



Krenlerde Kullanılan Farklı Tiplerdeki Çelik Tel Halatların Korozyon Davranışlarının Karşılaştırılması

Comparison of Corrosion Behavior of Steel Wire Ropes in Different Types Used in Cranes

Haşim Fırat Karasu ^{1*}, Mine Demirsoy ¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: firat.karasu@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 13.05.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 18.07.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2020226418

Atıf şekli/ How to cite: KARASU, H.F., DEMİRSOY, M. (2020). Krenlerde Kullanılan Farklı Tiplerdeki Çelik Tel Halatların Korozyon Davranışlarının Karşılaştırılması. DEUFMD 22(64),179-186.

Öz

Bu çalışmada, krenlerde kullanılan farklı tipteki yük taşıma halatlarının korozyona maruz bırakıldıktan sonraki davranışları incelenmiştir. Bunun için 6x19 Standart, 8x19 Seale ve 6x36 Warrington Seale halat gruplarından kendir ve çelik özlü halatlar alınmıştır. Halatlar ASTM B117 standardına uygun olarak yaşlandırma test kabininde her bir yaşlandırma prosesi için bir aylık sürede olmak üzere hızlı yaşlandırma testine tabi tutulmuştur. 24 saatlik döngülerle 30 periyotluk 3 farklı proses takip edilmiştir. Her bir yaşlandırma işleminde sıcaklık ve zaman parametresi değiştirilerek halatların korozyona maruz kalma şartlarının etkisi incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak sonuçlar verilmiştir. Yapılan yaşlandırma işlemi sonucunda halatlarda oluşan hasarlar gözle muayene ile belirlenmiş ve her bir proses için halatların yaşlandırma öncesi ve sonrası kütle değişimleri incelenerek korozyonun etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca, halatta meydana gelen korozyon hasarının mekanik özelliklere olan etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yük Taşıma Halatı, Yaşlandırma Testi, Korozyon, Tuz Sisi

Abstract

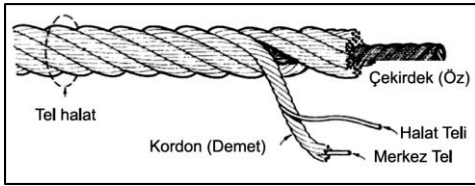
The aim of this study is to investigate the behavior after exposure to corrosion of different types of hoisting ropes used in cranes. For this, hempen and steel core 6x19 Standard, 8x19 Seale and 6x36 Warrington Seale group ropes are examined. The ropes are applied rapid aging test in aging test chamber for one month according to ASTM B117 standard. The aging test is made for 3 different process with 24 hours cycle and 30 days period process. In each aging process, temperature and time parameters were changed and effects of corrosion conditions were investigated and comparative results were given. Failures of the ropes are visually determined after aging tests and effects of corrosion for each process are evaluated examining mass changes before and after aging test. In addition, the effect of corrosion damage on the mechanical properties of the rope was investigated.

Keywords: Hoisting Rope, Aging Test, Corrosion, Salt Fog

1. Giriş

Transport makinelerinde en çok zorlanan elemanlar, yük taşıma elemanlarıdır. Bu amaçla kaldırma makinelerinde önceleri kullanılan zincirler günümüzde yerini çelik halatlara bırakmıştır. Çelik halatların en önemli avantajı oldukça küçük burulma ve eğilme rijitlikleri sayesinde büyük eksenel kuvvetleri taşıyabilmeleridir [1].

Şekil 1’de bir çelik halatın yapısı görülmektedir. Çelik halatlar yüksek mukavemetli ince çelik tellerden oluşmaktadır. Teller sarılarak kordonlar, kordonlar ise bir çekirdek etrafında helis şeklinde sarılarak halatları meydana getirmektedir. Şekil 2’de ise çelik halatların farklı özelliklerine göre sınıflandırılması verilmiştir. Bu sınıflandırmanın dışında halat tellerinin kesit şekline göre de (yuvarlak, üçgen, yassı ve oval kesit) bir sınıflandırma yapmak mümkündür. Ancak uygulamalarda daha çok yuvarlak kesitli tel kullanıldığı için tel kesitleri sınıflandırma dışında tutulmuştur.



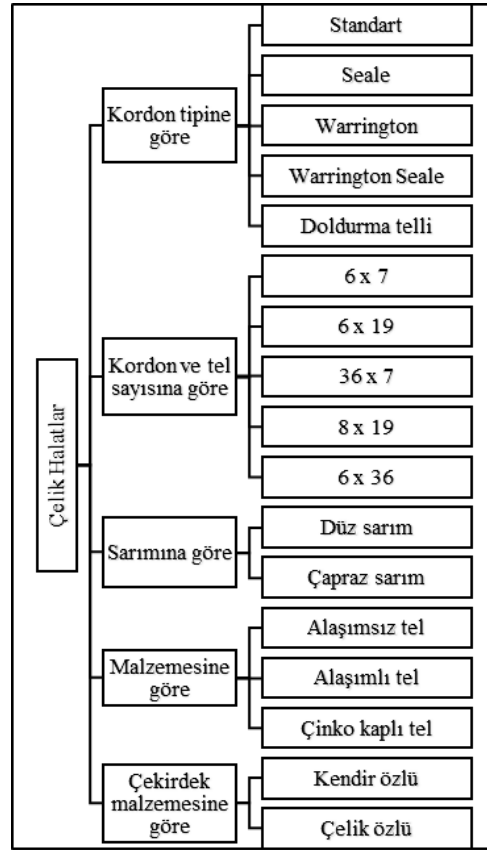
Şekil 1. Bir çelik halatın yapısı [2]

Şekil 3’te halatların kordon tipine ve sayısına göre sınıflandırılması gösterilmiştir. Çelik halatlarda korozyonun etkisi göz önüne alındığında ise çekirdek malzemesine göre sınıflandırma önemli rol oynamaktadır. Çünkü kendir (lif) ve çelik özün nem tutma oranları farklıdır. Kendirin tercih edilme sebebi ise, mukavemetinin diğer kenevir türlerine göre daha yüksek olmasıdır.

Yük taşıma halatları, yüksek neme ve deniz tuzuna maruz kalan limanlardaki krenlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Eğer bu ortamda oluşan korozyonun halat üzerindeki etkisi göz ardı edilirse yüksek yük taşıma kapasitelerindeki bu elemanlar için ciddi derecede bir risk faktörü ortaya çıkmaktadır. Bunun önlenmesi için öncelikle korozyonun halatta oluşturduğu etkileri iyi bir şekilde gözlemlemek gerekmektedir.

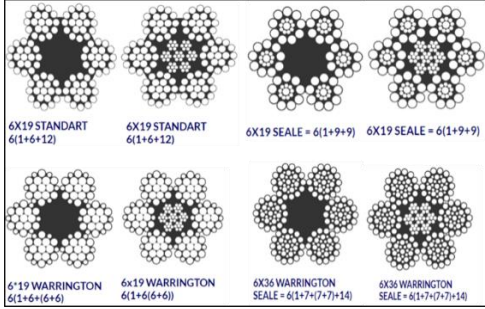
Literatürde korozyonun malzemede oluşturduğu tahribatı değerlendirmek için Şekil

4’te verilen çeşitli yöntemler belirlenmiştir. Malzeme kütledeki değişim [4,10] ile korozyona maruz kalmadan önceki duruma göre halat kütledeki değişim veya halat tellerindeki çap incelmeleri incelenmiştir. Mekanik deneyler [5-7,9-11] ile halatların korozyon sonrası çekme, eğme ve burulma testleriyle mukavemet kayıpları belirlenmiştir. Elektrokimyasal yöntemler ile de [8,16-22] malzemenin korozyon hızında meydana gelen değişim tespit edilmiştir. Bu yöntemlerden en sık kullanılanları potansiyodinamik bir yöntem olan Tafel ekstrapolasyon yöntemi, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve döngüsel voltametridir.



Şekil 2. Çelik halatların sınıflandırılması

Tüm bu yöntemler dışında korozyonun malzeme yüzeyindeki etkisini incelemek için SEM, EDS, EDX, Raman spektroskopisi ve X-ışınları difraksiyonu (XRD) gibi karakterizasyon metotları da literatürde bulunmaktadır [9].



Şekil 3. Farklı kordon tipindeki çelik halatlar [3]

Buraya kadar incelenen çalışmalarda, yük taşıma halatlarında korozyonun direkt halat yüzeyine

etkisi araştırılmıştır. Bunların dışında, plastik malzemeyle kaplanmış çelik halatlardaki gözle görülemeyen bozulmaların radyasyon ve elektromanyetik testlerle incelenmesi [12], paslanmaz çelik halatların kauçuk-lastik dış koruyucusuyla temasından kaynaklanan statik sürtünmenin incelenmesi [13], bir krenden alınan kırılmış bir halat kordonunun hasar analizinin yapılması [14], sabit durumdaki çelik halatların en kritik noktası olarak kabul edilen ve çapa adı verilen bağlantı yerlerinin akustik ve termografik metotlarla testlerinin yapılması [15] gibi çalışmalar da literatürde mevcuttur.



Şekil 4. Çelik halatlarda oluşan korozyonu tespit yöntemleri

Bu çalışmada ise, belirlenen halat tiplerine yaşlandırma işlemi uygulanmış ve bu işlemin her bir halat tipinde oluşturduğu korozyon etkisi karşılaştırılmıştır. Halatlara Şekil 4'te verilen yöntemlerden malzeme kütleindeki değişim ve mekanik deneyler ile mukavemet değişimi uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada Ascott CC1000ip marka ve model döngüsel yaşlandırma test cihazı kullanılmıştır. Döngüsel test uygulamalarından önce, bir laboratuvarda korozyon simülasyonu için uygulanan standart yöntem, geleneksel tuz spreyi (35 °C'de sürekli tuz spreyi) idi. Ancak bu yöntem dış ortamın doğal ıslak/kuru döngüsünü taklit etmekte yetersiz kalmaktadır. Günümüzde döngüsel yaşlandırma test cihazları ile numuneler, açık havadakine benzer tekrarlayan döngülerdeki farklı ortamlara maruz

kalmaktadır. Bu tip döngüler, tuz spreyi, kurutma ve nemi bir araya getirmektedir.

Tablo 1'de, uygulanan prosesler verilmiştir. 3 farklı yaşlandırma prosesi belirlenmiş olup aralarındaki temel fark korozyona maruz kalma süreleridir. Tüm prosesler 24 saatlik olup 30 günlük periyottan oluşmaktadır. Yaşlandırma test cihazındaki işlemler ASTM B117 standardı esas alınarak yapılmıştır [23]. Uygulanan sıcaklık değerleri, belirtilen standardın ve cihazın kullanım kılavuzundaki önerilen değerlerin beraber değerlendirilerek seçilmesiyle belirlenmiştir.

Bu çalışmada kullanılan halat tipleri, krenlerde en sık kullanılan halat tipleri dikkate alınarak seçilmiştir. Bu halat tipleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Tüm halat tipleri için halat uzunluğu 300 mm ve halat çapı 8 mm alınmıştır.

Tablo 1. Uygulanan yaşlandırma prosesleri.

1. Proses	8 saat tuz sisi	45 °C
	8 saat %100 nem	60 °C
	8 saat kurutma	60 °C
2. Proses	4 saat tuz sisi	45 °C
	4 saat %100 nem	60 °C
	16 saat kurutma	60 °C
3. Proses	2 saat tuz sisi	45 °C
	2 saat %100 nem	60 °C
	20 saat kurutma	60 °C

Halat malzemesi, yüksek karbonlu çelik olup alaşımsız karbon çeliği olarak isimlendirilmektedir. Seçilen halat malzemesinin kimyasal analizi Tablo 3'de verilmiştir.

Seçilen halatlar Şekil 5'te görülen Ascott marka yaşlandırma test cihazına tüm yüzeyleri nemden ve tuzdan etkilenecek şekilde konulmuştur. Test cihazı, 1000 L kabin hacmine ve 115 L tuzlu su bölmesi hacmine sahiptir. 4-6 bar hava

basıncında ve 20-70 °C sıcaklık aralığında çalışabilmektedir. Saatte 80 cm²'ye 0,5-3,0 ml tuz püskürtme kapasitesi vardır.

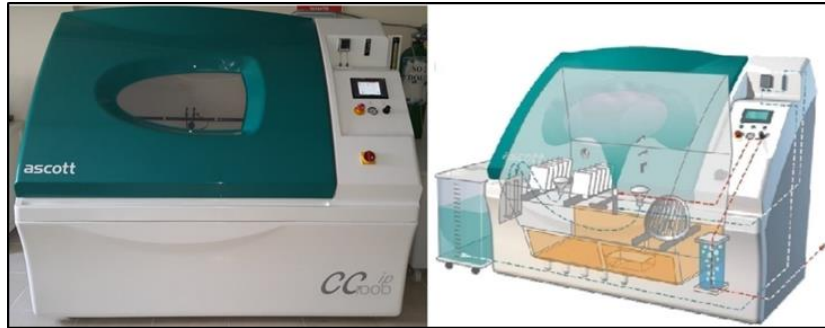
Tablo 2. Yaşlandırma testlerinde kullanılan halat tipleri.

<i>Kendir Özlü</i>		<i>Çelik Özlü</i>	
<i>Halat Tipi</i>	<i>Kordon x Tel Sayısı</i>	<i>Halat Tipi</i>	<i>Kordon x Tel Sayısı</i>
Standart	6x19	Standart	6x19
Seale	8x19	Seale	8x19
Warrington Seale	6x36	Warrington Seale	6x36

Tablo 3. Halat malzemesinin kimyasal analizi.

<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
0,71	0,20	0,46	0,011	0,012

Yaşlandırma test cihazında 3. proses olarak ifade edilen yaşlandırma işlemine maruz bırakılan halatların bir sonraki aşamada 2 mm/dk hızında çekme testleri yapılarak mukavemetleri karşılaştırılmıştır.

**Şekil 5.** Kullanılan yaşlandırma test cihazı

3. Bulgular

Halatlarda yaşlanmanın etkisi öncelikle gözle muayene ile incelenmiştir. Şekil 6'da 30 gün boyunca korozyona maruz bırakılan halatların uğradığı tahribat ilk durumdaki haliyle karşılaştırılmıştır. Halatların yoğun korozyona maruz kaldığı 1. proses sonrası halat çaplarında gözle görülür derecede inceleme olmuş, en dış katmanlardaki kordonlarda bütünlük Şekil 7'de görüldüğü gibi yok olmuştur. Halat uçlarında

kordonları oluşturan teller korozyon etkisiyle Şekil 8'deki çelik özlü halatta olduğu gibi tamamen dökülmüş olup çekirdek (öz) tabakası açığa çıkmıştır. Yaşlandırma işlemi sonrası kendir özlü çekirdek, çelik özlü çekirdekten daha fazla nem absorbe ettiği için çapında gözle görülür artış olmuştur. Şekil 9'da bu durum görülmektedir. 2. ve 3. proseslerde, korozyonun etkisi 1. prosese oranla daha az olup gözle görülen kusurlar azalmıştır [24].



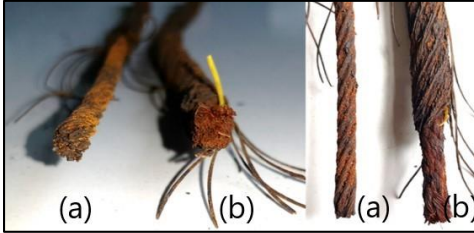
Şekil 6. Yaşlandırma öncesinde (üstte) ve sonrasında (altta) halatların durumu



Şekil 7. Halat çapındaki inceleme



Şekil 8. Çekirdek tabakasının açığa çıkması



Şekil 9. Yaşlandırma işlemi sonrası kendir özlü çekirdek ile çelik özlü çekirdeğin karşılaştırılması (a: Çelik özlü halat, b: Kendir özlü halat)

Yaşlandırma sonrası korozyonun etkisini bir diğer şekilde yaşlandırma öncesi ve sonrası halat kütlelerinin ölçülmesiyle görmek mümkündür. Malzemelerde korozyon hızı veya korozyon

direnci, kütledeki azalma ile belirlenebilir. Ancak bu daha çok yekpare malzemeler için geçerlidir. Bunlarda korozyona uğrayan kısım malzeme üzerinden uzaklaştırılır ve kütle azalır. Halat gibi kompleks geometrilerde ise durum farklıdır. Çelik halatlar, kordonların çekirdek etrafına içten dışa sarıldığı katmanlı yapı nedeniyle boşlukludur. Bu boşluklar yaşlandırma işlemi sonrasında tuzu ve nemi tutmaya müsaittir. İç kısımda kalan nem ve tuz, dış kısımda gözle görülür bir korozyon belirtisi vermemesine rağmen çelik halatı işletme şartlarında içten aşındırıp mukavemetinin azalmasına yol açar. Bu nedenlerle, kütle artışı daha fazla olan halatlar, içinde daha fazla nem absorbe etmiş olup bu halatların korozyona dayanıklılığı daha düşüktür.

1. yaşlandırma prosesine maruz bırakılan halatlarda halat deformasyonu fazla olduğundan dış katmanlarındaki kordonlar dökülmüş olup halatlar işlevlerini yitirmiştir. Bu nedenle kütle ölçümleri anlamlı bir sonuç vermeyeceğinden yapılmamıştır. 2. ve 3. proses için yaşlandırma testi sonrası halat kütlelerindeki artış Tablo 4'te verilmiştir. Verilen değerler her bir halat tipi için 5 numunenin ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Halatlarda yaşlandırma testi sonrası görülen kütle artışları.

		2. Proses	3. Proses
Standart	Kendir Özlü	% 9,78	% 2,50
	Çelik Özlü	% 2,76	% 1,20
Seale	Kendir Özlü	% 3,98	% 1,04
	Çelik Özlü	% 14,08	% 3,62
Warrington Seale	Kendir Özlü	% 4,30	% 0,84
	Çelik Özlü	% 0,96	% 0,26

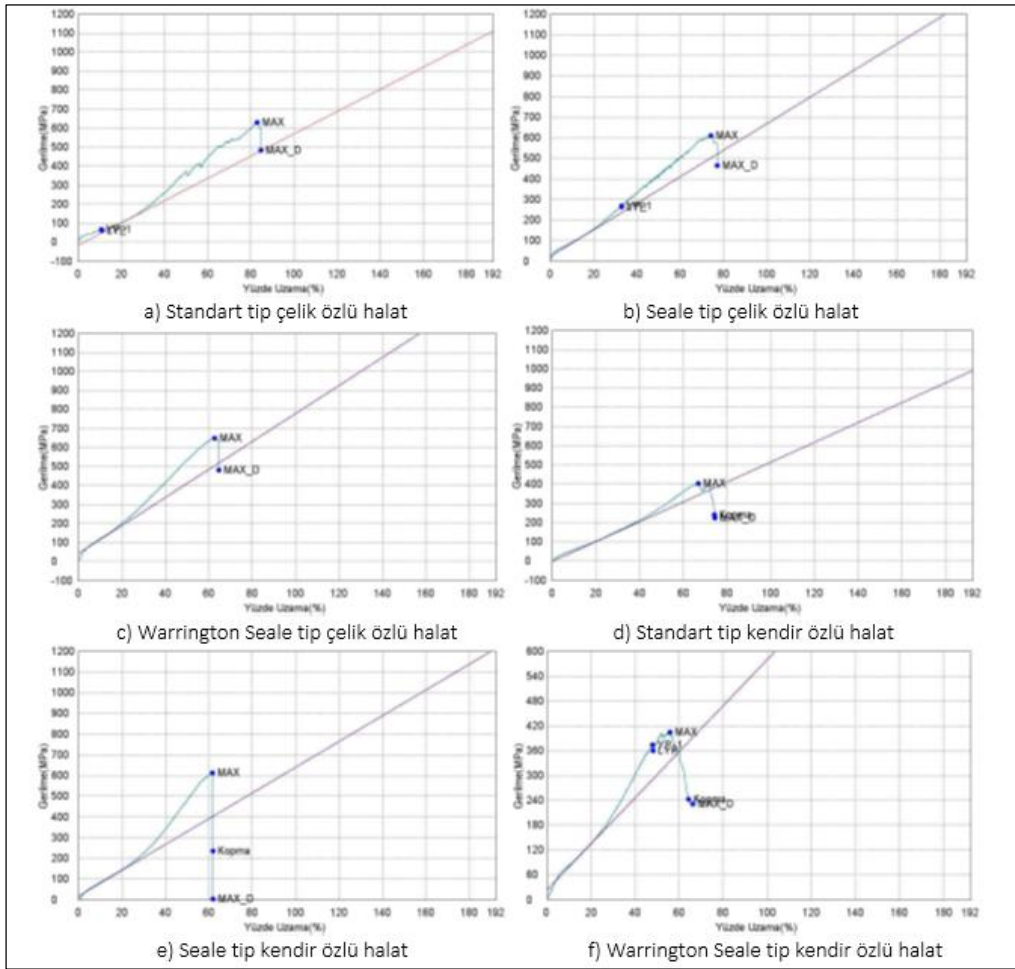
3. proses yaşlandırmaya tabi tutulan halatlara bir sonraki aşamada çekme testleri uygulanarak mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Şekil 10a'daki gibi tek kordonun kopmasıyla başlayan test süreci, kordonların tamamının dolayısıyla

halatın Şekil 10b'deki gibi kopmasıyla sonuçlanmıştır.

Halatların çekme testleri sonucu elde edilen Hooke diyagramları Şekil 11'de gösterilmiştir. Ayrıca akma gerilmesi, maksimum gerilme, maksimum uzama ve bunların standart sapma değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Halatların ilk durumdaki mukavemet değerleri ise kataloglardan elde edilmiş olup çelik ve kendir özlü grupların kendi içlerinde akma gerilmesi ve maksimum gerilme değerleri birbirine oldukça yakındır [25].



Şekil 10a. Çekme testinde tek bir kordonun kopması b. Halatın tamamının kopması



Şekil 11. Halatların deneyler sonucu elde edilen çekme diyagramları

Tablo 5. Halatların çekme deneyleri sonucu elde edilen mukavemet değerleri.

	σ_{AK} (MPa)	σ_{Max} (MPa)	Max Uzama (%)
<i>Standart-Çelik özlü</i>	378,215	630,471	82,863
<i>Seale-Çelik özlü</i>	367,416	609,172	77,107
<i>Warrington Seale-Çelik özlü</i>	484,334	649,627	62,657
<i>Standart-Kendir özlü</i>	234,567	403,329	66,907
<i>Seale-Kendir özlü</i>	373,019	613,821	61,750
<i>Warrington Seale-Kendir özlü</i>	349,574	404,154	55,842
<i>Standart sapma değerleri</i>	79,668	115,534	10,202

Tablo 4 ve Tablo 5 beraber değerlendirildiğinde halatların korozyon hızlarının ve korozyon dirençlerinin karşılaştırılması Tablo 6'daki gibi belirlenmiştir.

Tablo 6. Halatların korozyon hızlarının ve korozyon dirençlerinin karşılaştırılması (KH: Korozyon hızı, KD: Korozyon direnci, ST: Standart, S: Seale, WS: Warrington Seale).

<i>Kendir Özlü</i>	<i>Çelik Özlü</i>
KH _{ST} > KH _{WS} > KH _S	KH _S > KH _{ST} > KH _{WS}
KD _S > KD _{WS} > KD _{ST}	KD _{WS} > KD _{ST} > KD _S

4. Tartışma ve Sonuç

8 saat tuz sisi, 8 saat % 100 nem ve 8 saat kurutmadan oluşan 1. proses sonucunda halatlarda gözle görülür hasar meydana gelmiştir. Halatların maruz kaldığı yüksek korozyon sonucu halatlar kullanılamaz hale gelmiş olup bu proseste karşılaştırılabilir bir sonuç elde edilememiştir.

2. ve 3. proses sonrası yapılan kütle ölçümlerinde ise tüm halat tipleri nemi ve tuzu absorbe etmiş, bu nedenle kütlelerinde artışlar meydana gelmiştir. Standart ve Warrington Seale tipi halatların kendir özlü olanlarında kütle artışı çelik özlü halata oranla daha fazla iken Seale tipi halatlarda bu tam tersidir.

Bitkisel kendir çekirdeğin halat içindeki fazla nemi içine absorbe edip kütlesini çelik çekirdeğe kıyasla daha çok arttırması beklenen bir sonuçtur. Ancak Seale tipi halatta durum farklıdır. Halat tipleri seçilirken krenlerde en çok kullanılan çelik halatlar göz önünde

bulundurulmuştur. Bu nedenle seçilen Seale halat, diğerleri gibi 6 değil 8 kordondan oluşmaktadır. Ayrıca Seale tipi halatın Şekil 3'te görüldüğü gibi kordonlar arası iç boşluğu daha fazladır. Çelik halatlarda nem tutma kabiliyeti, halatın iki özelliğinden etkilenir. Birinci özellik, halat çekirdeğinin kendir veya çelik özlü olmasıdır. İkinci özellik ise, halattaki teller arası boşluktur. Seale tipi halatın aynı çaptaki diğer halatlara göre teller arası boşluğu daha fazladır. Kendir özlü halatta özün şişmesi ile bu boşluk ve dolayısıyla nem tutma kabiliyeti azalmaktadır. Sonuç olarak, ikinci özellik nem tutma kabiliyetinde daha baskın bir parametre olup ve bunların neticesinde çelik özlü Seale tipi halatın nem tutma kabiliyeti daha yüksek olmaktadır.

Her iki proses kendi içinde karşılaştırıldığında ise korozyona daha az maruz bırakılan 3. proseste halatların kütle artışında azalma görülmüştür.

3. proses yaşlandırma işlemi uygulanan halatlar mekanik olarak test edildiğinde elde edilen sonuçlar, kütle ölçümlerinden elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermiştir. Daha fazla nemi içinde absorbe edip kütlesi diğerlerine göre daha fazla artan halatın çekme testleri sonucu elde edilen mukavemet değerleri diğer halat tiplerininkine göre daha düşük çıkmıştır.

Sonuç olarak, kendir özlü olarak Standart tipi halatta, çelik özlü olanda da Seale tipi halatta korozyon hızı yüksek olup; korozyon direnci ise kendir özlü grupta Seale tipi halatın, çelik özlü gruptaysa Warrington Seale tipi halatın yüksektir.

Tüm bunlar değerlendirildiğinde, yoğun korozyonun olduğu ortamlarda, kren halatı eğer çelik özlü olarak seçilecekse Warrington Seale tipi halatın, kendiri özlü olacak ise de Seale tipi halatın seçilmesi daha uygun olacağı sonucu elde edilmiştir. Bu halatların aynı gruptaki diğer halatlara göre korozyon hızları daha düşük olup korozyon dirençleri yüksektir.

Kaynakça

- [1] Demirsoy, M. 1999. Transport Tekniği Kaldırma Makinaları. Cilt 1. Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 6-22.
- [2] Doruk, M. 2014. Metalik Malzemeler ve Korozyon. Korozyon Derneği Yayınları, Ankara, s. 3-5.
- [3] Deflorian, F., Rossi, S., Tancon, B. ve Bonora P. L. 2004. Corrosion Behaviour of Steel Ropes for Snow and Rockfall Barriers, Corrosion Engineering, Science and Technology, Cilt. 39, 3, s. 250-254. DOI: 10.1179/147842204X2853
- [4] Mallick, M., Mitra, S. K. ve Basak, D. 2014. Corrosion Behaviour of FLC Wire Ropes, International Journal of Science and Research, Cilt. 3, 8, s. 816-819.
- [5] Mekkassi, M., Tijani, A., Mouhib, N. ve El Ghorba, M. 2016. Experimental Study on Corrosion of Wire Rope Strands Under Sulfuric Acid Attack, The International Journal of Engineering and Science, Cilt. 5, 6, s. 40-45.
- [6] Mekkassi, M., Mouhib, N., Tijani, A. ve El Ghorba, M. 2015. Experimental Study of Wires Extracted from Steel Wire Rope and Exposed to Sulfuric Acid, International Journal of Mechanical Engineering, Cilt. 3, 11, s. 47-53.
- [7] Molnár, V., Fedorko, G., Krešák, J., Peterka, P. ve Fabianová, J. 2017. The Influence of Corrosion on The Life of Steel Ropes and Prediction of Their Decommissioning, Engineering Failure Analysis, Cilt. 74, s. 119-132. DOI:10.1016/j.engfailanal.2017.01.010
- [8] Songquan, W., Dekun, Z., Dagang, W. ve Zefeng Z. 2011. Electrochemical Corrosion Behavior of Steel Wires in a Coalmine with a Corrosive Medium, Mining Science and Technology (China), Cilt. 21, s. 71-76. DOI: 10.1016/j.mstc.2010.12.003
- [9] Kim, S. H., Ham, S. H. Ve Kwon, J. D. 2014. Bending Fatigue Characteristics of Corroded Wire Ropes, Journal of Mechanical Science and Technology, Cilt. 28, 7, s. 2853-2859. DOI: 10.1007/s12206-014-0639-8
- [10] Kurashov, D. A., Barsukov, V. K., Barsukov, E. V., Kadochnikov, N. P., Makarova, E. V., Svidovskii, F. G ve Gorbato, E. K. 2008. Effect of Various Lubricants on Corrosion Resistance of Steel Ropes and on The Resistance of Organic Cores to Biological Attack, Metallurgist, Cilt. 52, s. 111-115.
- [11] Gorbato, E. K. vd. 2007. Steel Rope with Longer Service Life and Improved Quality, Metallurgist, Cilt. 51, s. 279-283.
- [12] Peng, P. C., Wang, C. Y. 2015. Use of Gamma Rays in The Inspection of Steel Wire Ropes in Suspension Bridges, NDT&E International, Cilt. 75, s. 80-86. DOI: 10.1016/j.ndteint.2015.06.006
- [13] Loeve, A. J., Krijger, T., Mugge, W., Breedveld, P., Dodou, D. ve Dankelman, J. 2014. Static Friction of Stainless Steel Wire Rope-rubber Contacts, Wear, Cilt. 319, s. 27-37. DOI: 10.1016/j.wear.2014.07.005
- [14] Torkar, M., Arzensek, B. 2002. Failure of Crane Wire Rope, Engineering Failure Analysis, Cilt. 9, s. 227-233.
- [15] Kresak, J., Kropuch, S. ve Peterka, P. 2012. The Anchors of Steel Wire Ropes, Testing Methods and Their Results, Metalurgija, Cilt. 51, 4, s. 485-488.
- [16] Singh, V., Lloyd, G. M. ve Wang, M. L. (2004). Effects of temperature and corrosion thickness and composition on magnetic measurements of structural steel wires. NDT&E International, 37, 525-538.
- [17] Díaz, B., Freire, L., Nóvoa, X. R. ve Pérez, M. C. (2009). Electrochemical behaviour of high strength steel wires in the presence of chlorides. Electrochimica Acta, 54, 5190-5198.
- [18] Shih, C. C., Shih, C. M., Su, Y. Y. ve Lin, S. J. (2005). Galvanic current induced by heterogeneous structures on stainless steel wire. Corrosion Science, 47, 2199-2212.
- [19] McCafferty, E. (2005). Validation of corrosion rates measured by the Tafel extrapolation method. Corrosion Science, 47, 3202-3215.
- [20] Baoyu, Z., Xinge, G., Xiaohua, C., Wenzhi, Y., Ziming, C., Wei, H., Fujun, S. ve Honggang, S. (2016). Improvement of the corrosion resistance of steel wires by manufacturing continuous bulk metallic glass-coated steel wires. Rare Metal Materials and Engineering, 45, 11, 2818-2822.
- [21] El-Amoush, A. S. ve Al-Duheisat, S. A. (2018). Cathodic polarization behavior of the structural steel wires under different prestressing conditions. Journal of Materials Research and Technology, 7, 1, 1-6.
- [22] Gabe, D. R. (2005). The centenary of Tafel's equation. Transactions of The Institute of Metal Finishing, 83, 3, 121-124.
- [23] ASTM B117 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.
- [24] Karasu, H.F., Demirsoy, M. 2016. Yük Taşıma Halatlarının Korozyon Davranışlarının İncelenmesi. XIV. Uluslararası Korozyon Sempozyumu, 5-7 Ekim, Bayburt, s. 152-156.
- [25] <http://www.celsancelik.com/urun-kategorileri/ceлик-halatlar> (Erişim Tarihi: 01.08.2018).