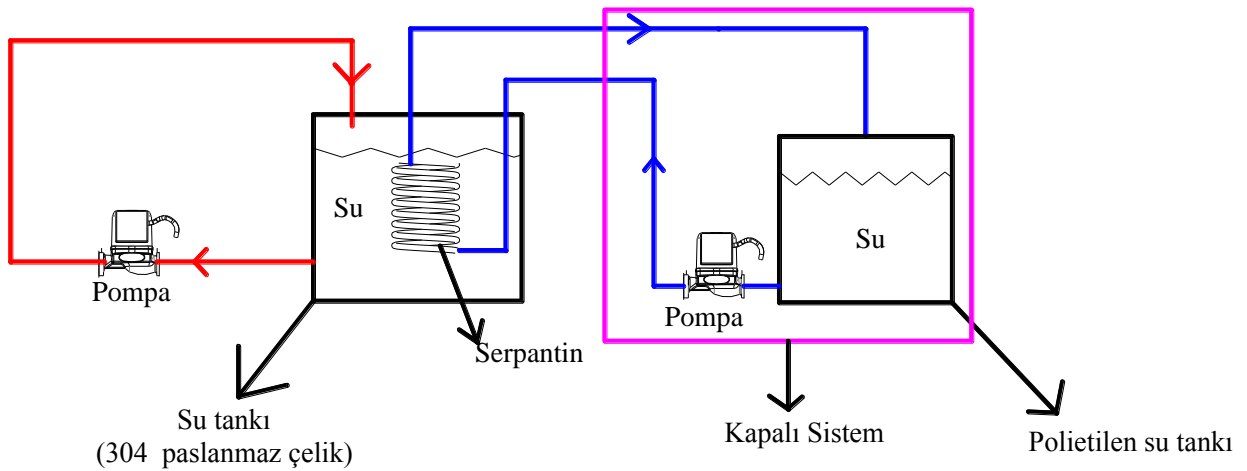


Şekil 3. Deneyde kullanılan bakır serpantin

Birinci ortamda; serpantin yapay soğutma suyuyla hazırlanmış ortama maruz bırakılmış ve serpantin hem iç hem de dış yüzeyinde sirkülasyonu sağlanmıştır. İkinci ortamda ise sistemin her iki tankında da SCW + 1000 ppm NaNO₂ kullanılarak sistem çalıştırılmıştır (pH=7.9). Deneylerin yapıldığı yapay soğutma suyunun (pH=7.07) kimyasal içeriği Tablo 1'de gösterilmiştir [27]. Korozyon deneylerinin araştırılması için oluşturulmuş sistem ve sistemin işleyişine ait görseller Şekil 4 ve Şekil 5'te detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Yapay soğutma suyunun kimyasal içeriği

Kimyasal madde	NaCl	NaHCO ₃	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	CaCl ₂
mmol/L	7.50	2.00	3.50	0.25	0.50



Şekil 4. Deney Seti Akış Şeması



Şekil 5. Kullanılan Deney Seti

Şekil 5’te görülen 5 numaralı pompa plastik tanktan aldığı suyu bakır (Cu %99,99) serpantine (eşanjöre) göndermektedir ve serpantin sistemdeki suyun soğumasını sağlamaktadır [26]. 2 numaralı pompa ise paslanmaz tanktan aldığı suyu tankın içinde sirküle etmektedir. Oluşturulan sistem bu prosesle 21 gün boyunca durmadan çalıştırılmıştır. Deney sonrası bakır numunelerin yüzeyinde meydana gelen değişimler AFM (Park system XE-100E model cihaz) ve SEM-EDS (Quanta FEG 250 (FEI, Holland) model cihaz) yüzey analizi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, 21 gün süreyle farklı ortamlara (SCW ve 1000 ppm NaNO₂ ilaveli SCW) maruz bırakılan bakır serpantinlerde meydana gelen korozyon davranışları gözlemlenmiştir (Şekil 6). Bakır serpantinlerin deney sonrası yüzeyinde meydana gelen değişimler AFM ve SEM-EDS analizleri ile belirlenmiştir.





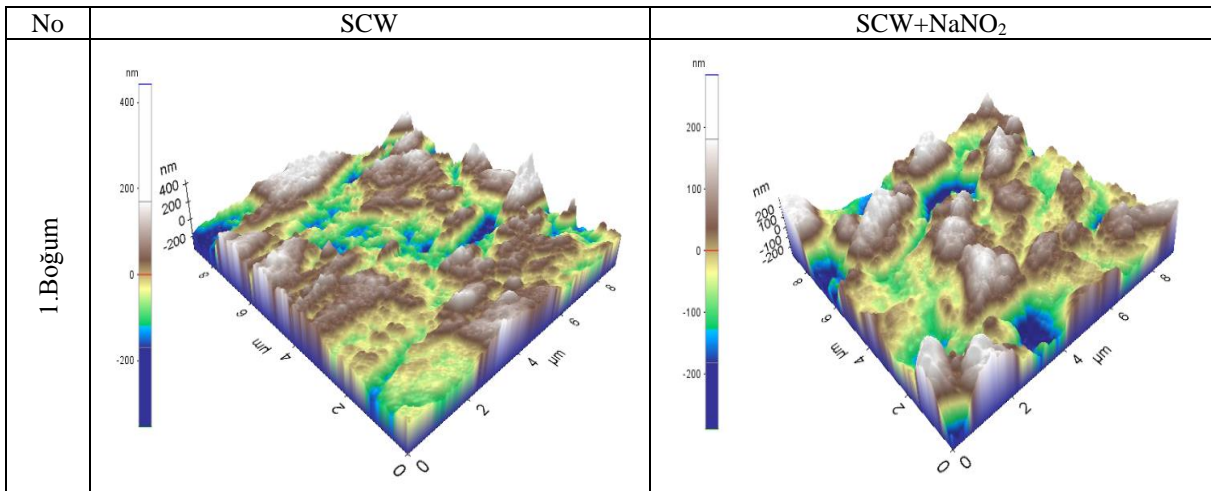
Şekil 6. 21 gün boyunca farklı ortamlarda korozyona maruz bırakılmış bakır serpantinler; (a) SCW, (b) SCW+NaNO₂

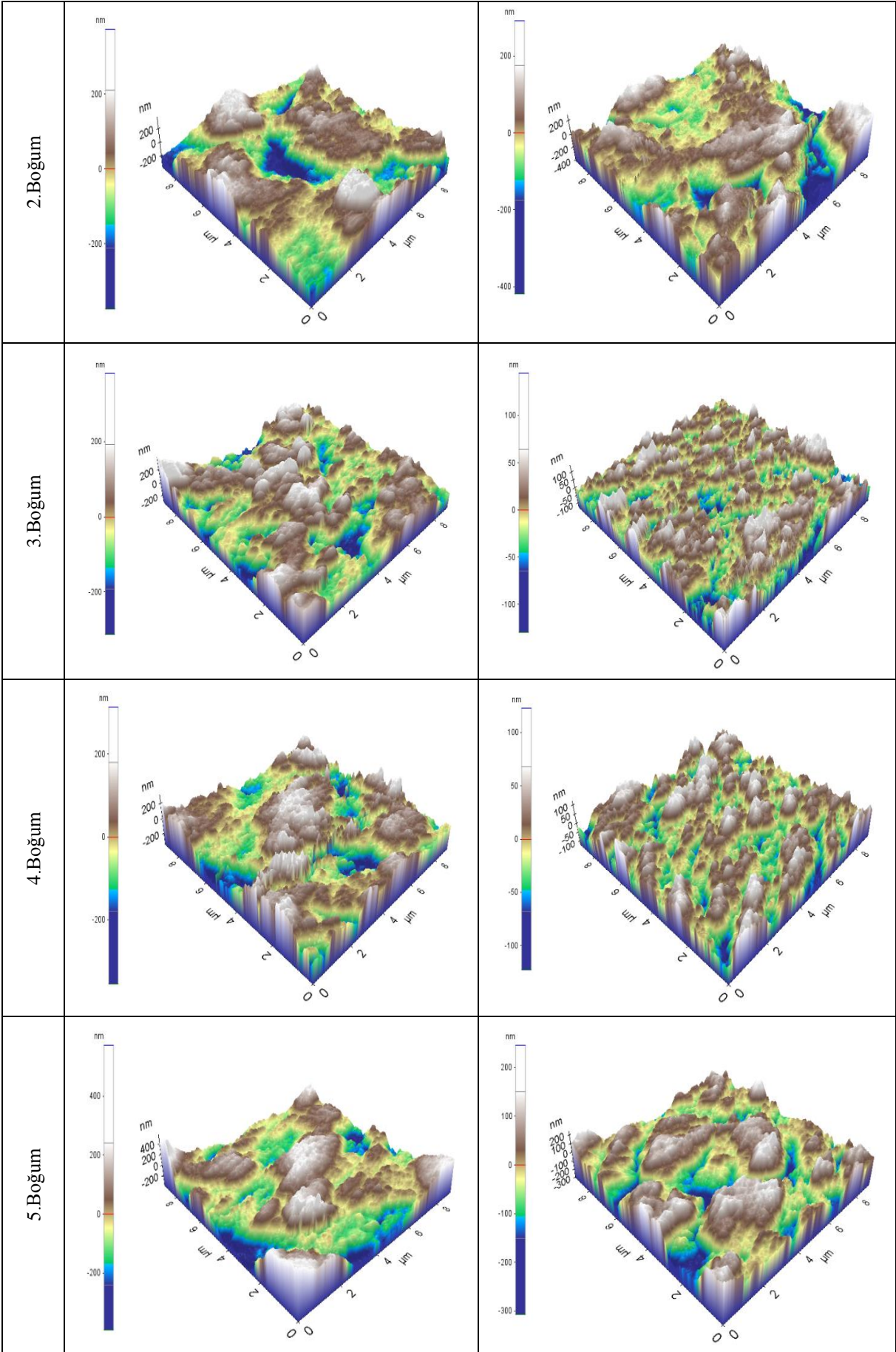
Şekil 6’da 21 gün sonunda deney düzeneğinden alınan bakır serpantinlere ait korozyon görüntüleri yer almaktadır. Şekil 6-(a)’da görüldüğü üzere serpantin yüzeye yakın ilk 3 boğumunda oluşan yeşil renk bakırın korozyona uğraması sonucu yüzeyde oluşan karakteristik Cu₂O tabakasının oluştuğunu göstermektedir. Serpantin kalan diğer boğumlarının (4-8) yüzeylerinde SCW yapısında bulunan tuzların etkisiyle tabaka oluşumu görülmektedir.

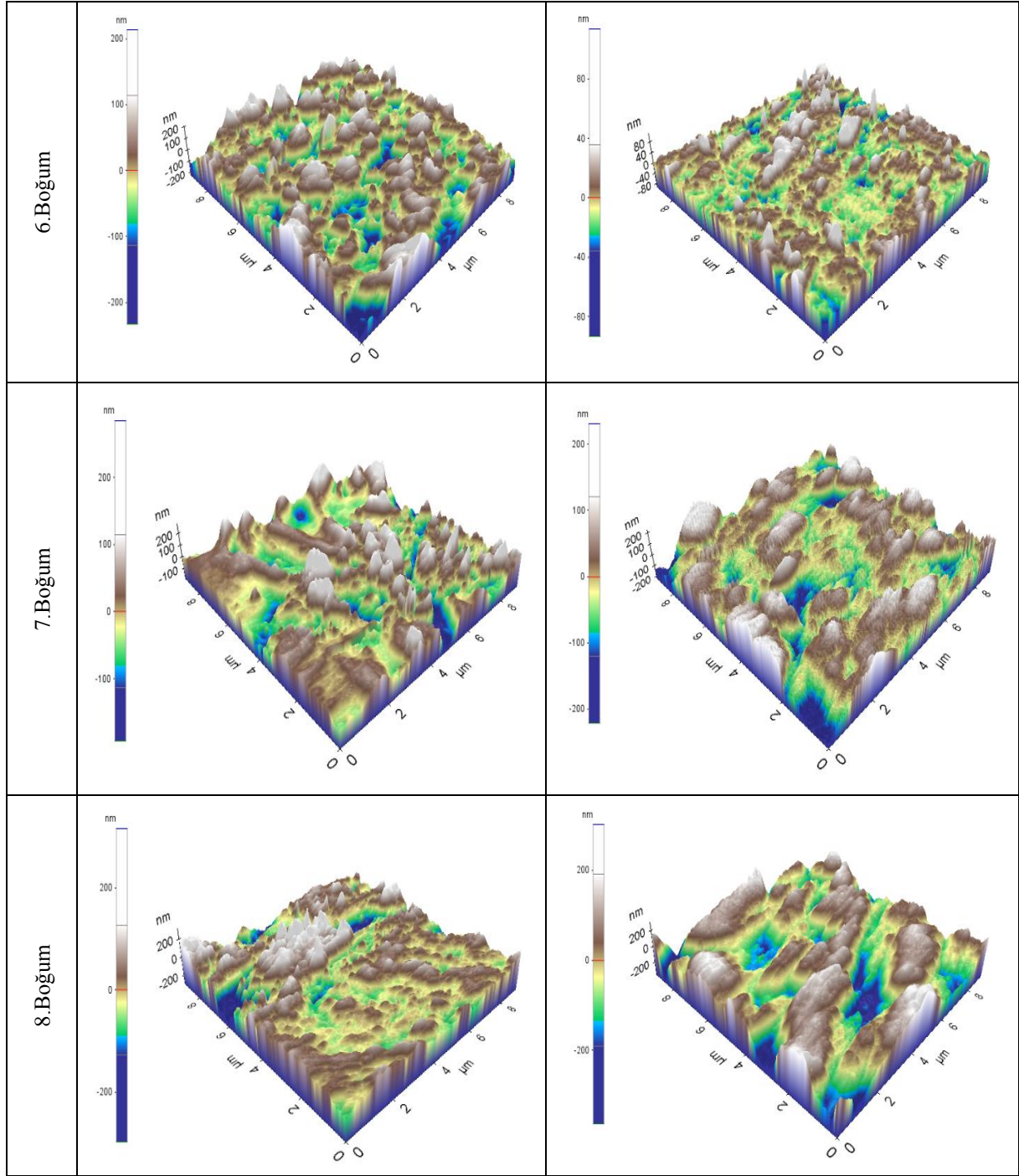
Şekil 6-(b)’de 21 gün sonunda oluşan görüntü Şekil 6-(a)’dan farklı olduğu açıkça görülmektedir. Serpantin yüzeyinde oluşan siyah renk; yüzeyde CuO tabakasının oluştuğunu kanıtlamaktadır. Anodik inhibitör olarak kullanılan [28] NaNO₂ sayesinde serpantin yüzeyinde kireçlenmeye bağlı tabaka oluşumu gözlemlenmemiştir. Isı transfer sistemlerinde, metal yüzeyinde oluşan kireç tabakaları cihazların çalışma verimlerinde azalmaya neden olan en önemli faktörlerden biridir. Oluşan kireç tabakası metali bir müddet korozyona karşı korursa da zamanla oluşacak kabuk altı korozyon cihazın servis dışına çıkmasına neden olabilmektedir.

A. AFM ANALİZİ

Deney sonrası ortamdan alınan bakır serpantinlerin korozyon davranışlarının daha detaylı incelenmesi amacıyla yapılan AFM analizleri Şekil 7’de gösterilmiştir. 8 boğumdan oluşan bakır serpantinler yukarıdan aşağıya olacak şekilde 1’den 8’e kadar numaralandırılarak her boğuma ait görüntü analizleri ayrı ayrı belirlenmiştir.







Şekil 7. 21 gün sonunda bakır serpantinlere ait AFM görüntüleri

Şekil 7’de yer alan AFM görüntülerinde 21 gün süreyle inhibitörlü ve inhibitörsüz ortama maruz bırakılan bakır serpantinlerin yüzey şekillerinin değiştiği görülmektedir. Ayrıca yapay soğutma suyu ortamına ilave edilen NaNO_2 ’nin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması için uygulanan AFM yöntemine ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. R_a yüzeyde gözlemlenen pürüzlülük değerlerinin ortalamasını; R_z ise on noktadan alınan yüksekliklerin ortalamasını ifade etmektedir [29].

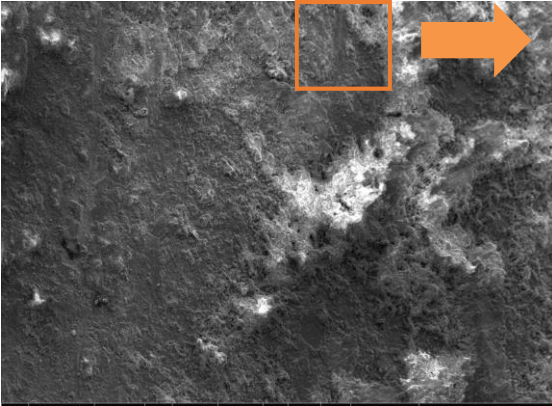
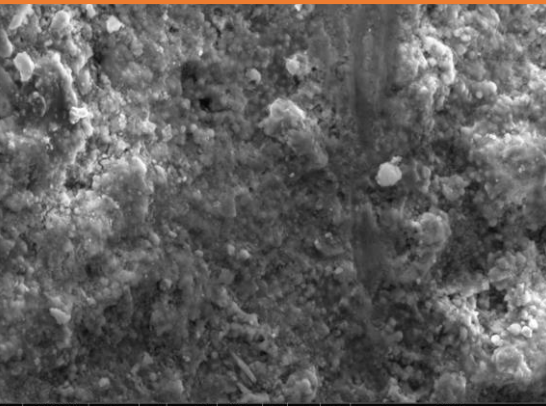
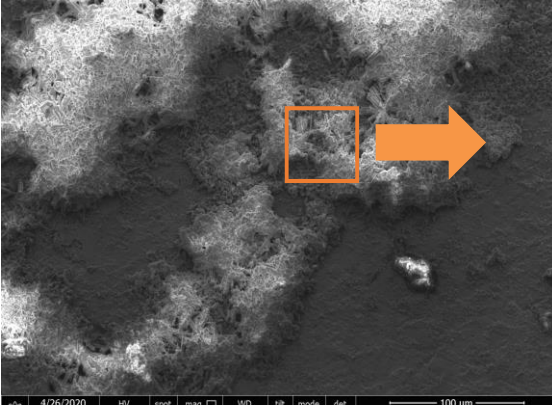
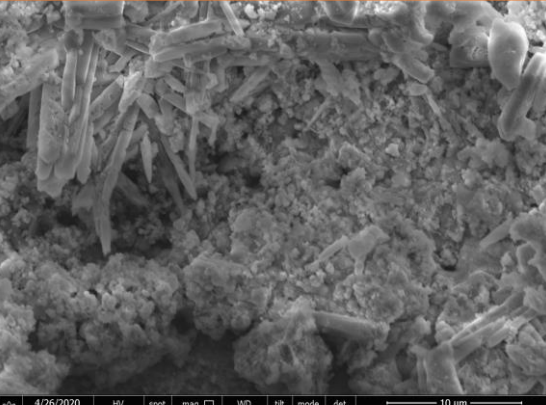
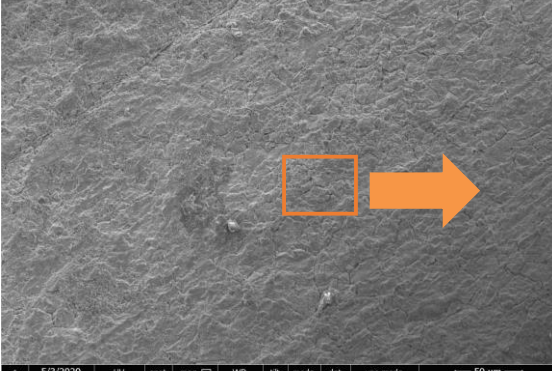
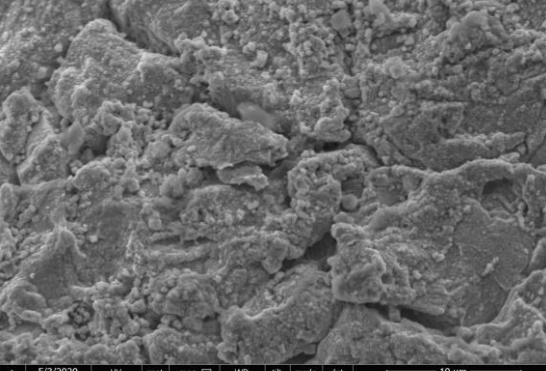
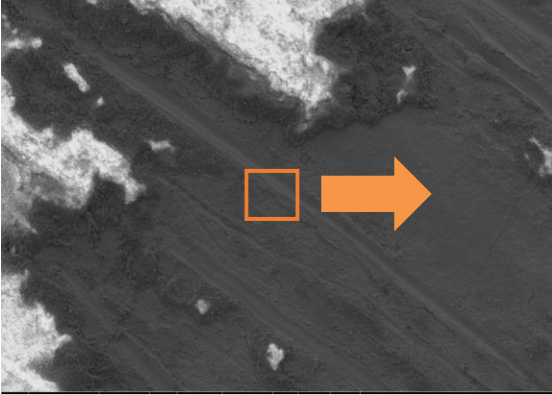
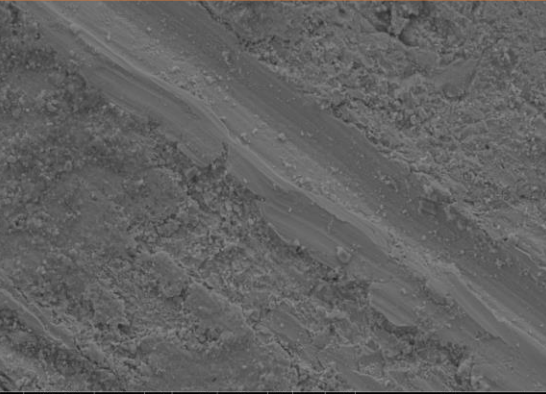
Tablo 2. İnhibitör ilaveli SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait AFM sonuçlarının kıyaslanması.

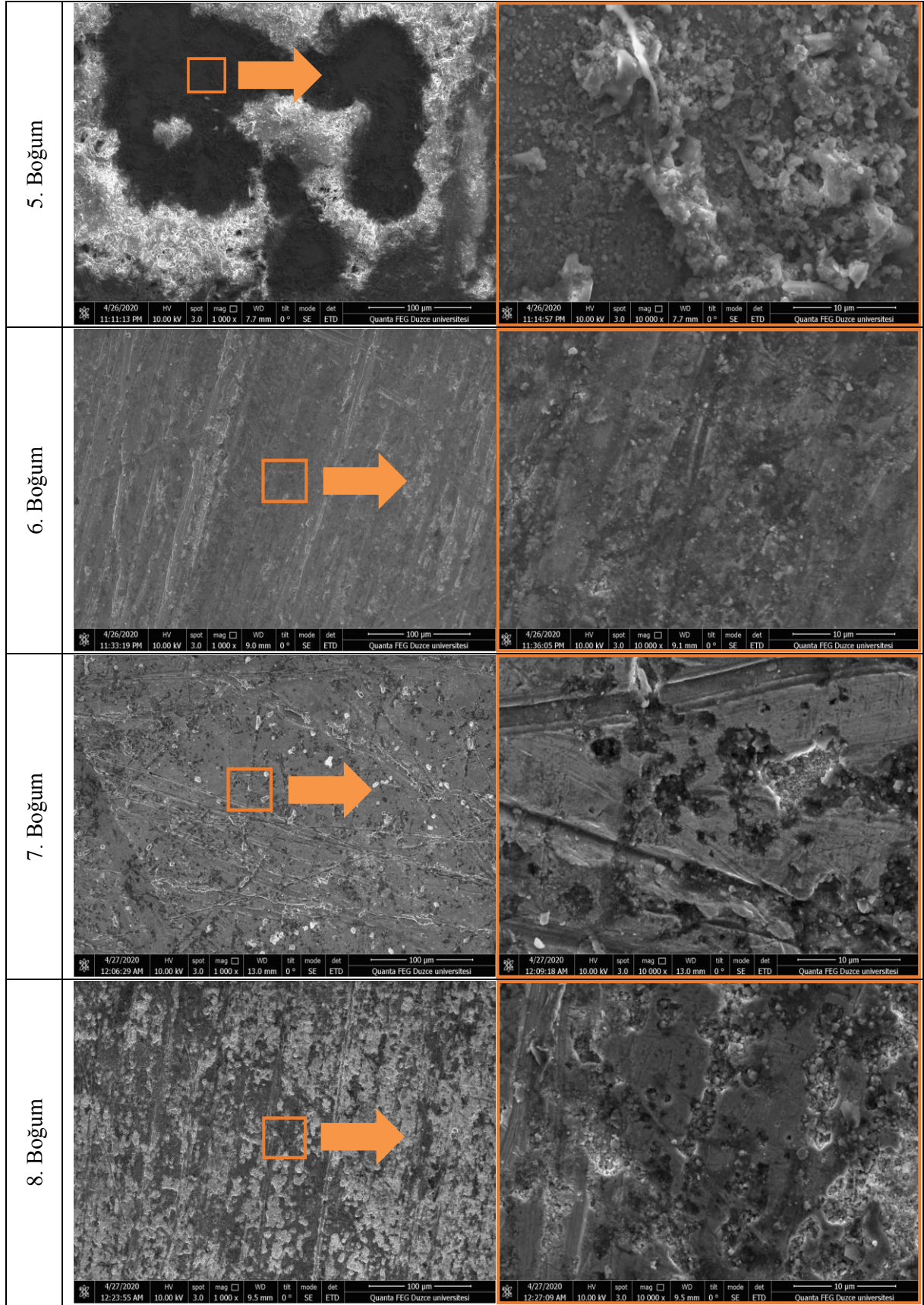
Boğum No	SCW	SCW+NaNO ₂	R _a değişim SCW / SCW+NaNO ₂	SCW	SCW+NaNO ₂	R _z değişim SCW / SCW+NaNO ₂
	R _a (nm)	R _a (nm)	R _a değerinde % Azalış	R _z (nm)	R _z (nm)	R _a değerinde % Azalış
1	96,265	79,715	17,19	960,213	692,083	27,92
2	83,286	72,452	13,01	732,387	651,179	11,09
3	78,635	68,11	13,38	731,193	568,842	22,20
4	73,816	61,462	16,74	656,93	533,586	18,78
5	68,575	48,243	29,65	629,797	441,265	29,94
6	48,114	28,165	41,46	586,552	269,995	53,97
7	46,167	25,838	44,03	451,889	236,335	47,70
8	44,913	13,555	69,82	421,898	195,32	53,70

Tablo 2’de yer alan pürüzlülük değerleri incelendiğinde SCW ortamına ilave edilen 1000 ppm NaNO₂’nin R_a ve R_z değerlerini azalttığı görülmektedir. Örneğin bakır serpantinin 1 nolu boğumu için SCW ortamında R_a değeri 96,265 nm; R_z değeri 960,213 nm iken; inhibitör ilavesi ile R_a değeri 79,715 nm; R_z değeri ise 692,083 nm olduğu belirlenmiştir. İnhibitör ilavesi ile R_a değerinde meydana gelen % azalış değerlerinin 6 ve 7. boğumlarda yaklaşık %40; 8. boğumda ise %70 oranında meydana geldiği görülmüştür. Benzer şekilde R_z değerlerinde meydana gelen yüzde değişim inhibitör ilavesi ile 6, 7 ve 8. boğumlarda yaklaşık %54 olarak belirlenmiştir. Pürüzlülük değerlerinin her iki ortamda da 1 nolu boğumdan 8 nolu boğuma doğru azaldığı görülmektedir. İnhibitörlü ortam elde edilen R_a ve R_z değerleri inhibitörsüz ortama kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir.

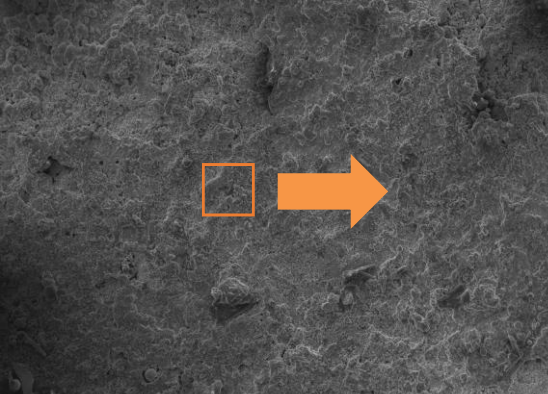
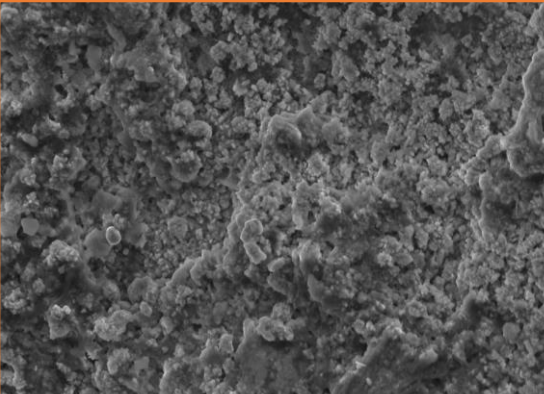
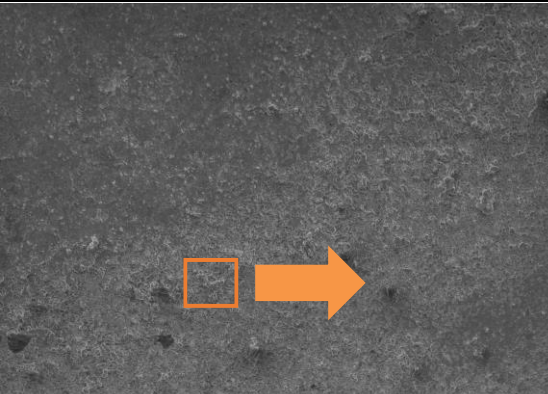
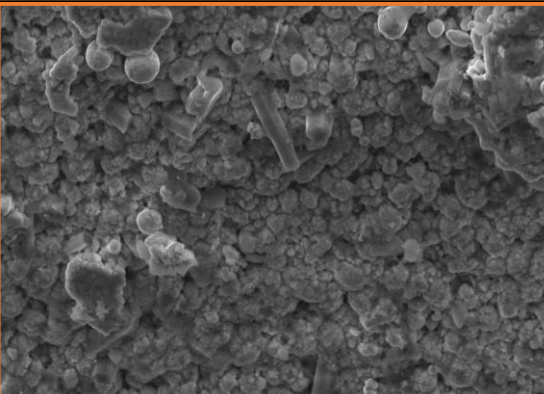
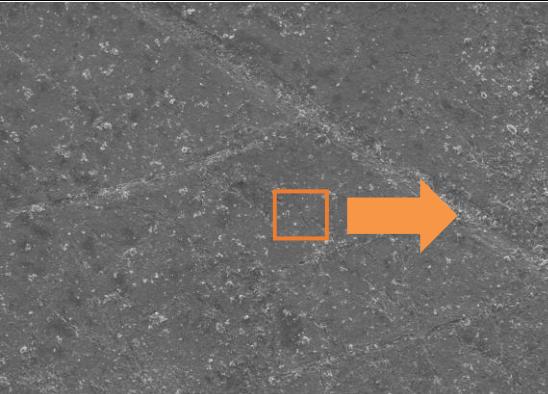
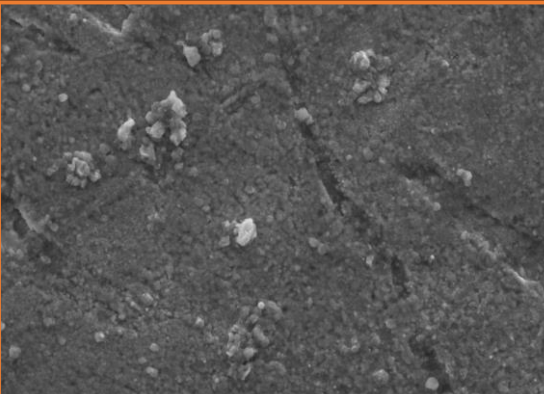
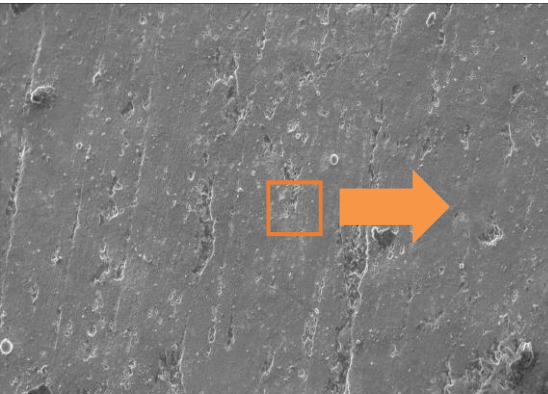
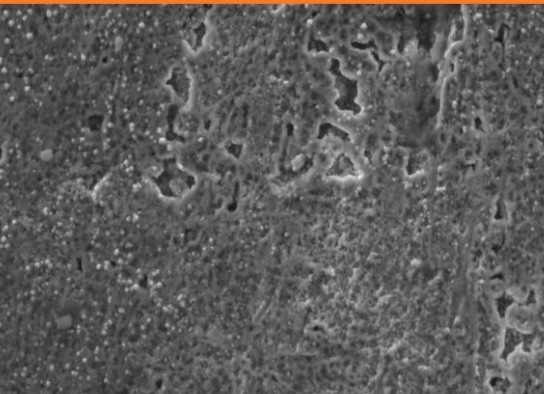
B. SEM-EDS ANALİZLERİ

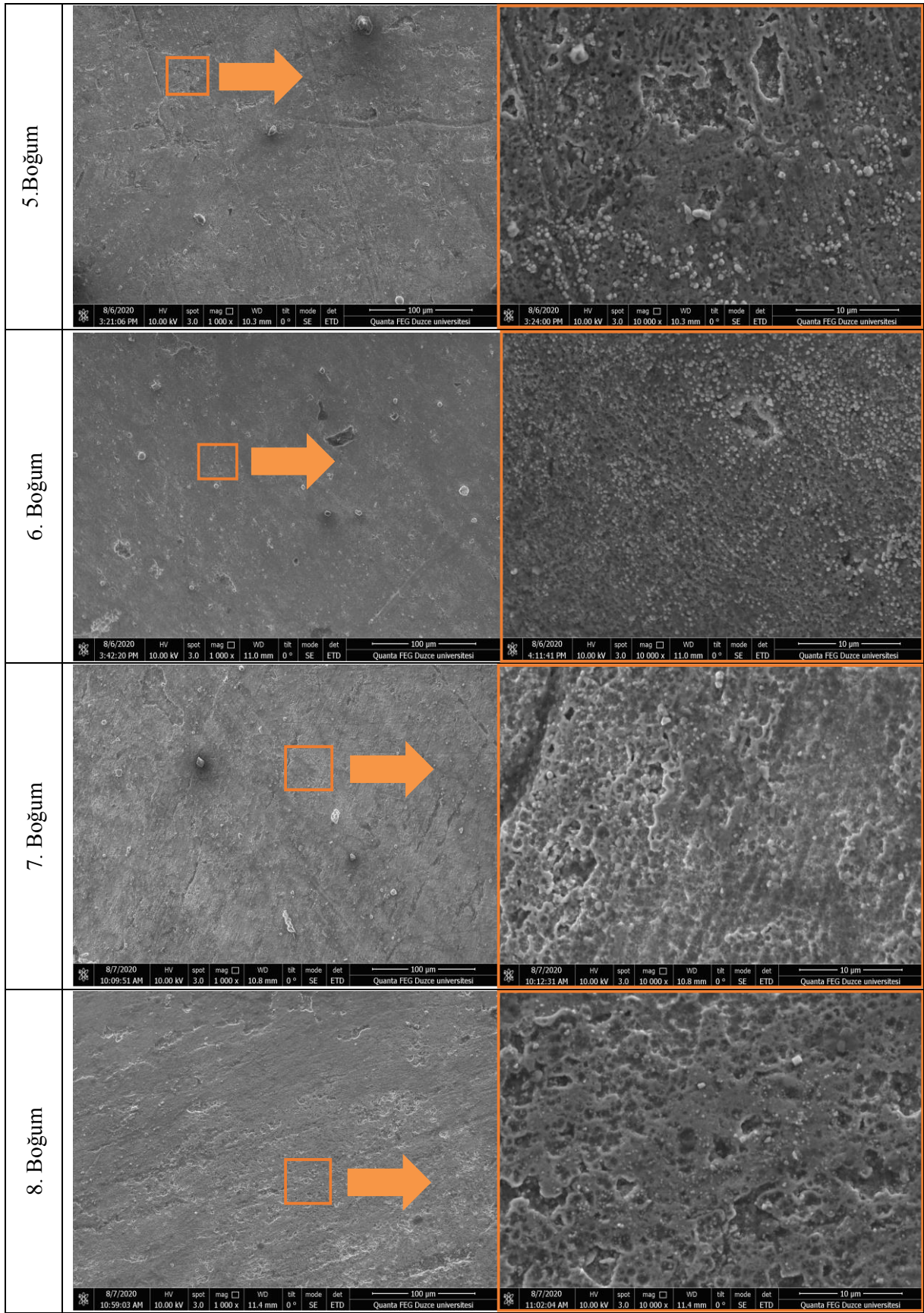
İnhibitörlü ve inhibitörsüz yapay soğutma suyu (SCW) ortamlarına 21 gün süreyle maruz bırakılan bakır serpantinlerin yüzeylerinde oluşan morfolojik değişiklikler SEM ile incelenmiştir (Şekil 8-9). Her boğumun (1-8) ayrı ayrı SEM ile incelendiği noktalarda ayrıca genel EDS analizi yapılmıştır (Tablo 3). Bakır serpantinin 21 gün sonunda SCW ortamının etkisiyle korozyona uğradığı açıkça Şekil 8’de görülmektedir. Serpantin konulduğu 304 paslanmaz çelik tankındaki su seviyesinden alta indikçe, Şekil 6’da görüldüğü üzere 4-8 boğumlarında daha az korozyon ürünün metal yüzeyinde oluştuğu görülmektedir. Çünkü yüzeye yakın serpantinin 1-3 boğumları daha çok oksijene maruz kalarak diğer boğumlara kıyasla yüzeylerinde daha kalın yeşil oksit tabaka oluşturmuştur [30]. Şekil 8’de görüleceği üzere SCW etkisiyle serpantinin 7 ve 8. boğumlarında çukurcuk korozyonun oluştuğu görülmüştür. Korozyon ürünlerinin temel bileşimleri; çalışma numunesinin esas bileşeni olan Cu ve metal yüzeyinde oluşan oksit filmi tanımlayan oksijen elementidir (Tablo 3). Bakır yüzeydeki Cu ve O’nun atomik yüzdesi sırasıyla %53,33 ve %30,87’dir. Farklı bölgeler için EDS sonuçları incelendiğinde 1 numaradan 8 numaraya doğru gidildikçe O elementinin atomik yüzdesinin azaldığı, Cu elementinin yüzdesinin ise arttığı görülmektedir. Şekil 9’da inhibitör ilaveli SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait görüntüler incelendiğinde korozyon ürünlerinin azaldığı görülmektedir. İnhibitör ilavesiyle 1 numaralı bölgeye ait EDS analizlerinde Cu ve O elementlerine ek olarak NaNO₂ varlığında bulunan N elementi de yüzeyde gözlemlenmektedir. İnhibitör ilaveli ortamda elde edilen EDS verileri incelendiğinde bakır serpantin yüzeyinde yer alan Cl elementlerinin atomik yüzdesinin NaNO₂ ilavesiyle azaldığı görülmektedir. Bu durum metal yüzeyinde inhibitörün adsorblandığını ifade etmektedir. SEM-EDS analizleri sonucunda elde edilen verilerin AFM analizleri ile tutarlı olduğu görülmektedir.

No	SCW	
1. Boğum		
2. Boğum		
3. Boğum		
4. Boğum		



Şekil 8. 21 gün sonunda SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait SEM görüntüleri

No	SCW+NaNO ₂	
1. Boğum	 <p data-bbox="279 616 829 654">8/5/2020 2:36:12 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 1 000 x WD 11.3 mm tilt 0 ° mode SE det ETD 100 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>	 <p data-bbox="845 616 1391 654">8/5/2020 2:38:53 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 10 000 x WD 11.3 mm tilt 0 ° mode SE det ETD 10 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>
2. Boğum	 <p data-bbox="279 1046 829 1084">8/5/2020 2:48:17 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 1 000 x WD 8.9 mm tilt 0 ° mode SE det ETD High vacuum 50 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>	 <p data-bbox="845 1046 1391 1084">8/5/2020 2:51:17 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 10 000 x WD 8.8 mm tilt 0 ° mode SE det ETD 10 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>
3. Boğum	 <p data-bbox="279 1476 829 1514">8/5/2020 3:23:52 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 1 000 x WD 10.0 mm tilt 0 ° mode SE det ETD 100 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>	 <p data-bbox="845 1476 1391 1514">8/5/2020 3:27:08 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 10 000 x WD 10.0 mm tilt 0 ° mode SE det ETD 10 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>
4. Boğum	 <p data-bbox="279 1906 829 1980">8/6/2020 2:01:27 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 1 000 x WD 10.8 mm tilt 0 ° mode SE det ETD 100 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>	 <p data-bbox="845 1906 1391 1980">8/6/2020 2:04:36 PM HV 10.00 kV spot 3.0 mag 10 000 x WD 10.8 mm tilt 0 ° mode SE det ETD 10 µm Quanta FEG Duzce universitesi</p>



Şekil 9. 21 gün sonunda SCW+NaNO₂ ortamındaki bakır serpantinlere ait SEM görüntüleri

Tablo 3. İnhibitör ilaveli SCW ortamındaki bakır serpantinlere ait EDS sonuçlarının kıyaslanması.

SCW ortamında serpantin 1-8 nolu boğumlarına ait analiz sonuçları									SCW+NaNO ₂ ortamında serpantin 1-8 nolu boğumlarına ait analiz sonuçları								
Element /Wt%	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
C	8,78	5,27	5,64	4,15	6,21	8,36	9,81	7,23	10,97	8,8	9,5	9,15	9,57	9,31	8,27	9,74	
O	30,87	15,38	13,56	14,98	9,63	9,27	8,58	6,16	17,4	10,03	8,55	6,78	6,57	5,8	6,25	5,14	
Na	1,72	1,32	0,77	0,78	0,23	0,84	0,58	0,55	1,72	1,14	0,6	0,61	0,37	0,46	0,44	0,3	
Mg	0,85	0,62	0,12	0,1	0,25	0,19	0,2	0,32	0,98	0,31	0,19	0,27	0,21	0,18	0,3	0,22	
S	0,25	0,21	0,12	0,31	0,22	0,31	0,17	0,24	0,25	0,3	0,46	0,18	0,27	0,36	0,21	0,43	
Cl	0,59	2,51	0,73	1,77	1,13	0,99	1,09	0,73	0,32	0,47	0,41	0,57	0,39	0,88	0,52	0,7	
Ca	3,61	0,98	6,01	1,97	0,31	0,44	0,53	0,31	1,27	1,61	1,88	0,36	0,34	0,45	0,42	0,39	
Cu	53,33	73,71	73,05	75,94	82,03	79,6	79,04	84,46	66,48	77,04	77,75	81,87	82,06	82,3	83,18	82,83	
N	x	x	x	x	x	x	x	x	0,61	0,3	0,66	0,21	0,22	0,26	0,41	0,25	

IV. SONUC

Bu çalışmada inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak hazırlanan yapay soğutma suyuna 21 gün süreyle maruz bırakılan bakır serpantinlerin korozyonu araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki veriler elde edilmiştir.

- Yapay soğutma suyunda bakır serpantinlerde gözlemlenen korozyonun NaNO₂ ilaveli ortama kıyasla daha fazla olduğu,
- AFM analizleri incelendiğinde yüzeyde meydana gelen pürüzlülük değerlerinin (R_a ve R_z) SCW ortamına inhibitör ilave edilmesiyle azaldığı,
- SEM ve EDS analizleri incelendiğinde yapay soğutma suyu ortamlarına maruz bırakılan bakır serpantinlerin yüzeyinde meydana gelen korozyon ürünlerinin inhibitör ilavesiyle azaldığı ve NaNO₂'nin bakır yüzeyinde adsorplanarak farklı bir oksit film (CuO) oluşturduğu,
- Metal yüzeyinde meydana gelen korozyonun belirlenmesi amacıyla uygulanan yüzey analizi yöntemleri (AFM ve SEM-EDS) ile elde edilen verilerin birbirlerini destekler nitelikte olduğu,
- Kapalı devre sistemlerinin korozyona karşı korunmasında inhibitör kullanımının oldukça etkili bir yöntem olduğu ve sadece yüzey görüntüleme metotları kullanılarak da bu etkinliğin belirlenebileceği bu çalışma ile ortaya konulmuştur.
- İlerleyen çalışmalarda; Dinamik Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (DEIS) yöntemi kullanılarak, zamana bağlı inhibitör etkinliğinin nasıl değiştiğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Böylece sisteme tekrar ne zaman NaNO₂ ilave edilmesi gerektiği ortaya konulabilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2020.06.05.1076)

V. KAYNAKLAR

- [1] D. J. Choi, S. J. You, J. G. Kim, “Development of an environmentally safe corrosion, scale, and microorganism inhibitor for open recirculating cooling systems,” *Materials Science and Engineering A.*, vol. 335 pp. 228–235, 2002.
- [2] S. S. Gaddamwar, A.N. Pawar, P.A. Naik, “Similitude of membrane helical coil with membrane serpentine tube for characteristics of high-pressure syngas: A review, in: AIP Conference Proceedings,” American Institute of Physics Inc., pp. 020005, 2018.
- [3] I. Milošev, Inhibition of copper corrosion by 1 , 2 , 3-benzotriazole : A review, vol. 52, pp. 2737–2749, 2010.
- [4] EPA, Copper Facts, US Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs, 2008.
- [5] R. D. Prabu, S. Valanarasu, V. Ganesh, M. Shkir, S. AlFaify, A. Kathalingam, S.R. Srikumar, R. Chandramohan, “An effect of temperature on structural, optical, photoluminescence and electrical properties of copper oxide thin films deposited by nebulizer spray pyrolysis technique,” *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2018.
- [6] M. A. Amin, K. F. Khaled, Copper corrosion inhibition in O₂-saturated H₂SO₄ solutions, *Corrosion Science*, vol.52, pp. 1194–1204, 2010.
- [7] L. Ö. Avni YAZAN, “Bakır ve Bakır Ürünleri Kullanım Alanları,” M.T.A. Enstitüsü Teknoloji Şubesi, pp. 43–47, 2006.
- [8] Copper: introduction to the chemical element - Explain that Stuff, (n.d.). <https://www.explainthatstuff.com/copper.html> (accessed October 5, 2020).
- [9] R.W. Revie, H.H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering: Fourth Edition*, 2008.
- [10] H. Gerengi, Anticorrosive properties of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit juice on 7075 type aluminum alloy in 3.5% NaCl solution, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol.51, pp. 12835–12843, 2012.
- [11] H. Gerengi, H. Goksu, P. Slepski, The inhibition effect of mad honey on corrosion of 2007-type aluminium alloy in 3.5% nacl solution, *Materials Research*, vol.17, pp. 255–264, 2014.
- [12] H. Gerengi, P. Slepski, G. Bereket, “Dynamic electrochemical impedance spectroscopy and polarization studies to evaluate the inhibition effect of benzotriazole on copper-manganese-aluminium alloy in artificial seawater,” *Materials and Corrosion*, vol. 64, pp. 1024–1031, 2013.
- [13] W. Faes, S. Lecompte, Z.Y. Ahmed, J. Van Bael, R. Salenbien, K. Verbeken, M. De Paepe, “Corrosion and corrosion prevention in heat exchangers, *Corrosion Revie*, vol. 37, pp. 131–155, 2019.
- [14] P. Slepski, H. Gerengi, A. Jazdzewska, J. Orlikowski, K. Darowicki, “Simultaneous impedance and volumetric studies and additionally potentiodynamic polarization measurements of molasses as a carbon steel corrosion inhibitor in 1M hydrochloric acid solution,” *Construction and Building Materials*, vol. 52, pp. 482–487, 2014.

- [15] T. K. Hou, S. N. Kazi, A. B. Mahat, C. B. Teng, A. Al-Shamma'a, A. Shaw, Industrial Heat Exchanger: Operation and Maintenance to Minimize Fouling and Corrosion, in: Heat Exchangers - Advanced Features and Applications, InTech, 2017.
- [16] C. Frayne, Effective Control Of Waterside Corrosion and Heat Transfer Efficiency in Chemical Plant Cooling Systems, n.d.
- [17] J. S. Gill, "Inhibition of silica-silicate deposit in industrial waters," Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 74, pp. 101–106, 1993.
- [18] G. Tansuğ, T. Tüken, E.S. Giray, G. Findikkiran, G. Siğircik, O. Demirkol, M. Erbil, A new corrosion inhibitor for copper protection, Corrosion Science, vol. 84, pp. 21–29, 2014.
- [19] C. Pearson, Role of iron in the inhibition of corrosion of marine heat exchangers-a review, British Corrosion Journal, no. 7, pp. 61–68, 1972.
- [20] E. Chemistry, A. wachter, pp. 9–11, 1945.
- [21] A. Wachter, Sodium Nitrite as Corrosion Inhibitor for Water., Industrial & Engineering Chemistry, vol. 37, pp. 749–751, 1945.
- [22] J. Zuo, B. Wu, C. Luo, B. Dong, F. Xing, "Preparation of MgAl layered double hydroxides intercalated with nitrite ions and corrosion protection of steel bars in simulated carbonated concrete pore solution," Corrosion Science, vol. 152, pp.120–129, 2019.
- [23] I.M. Dmytrakh, R.L. Leshchak, A.M. Syrotyuk, "Influence of sodium nitrite concentration in aqueous corrosion solution on fatigue crack growth in carbon pipeline steel," International Journal of Fatigue, vol. 128, pp. 105192, 2019.
- [24] J.K. Das, B. Pradhan, "Effect of cation type of chloride salts on corrosion behaviour of steel in concrete powder electrolyte solution in the presence of corrosion inhibitors," Construction and Building Materials, vol. 208, pp.175–191, 2019.
- [25] ISI-TAN – Isı Kontrol Sistemleri, (n.d.). <https://www.isitan.com.tr/> (accessed November 15, 2020).
- [26] M.G. Lavastrou, P. General, A. Mendoza, Quality certificate, vol. 3559, pp. 1–7, 2008.
- [27] J. Sha, H. Ge, C. Wan, L. Wang, S. Xie, X. Meng, Y. Zhao, "Corrosion inhibition behaviour of sodium dodecyl benzene sulphonate for brass in an Al₂O₃ nano fluid and simulated cooling water," Corrosion Science, vol. 148, pp. 123–133, 2019.
- [28] M. Hayyan, S.A. Sameh, A. Hayyan, I.M. Alnashef, Utilizing of Sodium Nitrite as Inhibitor for Protection of Carbon Steel in Salt Solution, 2012. www.electrochemsci.org (accessed December 21, 2019).
- [29] H. Gerengi, G. Bereket, M. Kurtay, "A morphological and electrochemical comparison of the corrosion process of aluminum alloys under simulated acid rain conditions," Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, vol. 58, pp. 509–516, 2016.
- [30] N. Fredj, T.D. Burleigh, "Transpassive Dissolution of Copper and Rapid Formation of Brilliant Colored Copper Oxide Films," Journal of The Electrochemical Society, vol. 158, pp. 104, 2011.