

T.C.
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ

ÇELİK TEL HALATLARDA KOROZYONLU YORULMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Proje No: 436

Genel Araştırma Projesi

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof.Dr. C.Erdem İMRAK
Makina Fakültesi / Makina Mühendisliği Bölümü

Araştırmacı: Özlem SALMAN ÇİÇEK
Makina Fakültesi / Makina Mühendisliği Bölümü

Kasım 2020

İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	1
ABSTRACT	2
1. GİRİŞ	3
2. GENEL BİLGİLER	4
3. GEREÇ VE YÖNTEM	5
4. BULGULAR	7
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	11

TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1. Deney düzeneği	5
Şekil 2. Halatın deneye hazırlanması	6
Şekil 3. 6x36 Warrington Seale halatının yorulma ömrü değişimi	8
Şekil 4. 32 (W) x 7 dönme dirençli halatın BoS yorulma ömrünün değişimi	8
Şekil 5. 6 x 36 Warrington Seale halatın farklı çekme yükleri altında üç farklı korozyon seviyesinde BoS yorulma ömrü değişimi	9
Şekil 6. 6 x 36 Warrington Seale halatın 3 farklı korozyon seviyesinde ve farklı kasnak çapına göre BoS yorulma ömrünün değişimi	10
Tablo 1. Değişik halat komposizyondaki halatların test sonuçları	7
Tablo 2. 6 x 36 Warrington Seale halatta kasnak çapı ile halat çapı oranının etkisi	10

ÖZET

Çelik halat, tel halatın başlangıç durumuna göre toplam yorulma ömrü tahmin metodolojilerini incelemiştir. Uygulamanın büyük çoğunluğu, örn. vinçler ve asansörler halatı bükme yorgunluğuna maruz bırakmıştır. Bu çalışmada, tel halatın tam ömrünü belirlemek için, korozyon, önemli bir bozulma etkisi olarak deneysel olarak araştırılmıştır. Farklı korozyon seviyelerine sahip önceden korozyona uğramış tel halatlar için bükülme yorulma testleri yapılmış ve veriler referans test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimler : Halat, yorulma, korozyon.

ABSTRACT

Wire rope has examined fot the total fatigue life prediction methodologies based on the initial condition of the wire rope. The great majority of appplication e.g. cranes and lifts have been subjected the rope to bending fatigue. In this study, in order to determine the exact lifetime of wire rope, corrosion, as a major degradation influence has been investigated experimentally. Bending fatigue tests have been performed for pre-corroded wire ropes with different level of corrosion, and the data have been compared with the reference test results.

Keywords : Rope, fatigue, corrosion.

GİRİŞ

İ.T.Ü. BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen GENEL TEL HALATLARDA KOROZYONLU YORULMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELEMESİ başlıklı proje, araştırmacı Özlem Salman Çiçek'in ''MODELLING AND ANALYSIS CORROSION FATIGUE BEHAVIOUR OF STEEL WIRE ROPE'' başlıklı doktora tezin bir bölümünün desteklendiği çelik tel halatların korozyonlu yorulma davranışının deneysel olarak incelenmesi ve modellenmesi konusu hakkındadır.

Söz konusu deneysel çalışmalar, İ.T.Ü. laboratuvarlarında çelik tel halatların eğilme yorulmasının deneysel olarak yapılması mümkün olmaması, halatların deneysel çalışmaların için önerilen laboratuvar kurulması ve test makinası temini konusundaki proje tekliflerinin kabul görmemesi üzerine, Stuttgart Üniversitesi, Institüt für Fördertechnik und Logistik Bölümü, Laboratuvarında kurulu bulunan deney düzeneklerinin kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Doktora tez çalışmasının başarıyla tamamlanması için Stuttgart Üniversitesi, Institüt für Fördertechnik und Logistik Bölümü, Laboratuvarından hizmet alımı gerekmiş, İ.T.Ü. BAP Koordinasyon Birimi tarafından kabul edilerek, desteklenmeye layık görülen bu proje kapsamında, araştırmacının doktora tez çalışmalarını ana kaynağı olan çelik tel halatlar üzerinde deneysel çalışmalar başarıyla tamamlanmıştır.

Projenin başarıyla tamamlanmasından sonraki süreçte araştırmacı hazırladığı Doktora tez çalışması Enstitü tarafından kabul edilerek, doktora tez çalışması nihayet ermiş ve konuyla ilgili yayınlar yapılmıştır.

GENEL BİLGİLER

Tel halatlar; asansör, vinç, köprü, teleferik gibi sistemlerde maden işletmelerinde, denizcilikte yük kaldırma ve iletme elemanı olarak yaygın kullanılan ve dinamik yükler altında yüksek derecede zorlanan önemli elemanlardan biridir. Uygulama alanı çok geniş olan tel halatlarda, çalıştırılmaları esnasında belirli bir zaman aralığında meydana gelen mekanik yorulma ve bozulma olaylarına bağlı hasar mekanizmalarının oluşması ve ilerlemesi oldukça karmaşık bir konudur.

Tel halatların çalışmaları sırasında yorulmaya neden olacak genel olarak iki çeşit yükleme durumu mevcuttur. Bunlar; çekme-çekme yorulması ve makara üzerine sarılması nedeniyle oluşan eğilme (bending over sheave) yorulmasıdır. Çekme-çekme yorulması, değişken bir çekme yükünün varlığıyla tel halat üzerinde meydana gelen yorulmadır. Eğilme yorulması ise tel halatların büyük bir uygulama alanı bulduğu vinçler ve asansörlerde olduğu gibi statik bir çekme yüküne karşılık tel halatın makaralara sarılmasından (Bending over Sheave, BoS) dolayı meydana gelen dinamik tekrarlı eğilmenin oluşturduğu yorulmadır. Dinamik yüklere maruz tel halatlarda sonlu bir ömür ve farklı ortam ya da farklı çalıştırılma koşullarında ömür kısalması söz konusudur.

Yorulma konusunda günümüze kadar klasik silindirik deney numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda malzemenin yorulma ömrüne etki eden parametreler belirlenmiştir. Ancak korozyonlu yorulma konusunda klasik silindirik deney numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre belirlenmiş olan bu parametrelerin bazılarının etkisinin farklı yönde olduğu gözlemlenmiştir. Litreratürde klasik silindirik deney numuneleri kullanılarak yapılmış yorulma ve korozyonlu yorulma deneylerine sıklıkla rastlanmaktadır. Buna göre normal yorulma deneylerinde etkin parametrelerin, korozyonlu yorulma deneyleri sonuçlarına göre aynı oranda etkin olmadığı söylenebilir.

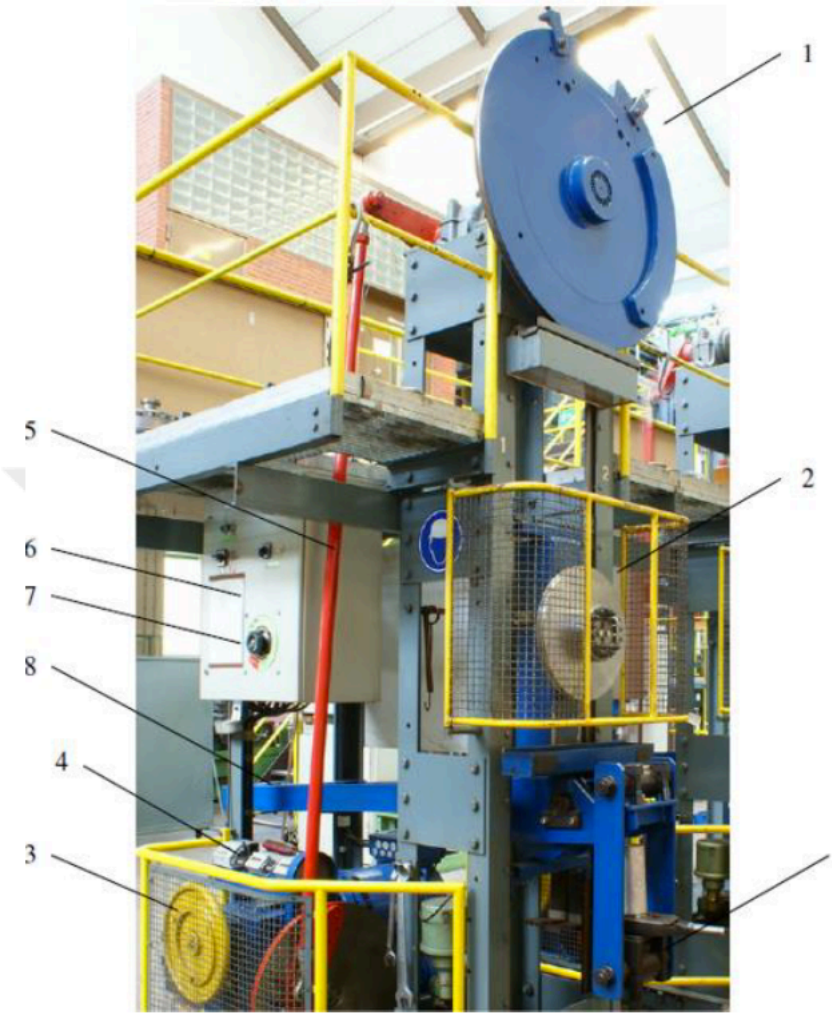
Tel halatlarda ise yapı klasik deney numunelerinden çok daha karmaşıktır. Bu nedenle gerek yorulma deneylerinin gerekse korozyonlu yorulma deneylerinin neticeleri doğrultusunda tel halatların ömrüne etki eden parametreleri yorumlamak oldukça karmaşık bir konudur. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ömrü bilinen bir halatın, çalıştırıldığı ortama göre, beklendiğinden çok daha kısa sürede ömrünü tamamladığına dair sonuçların var olduğu görülmüştür. Bu durum emniyetli ve ekonomik çalışma koşulları bakımından incelenmeye değer bir konudur.

Kullanım yerlerine göre çelik tel halatlar, makaralar üzerinde sarılarak çalışmaları nedeniyle eğilme yorulmasına maruz kalmaktadır. Literatürde tel halatlarda eğilme yorulması ile ilgili pek çok çalışma bulunmasına karşın, tel halatların çalışma koşulları gereği kaçınılmaz olan korozyonun halat yorulma ömrüne etkisinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Korozyonlu yorulma konusunda yapılmış olan çalışmalar ise genellikle klasik silindirik deney numuneleri üzerinde çalışılmış ve hasar mekanizmaları incelenmiştir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu proje konusu, araştırmacının ‘’MODELLING AND ANALYSIS CORROSION FATIGUE BEHAVIOUR OF STEEL WIRE ROPE’’ başlıklı doktora tez çalışması kapsamında incelenecek eğilme yorulması ve tel halatların korozyonlu yorulma davranışının deneysel olarak incelenmesi kapsamında yürütülmüştür.

Genel olarak çalışmanın özünü tel halatların eğilme yorulmasının deneysel olarak incelenmesi oluşturmakta olup, söz konusu deneysel çalışmanın İ.T.Ü. Makina Fakültesi’ndeki laboratuvar imkanlarının yetersiz olduğundan Stuttgart Üniversitesi, Institüt für Fördertechnik und Logistik Bölümü, Laboratuvarında kullanılmak üzere; Hizmetin *(ilgili labaratuar da yer alan halat eğilme makinasının deneysel çalışmalar için kullanımı)* alımı / yaptırılmasına ihtiyaç ortaya çıkmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneği

Klasik silindirik deney numuneleri kullanılarak yapılan yorulma veya korozyonlu yorulma deneyleri ile çelik tel halat numuneleri kullanılarak yapılan yorulma deneylerini birbirinden ayırmak gerekir. Klasik deney numuneleri ile yapılan yorulma deneylerine göre çatlak çekirdeklenmesinin genellikle parça yüzeyinden başladığı bilinmektedir. Ancak çeşitli şekillerde örülerek veya bükülerek bir araya getirilmiş çok sayıda telin teşkil ettiği halatlarda tek bir yüzey varlığından söz edilemez. İç tellerin birbiri ile teması nedeniyle oluşan kazınmalı aşınma bölgesi de çatlak çekirdeklenmesine sebep olabilir. Bu nedenle tel halatlarda çatlak çekirdeklenmesinin daima dış yüzey bölgesinde oluşabileceğini söylemek doğru bir yaklaşım olmaz. Dolayısıyla hasar mekanizmaları açısından da, klasik deney numuneleri ile tel halatlar arasında önemli farklar olduğu görülmektedir. Bu nedenle klasik silindirik deney numuneleri ile yapılan korozyonlu yorulma deneylerinin neticelerini kullanarak tel halatlarda benzer kabuller ile yaklaşım yapmak doğru değildir.



Şekil 2. Halatın deneye hazırlanması

Çalışma koşulları gereği korozyona maruz kalan tel halatlarda eğilme yorulmasında etkin parametrelerin belirlenmesi ile halat ömrünün daha doğru tespit edilebilmesi mümkün olacaktır. Bu durum hem halat imalatçıları açısından hem de çalışma güvenliği ve standart bir muayene metodunun tespit edilebilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Bu proje çalışmasında, halat eğilme yorulma ömrüne korozyonun etkisini inceleyebimek için halat numuneleri %5 tuz, %95 su bulunan ortamda belirli sürelerde tutulmuştur. Ön korozyon oluşturma aşaması sonucunda 6 x 36 Warrington-Seale halatların 32 (W) x 7 dönme dirençli halatlara göre korozif ortamdan daha hızlı etkilendiği görülmüştür. 32 (W) x 7 dönme dirençli halat konstrüksiyonu teşkil edilirken teller üst üste sarıldığı için korozyonun iç tellere ulaşması için daha fazla zamana ihtiyaç duyulmuştur. Böylelikle aynı ortam koşullarında tutulan iki farklı konstrüksiyona sahip halatın korozyondan etkilenme seviyeleri incelenmiştir. Ön korozyonlu çelik tel halatların yorulma ömrünün kıyaslanabilmesi için her iki halat konstrüksiyonu da aynı korozyon hücresinde belirli sürelerce bekletilmiştir. Ayrıca her iki halat türü için aynı çekme yükü ve aynı makara çapı seçilmiştir.

Buna ek olarak, diğer tüm parametler sabit tutularak, 17.0 kN ve 11.7 kN olmak üzere iki farklı çekme yükü uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Böylece çekme yükü değişimi ve korozyon seviyesinin birleşik etkisi araştırılmıştır.

Halat eğilme yorulma ömrü üzerinde bir başka etken parametre ise test makarasının çapıdır. Test makarasının çapındaki değişimin korozyonlu numuneler üzerindeki etkisini incelemek için 250 mm ve 170 mm olmak üzere iki farklı çapta makara kullanılmıştır. Her bir korozyon seviyesi, halat konstrüksiyonu ve çekme yükü için deneyler tekrar edilmiştir.

BULGULAR

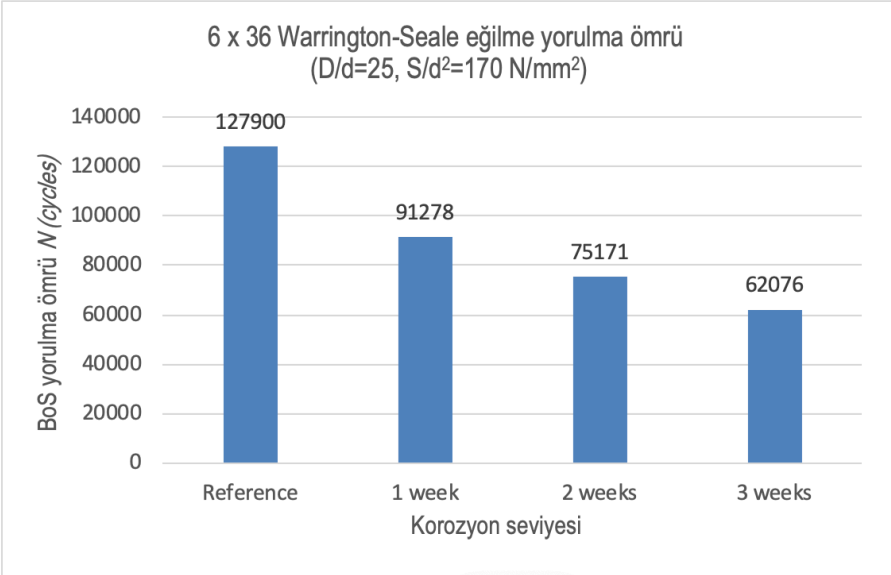
Farklı kompozisyondaki çelik tel halatlar eğilme yorulması test cihazında halat çapının makara çapına oranı 25 olan ve mukavemeti 170 N/mm2 olan halatlar farklı korozyon seviyelerinde teste tabi tutulmuş ve Tablo 1'de görülen neticeler elde edilmiştir.

Tablo 1. Değişik halat kompozisyonundaki halatların test sonuçları (D/d=25, S/d^2=170N/mm^2).

Test No	Halat yapısı	Korozyon seviyesi	Yorulma ömrüne etkiyen değer (N)	Yorulma ömründeki azalma %
Test 1	6 x 36 WS	Referans testi	127900	-
Test 2	6 x 36 WS	1 hafta	91278	28,64%
Test 3	6 x 36 WS	2 hafta	75171	41,23%
Test 4	6 x 36 WS	3 hafta	62076	51,46%
Test 5	32 (W)x7	Referans testi	33140	-
Test 6	32 (W)x7	1 hafta	31920	-
Test 7	32 (W)x7	2 hafta	33368	
Test 8	32 (W)x7	3 hafta	34628	-
Test 9	32 (W)x7	4 hafta	32258	-
Test 10	32 (W)x7	5 hafta	33464	-
Test 11	32 (W)x7	6 hafta	32156	-
Test 12	32 (W)x7	7 hafta	30465	-
Test 13	32 (W)x7	8 hafta	23852	28,02%
Test 14	32 (W)x7	9 hafta	17852	46,13%
Test 15	32 (W)x7	10 hafta	12476	62,35%
Test 16	32 (W)x7	11 hafta	9328	71,85%
Test 17	32 (W)x7	12 hafta	4498	86,40%

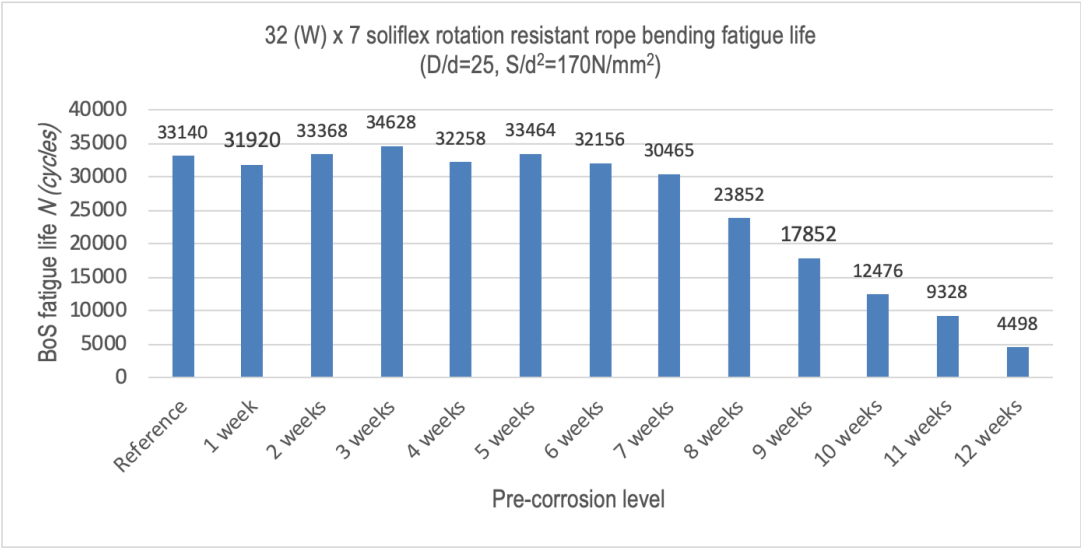
Eğilme testleri 17,0 kN çekme yükü ve 250 mm çapında makara ile yapılmıştır. Her iki halat 10 mm çapındadır.

6 x 36 Warrington-Seale tipi halatın farklı korozyon seviyelerindeki makara üzerinde eğilme (BoS) yorulma ömrü Şekil 3'de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



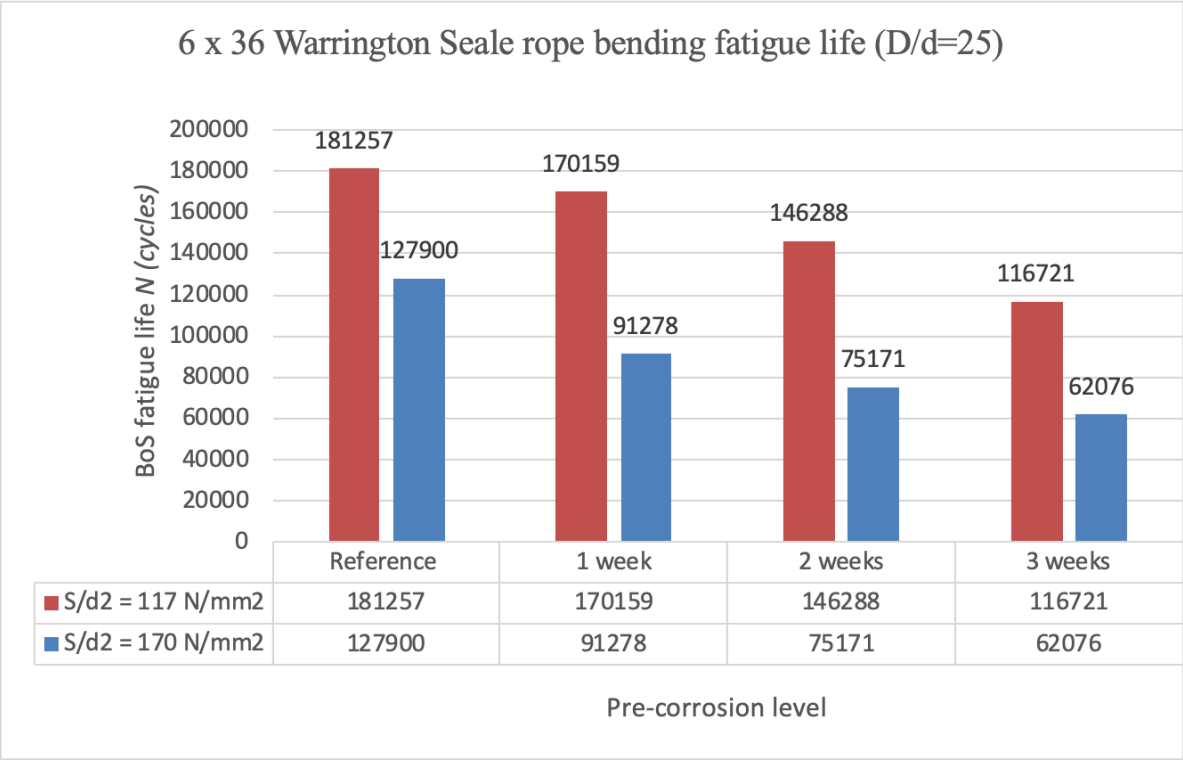
Şekil 3. 6x36 Warrington Seale halatının yorulma ömrü değişimi

Bununla birlikte 32 (W) x 7 soliflex dönme dirençli halat için penetrasyon süresi daha uzundur ve test sonuçlarına göre S / d2 = 170N / mm2 ve çap oranı D / d = 25'e göre halat numunesi 34140 döngüden sonra kopmuştur. Ancak, korozyonun 8 haftaya kadar etkisi önemli değildi. Sekiz hafta sonra, dikkate değer bir etki gözlemlenmeye başlanır. 32 (W) x 7 soliflex rotasyona dirençli halat numunesi sekiz, dokuz, on, on bir ve on iki hafta tuzlu su solüsyonunda tutulursa, BoS yorulma ömrü sırasıyla % 28.02, % 46,13,% 62,35, %71, % 85 ve % 86.4 olarak elde edilir (Şekil 4).



Şekil 4. 32 (W) x 7 dönme dirençli halatın BoS yorulma ömrünün değişimi

Spesifik çekme yükü 170 N / mm2'den 117 N / mm2'ye düştüğünde 6 x 36 WS halatının yorulma ömrü% 41 artar. Literatürdeki birçok çalışma, tel halatın ömrü ile çekme yükü arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur (Feyrer, 2007; Onur ve Imrak, 2012). Bununla birlikte, korozyon ve çekme yükünün kombine etkilerini anlamak için Şekil 5'de detaylı olarak incelenmelidir. Bu çizelgede yatay eksen korozyon seviyesini gösterir ve dikey eksen bükülme ömrü döngülerini gösterir. Kırmızı sütunlar halatın 11,7 kN çekme yükü altındaki yaşam döngülerini, mavi sütunlar 17,0 kN çekme yükü için yaşam döngülerini ifade eder (Şekil 5).



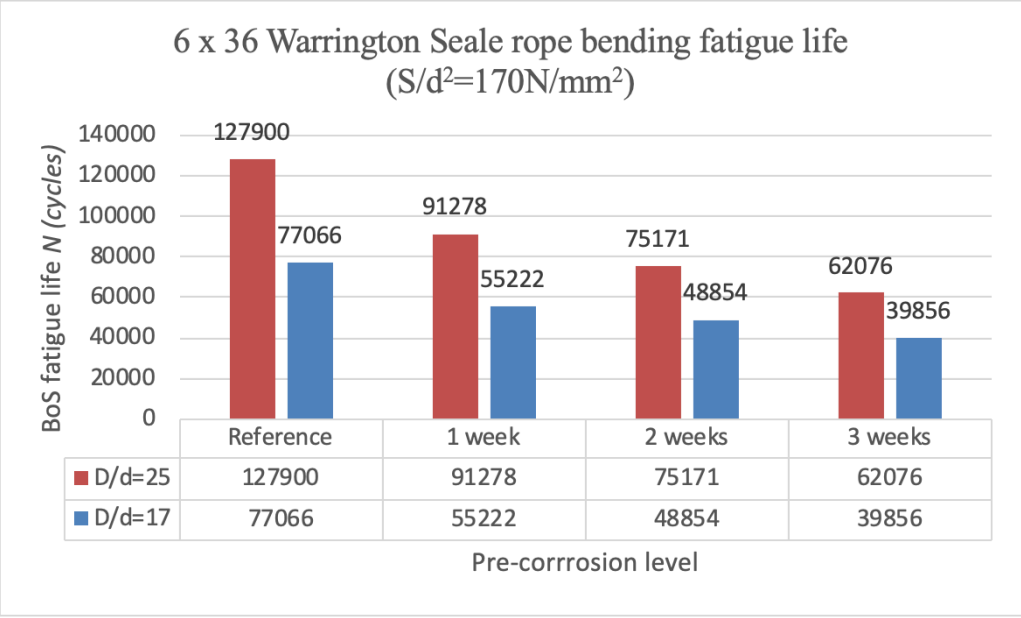
Şekil 5. 6 x 36 Warrington Seale halatın farklı çekme yükleri altında üç farklı korozyon seviyesinde BoS yorulma ömrü değişimi

Kasnak çapının etkisini incelemek için eğilme yorulma testlerinde iki farklı kasnak kullanılmıştır. Bunlardan biri 250 mm, diğeri 170 mm çapındadır. Bu, çap oranı D / d 25 ve 17 anlamına gelir. Tablo 2, 17.0 kN çekme yükü ile 6 x 36 Warrington Seale tel halatına uygulanan test sonuçlarını gösterir.

Tablo 2. 6 x 36 Warrington Seale halatta kasnak çapı ile halat çapı oranının etkisi

Test No	Şekme yükü S/d² (N/mm²)	Çap oranı (D/d)	Korozyon seviyesi	Yorulma ömrü değeri (N)	Yoruma ömründeki azalma %
Test 1	170	25	Referans test	127900	
Test 2	170	25	1 hafta	91278	28.64 %
Test 3	170	25	2 hafta	75171	41.23 %
Test 4	170	25	3 hafta	62076	51.46 %
Test 22	170	17	Referans test	77066	
Test 23	170	17	1 hafta	55222	28.34%
Test 24	170	17	2 hafta	48854	36.6 %
Test 25	170	17	3 hafta	39856	48.2 %

Bu numune için, kasnak çapının 250 mm'den 170 mm'ye düştüğünde, 6 x 36 Warrington Seale halatının bükülme ömrünün beklendiği gibi% 39,7 oranında azaldığı görülmektedir (Feyrer, 2007). Ancak bu çalışmada kasnak çapının ve korozyonun kombine etkisi incelenmiştir. Şekil 6'da yatay eksen korozyon seviyesini belirtir ve dikey eksen bükülme ömrü döngülerini gösterir. Kırmızı sütunlar, çapı 250 mm olan kasnağa sahip halatın yaşam döngülerini belirtirken, mavi sütunlar, çapı 170 mm olan kasnak için yaşam döngülerini ifade eder. Korozyon hücresinde bir, iki, üç hafta bekletilen 6 x 36 Warrington-Seale halat numunesi, S / d2 = 170 N / mm2 ve çap oranı D / d = 25 ile test edildiğinde, eğilme yorgunluğu ömrü 28 azalır. Sırasıyla%,% 41,% 51. Öte yandan, kasnak çapı 250 mm'den 170 mm'ye düştüğünde, diğer tüm parametreler aynı iken, eğilme yorgunluğu ömrü sırasıyla % 28,3,% 36,6 ve % 48,2 azalmaktadır.



Şekil 6. 6 x 36 Warrington Seale halatın 3 farklı korozyon seviyesinde ve farklı kasnak çapına göre BoS yorulma ömrünün değişimi

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmanın amacı, önceden var olan korozyon hasarına sahip malzemeler için toplam yorulma ömrü tahmin metodolojisinin uygulanabilirliğini değerlendirmekti.

Deney sonuçları, belirtilen halat konstrüksiyonları, çekme yükü ve çap oranı için geçerlidir. Hizmette bulunan çeşitli tel halat türleri vardır ve bunların çoğu atmosferik etkilere maruz kalır, bu da korozyona neden olur ve tel halatın ömrünü kısaltır. Bu nedenle, bu çalışma farklı halat türlerine genişletilmelidir.

Projenin öneri aşamasında yer alan hedeflere tamamen ulaşılmış, planlanan deneysel çalışmalar, Stuttgart Üniversitesi, Institüt für Fördertechnik und Logistik Bölümü, Laboratuvarında başarıyla icra edilmiş, gerekli deneysel veriler toplanarak, değerlendirilmiş ve proje başarıyla sonuçlandırılmıştır.

Çelik tel halatların eğilme yorulmasının deneysel olarak incelenmesi konusunda ileriki çalışmaların yapılabilmesi için, İ.T.Ü. bünyesinde Stuttgart Üniversitesi, Institüt für Fördertechnik und Logistik Bölümü, Laboratuvarı benzeri bir halat laboratuvarının kurulmasının desteklenmesi, hem akademik hem de ticari kuruluşların talebiyel oluşacak halatlar üzerindeki deneysel çalışmalarda yürütülebilmesi için hasarın takip edilebilmesi için NDT cihazları, sürtünmeden ortaya çıkan ısıl gerilmelerin incelenmesi için termal kameralar ile deformasyonların takibine imkan veren kamera sistemlerinin deney düzeneğine ilave edilerek bu etkilerin incelenmesi düşünülmelidir.

Gelecekteki çalışmaların, korozyon seviyesi ile tel halat yapımı arasındaki ilişkinin tanımına odaklanılması gerekmektedir. Daha doğru sonuçlar için, gelecekteki çalışmaların aynı anda korozyon ve yorulma etkilerini incelemeye izin veren yeni deneysel kurulumla yapılması gerekiyor.

REFERANSLAR

Feyrer, K. (2007). *Wire ropes: tension, endurance, reliability.* Springer Berlin Heidelberg New York.

Onur, Y. A., & Imrak, C. E. (2012). Experimental and theoretical investigation of bending over sheave fatigue life of stranded steel rope. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*(19), 189-195.

Onur, Y. A., & Imrak, C. E. (2013). Experimental determination of degradation influence on bending over sheave fatigue life of steel wire rope. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*(20), 14-20.