



Farklı Hasarlara Maruz Bırakılan 6x19 Standart Çelik Tel Halatın Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin Deneysel İncelenmesi

Experimental Investigation of Variations of Mechanical Properties of 6x19 Standard Steel Wire Rope Subjected to Different Damages

Osman Aycan , Yusuf Aytaç Onur*

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Asansörlerde kullanılan çelik tel halatlar, zaman içerisinde işletme koşullarına bağlı olarak farklı hasar türlerine, farklı derecelerde maruz kalırlar. Bu çalışmada, hasar görmüş halat numunelerinin aksenal kaldırma kapasitelerindeki değişimler incelenmiştir. Asansör halatlarını servis dışına bırakma kriterleri göz önüne alınarak, laboratuvar ortamında halat numunelerine 3 farklı hasar verilmiştir. Halat numunelerine çekme testleri yapılarak, halatların çekme mukavemetlerindeki düşüş miktarları tespit edilmiştir. Bu çalışmada, asansör sistemleri için de uygun olan 6x19 Standart bağımsız tel halat özlü tel halat kullanılmıştır. Elde edilen veriler, asansörler için halat seçimi, halatların periyodik bakımı ve gerekirse halatları servis dışı bırakma gibi konularda yardımcı olacak deneysel sonuçlara dayalı bir kaynak oluşturmuştur. İncelenen halat için en kritik hasar tipi, 16 saat süresince korozyona maruz kalma olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asansör halatları, Çekme dayanımı, Çelik tel halat, Servis dışı bırakma kriterleri

Abstract

Steel wire ropes in elevators are subjected to different damage types having different extents depending on operating conditions. In this study, variations in axial lifting capacities of damaged samples have been investigated. Three different damages have been created on the rope specimens at laboratory environment by considering discard criteria of elevator ropes. The tensile strength loss amounts of damaged rope samples have been determined by conducting tensile tests. In this study, 6x19 Standard steel wire rope with independent wire rope core (IWRC) which is also appropriate for elevator systems has been used. The obtained data have formed a source based on experimental results helping about to select rope, the periodic maintenance of ropes and the discard criteria for elevators. The most critical failure type has been found as 16h corrosion for rope investigated.

Keywords: Elevator ropes, Tensile strength, Steel wire rope, Discard criteria

1. Giriş

Aynı çaplarda veya farklı çaplardaki çelik teller belirli bir konstrüksiyonda helisel olarak sarılarak demetleri oluştururlar. Bu demetler de çelik veya lif bir özün etrafında yine helisel bir biçimde sarılarak çelik tel halatları meydana getirirler. Çelik tel halatlar birçok uygulama ve işletme alanlarında karşımıza çıkmaktadır. Madencilik ve denizcilik sektörlerinde, telesiyej sistemlerinde, vinçlerde ve asansörlerde olmak üzere daha birçok yerde çelik tel halatların kullanıldığını görebiliriz. Asansörler, temel olarak

düşey doğrultuda insan ve yük taşımaya yarayan sistemlerdir. Bu sistemlerin en önemli elemanı da çelik tel halatlardır.

Asansör sistemlerinde farklı konstrüksiyona sahip çelik tel halatlar kullanılmaktadır. İşletme koşullarına ve zamana bağlı olarak çelik tel halatlar üzerinde bir süre sonra bazı deformasyonlar gözlemlenebilir. Halatın tambura temas ettiği yüzeyde sürtünmeye bağlı olarak abrasif aşınma meydana gelir. Bu da, halatın nominal çapında azalmaya ve bunun sonucunda da halatın metalik kesit alanının düşmesine neden olur. Asansör işletmelerinde, çevre koşullarına bağlı olarak zamanla halatların kimyasal yapısında değişimler meydana gelerek, korozyon meydana gelir. Korozyon şiddetine bağlı olarak halatların mukavemetinde de değişimler olur. Ayrıca halatın tambur üzerinde bükülmesi ve aksenal yüklerle maruz kalması halatın zaman içinde yorulmasına neden

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: aytaconur@beun.edu.tr

Osman Aycan orcid.org/0000-0002-4122-0486

Yusuf Aytaç Onur orcid.org/0000-0001-7522-8411

olurken, belirli kuvvet altında helisel sarılmış olan tellerin birbirlerine sürtünmesi de tellerde aşınmaya neden olur. Yorulmaya ve aşınmaya bağlı olarak, asansör sistemlerinde kullanılan halatlarda tel kırıkları oluşur.

Geçmişten günümüze, çelik tel halatlar ile ilgili çok sayıda araştırmalar ve çalışmalar yapılmıştır. Bir tel halatın hasar analizinin yapılması sonucunda, aşırı yüklenme ve yorulmadan kaynaklı hasar meydana geldiği ve bu nedenle halat tellerinde kopmalar gözlenmiştir. Bu sonuca, 8,5 mm çapında çelik özlü halatın çekme testleri yapılmasıyla ulaşılmıştır ve kopmanın olduğu bölgelerde metalografik araştırma ve kimyasal analiz yapılmıştır (Balan 2002). Teleferikte kullanılan ve zamanla bozulmalar meydana gelmiş 6x19 Seale tipi halatın tahribatsız muayene teknikleri ile halatın durum değerlendirilmesi yapılmıştır (Basak vd. 2009, Kashyap vd. 2005). Periyodik bir şekilde eğilmeye maruz kalan halat demetlerindeki teller arasında aşınmayı analiz etmek için bir çözüm modeli kurulmuştur ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Maksimum aşınmanın, demetlerin kıvrılma merkezinden en uzak noktada gerçekleştiği tespit edilmiştir (Chen vd. 2016). Ayrıca elektron mikroskobu kullanılarak bu halatların analizi de yapılmıştır (Urchegui vd. 2007). Abrasif aşınmanın çelik tel halatların çekme gerilmesine etkisi incelenmiştir. Çalışmada 10 mm çapında çelik özlü tel halat kullanılmıştır. Halatta abrasif aşınma sonucu çapında meydana gelen düşüşün çekme gerilmesine olan etkisi ve bu etkinin negatif yönde olduğu görülmüştür (de Silva ve Wong 2002). Warrington-Seale halatın elastoplastik davranışı hem deneysel hem de sonlu elemanlar modeli ile incelenmiştir. Bu çalışmada, bağımsız özlü halatın, demetin ve tellerin gerilmesine bağlı uzama oranları grafikler şeklinde çıkartılmıştır (Fontanari vd. 2015). Eksenel ve eğilme yüküne maruz kalan bir tel halatın işletme ömrü tahmini de yapılmıştır. Gerilme büyüklüğü ve test açısına bağlı olarak hasar döngüleri incelenmiştir. Bu sayede işletme ömrü ile ilgili tahminlerde bulunulmuştur (Giglio ve Manes 2005). 6x19 çelik özlü tel halat için bir geometrik model kurulmuştur. ANSYS yazılımı kullanılarak, eksenel kuvvetler halat üzerinde modellenmiştir. Tasarlanan deformasyonların hesabı için sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Daha sonra da halat numunelerinin çekme testleri de yapılarak, deneysel sonuçlar ve simülasyon verileri karşılaştırılmıştır (Jun vd. 2008). Kafes iletim kulesinde 50 yıl boyunca kullanılan çelik tel halat (Krishnadev vd. 2010) ile bir maden ocağında kullanılmış olan tel halat (Schrems 1996, Singh vd. 2016) yenisiyle değiştirildikten sonra laboratuvar ortamında hasar analizi yapılmıştır. Halata mekanik ve metalografik

testler uygulanmıştır. Halatta zaman içinde meydana gelen hasarlar ve bu hasarların halatın mukavemetine etkileri incelenmiştir. 19x7 tipinde çelik özlü halat 4 farklı zaman süresince %30 luk H_2SO_4 (sülfirik asit) çözeltisi içerisinde bekletilmiştir. Bu şekilde halatta meydana gelen hızlandırılmış ve yapay korozif deformasyonun, halatın çekme dayanımını nasıl etkilediği incelenmiştir (Meknassi vd. 2016). Bir diğer çalışmada da, halat numuneleri doğal ortamda 100 ila 500 gün arasında bırakılarak korozyona maruz bırakılmıştır. Bunun sonucunda yapılan testlerle korozyonun etkisi incelenmiştir ve servis dışına bırakma süresi ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır (Molnar vd. 2017). Yük kaldırma amaçlı kullanılan bir çelik tel halatın hasar analizi yapılmıştır. Bu deneyde kullanılan çelik özlü tel halatta, gerilmeye bağlı olarak etkilenen ve hasara uğrayan tel sayıları incelenmiştir (Peterka vd. 2014). Abrasif aşınmaya maruz halatlarda yorulmaya bağlı kırılmanın araştırılması ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, tel çapı 1 mm olan galvanizli standart bir tel halat kullanılmıştır. Deney sonucunda yükün artmasına bağlı olarak aşınma derinliğinin de arttığı ve bunun da doğal bir sonucu olan yorulmaya bağlı kırılmaların görüldüğü tespit edilmiştir (Zhang vd. 2003).

Bu çalışmada, asansör sistemlerinde kullanılan halatlarda meydana gelebilecek hasarların, halatın çekme yüküne etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Asansörlerde de kullanılan halat tiplerinden biri olan 6x19 Standart Çelik Özlü tel halat kullanılmıştır. Asansörler için çelik tel halatlar isimli ISO 4344 uluslararası standardında belirtilen servis dışına bırakma kriterleri göz önünde bulundurularak, halat numuneleri üzerinde laboratuvar ortamında, yapay kusurlar oluşturulmuştur. Daha sonra bu numunelerin çekme testleri gerçekleştirilerek, her bir hasar kriterinin halatın çekme yüküne etkileri incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, daha güvenli işletme şartlarını sağlayabilme adına bir referans oluşturmuştur.

2. Gereç ve Yöntem

6 demetten oluşan ve her bir demetinde eşit çaplı 19 tel bulunan, standart tipi, bağımsız tel halat özlü tel halat (6x19 Standart halat) kullanılmıştır. Kullanılan halatın kesit görünüşü ve teknik özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Halat numunelerinin her biri 300 mm serbest uzunluğa sahip olacak şekilde, döküm başları için ayrılan pay da dahil toplam 430 mm uzunluğunda kesilmiştir (TS270'e uygun). İstenilen uzunlukta kesilen numuneler, döküm başlarına hazırlık için her iki uç noktasından 65'er mm aşağıya kadar tek tek tellerine ayrılmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan halatın kesit görünüşü ve teknik özellikleri.

	Çap	6 mm
	Tasarım	1x7 + 6x7 + 6x19
	Sarım yönü	Sağ sarım
	Birim ağırlık	0,137 kg/m
	Tel anma mukavemeti	1770 N/mm ²

Çizelge 2. Beyaz metal alaşımının bileşimi.

Kalay	%5±0,25
Antimon	%15±0,50
Çinko	bulunmayacak
Toplam Safsızlıklar	%0,20 max
Kurşun	kalanı

Uç noktaları tellerine ayrılan halatın bu kısımlarının, yağdan ve kirden arındırılması için benzin kullanılarak temizleme işlemi yapılmıştır. Çelik tel halat numunelerinin çekme testleri yapılırken, çekme cihazı çenelerinin numuneleri düzgün bir şekilde kavrayarak, doğru sonuçlar verebilmesi için, halatın uç noktalarına beyaz metal alaşımı ile döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Halat numunelerinin çekme cihazı çenelerine bağlanabilmesi için Çizelge 2’de bileşimi verilen beyaz metal alaşımı kullanılarak halat numunelerinin her iki ucuna döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Halatın uç noktalarına yapılan döküm işleminin ardından, halat numunelerine, laboratuvar ortamında, uluslararası standartta işaret edilen farklı yapay kusurlar verilmiştir (ISO4344’e uygun). Eksenel gerilmeye ve yorulmaya bağlı olarak halat tellerinde meydana gelebilen tel kırıklıkları, kesici aletler yardımıyla, halatın tam ortasından 6xd mesafede (d, halat anma çapı), numuneler üzerinde oluşturulmuştur. Tel kırıklarının sayısı ve dağılımı için ISO 4344 standardında belirtilen servis dışı bırakma kriterleri göz önüne alınmıştır.

Asansör sistemlerinde kullanılan çelik tel halatlar üzerinde, işletme sırasında, tambura temas ettiği bölgede sürtünme meydana gelir. Bu sürtünmenin etkisiyle hem halat numunelerinde hem de tamburlarda aşınmalar meydana gelebilir. Asansör sistemlerinde ki en hayati elemanın kabinleri taşıyan halatlar olduğunu göz önüne alındığında, halatta meydana gelen aşınmanın ne kadar önemli bir deformasyon olduğu anlaşılabilir. Bu nedenle çelik tel halatların metalik kesit alanında azalmaya da neden olan aşınma hasarı, halatın tam ortasında olacak şekilde 100 mm boyunda ve 0,1 mm derinliğinde oluşturulmuştur.

Bir işletmenin ortam şartlarından dolayı, çelik tel halatlar zaman içinde korozif aşınmaya maruz kalabilir. Korozyon, halatların kimyasal yapısında değişimlere ve de bu değişimlerin neticesinde halat mukavemetinde düşümlere neden olur. Korozyona uğramış halatın mekanik özelliklerinde ki değişimi inceleyebilmek için, korozif etkiyi hızlandıran ağırlıkça %30’luk H₂ SO₄ (sülfürik asit) çözeltisi kullanılmıştır. Halat numunelerinin 100 mm lik kısımları 8 ve 16 saat süreyle asidik çözelti içinde bekletilmesi sonucu, hızlı bir şekilde korozyona uğramış halat numuneleri elde edilmiştir.

Farklı tipte ve mertebede hasarlar verilen tel halat numuneleri, 100 kN kapasiteli bir elektro-mekanik çekme cihazı kullanılarak, çekme testlerine tabi tutulmuştur. Hem hasarsız numunelerin hem de farklı türde ve farklı mertebede hasara uğratılmış numunelerin kalıntı çekme yükleri, gerilme değerleri ve yüzde uzamaları karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular

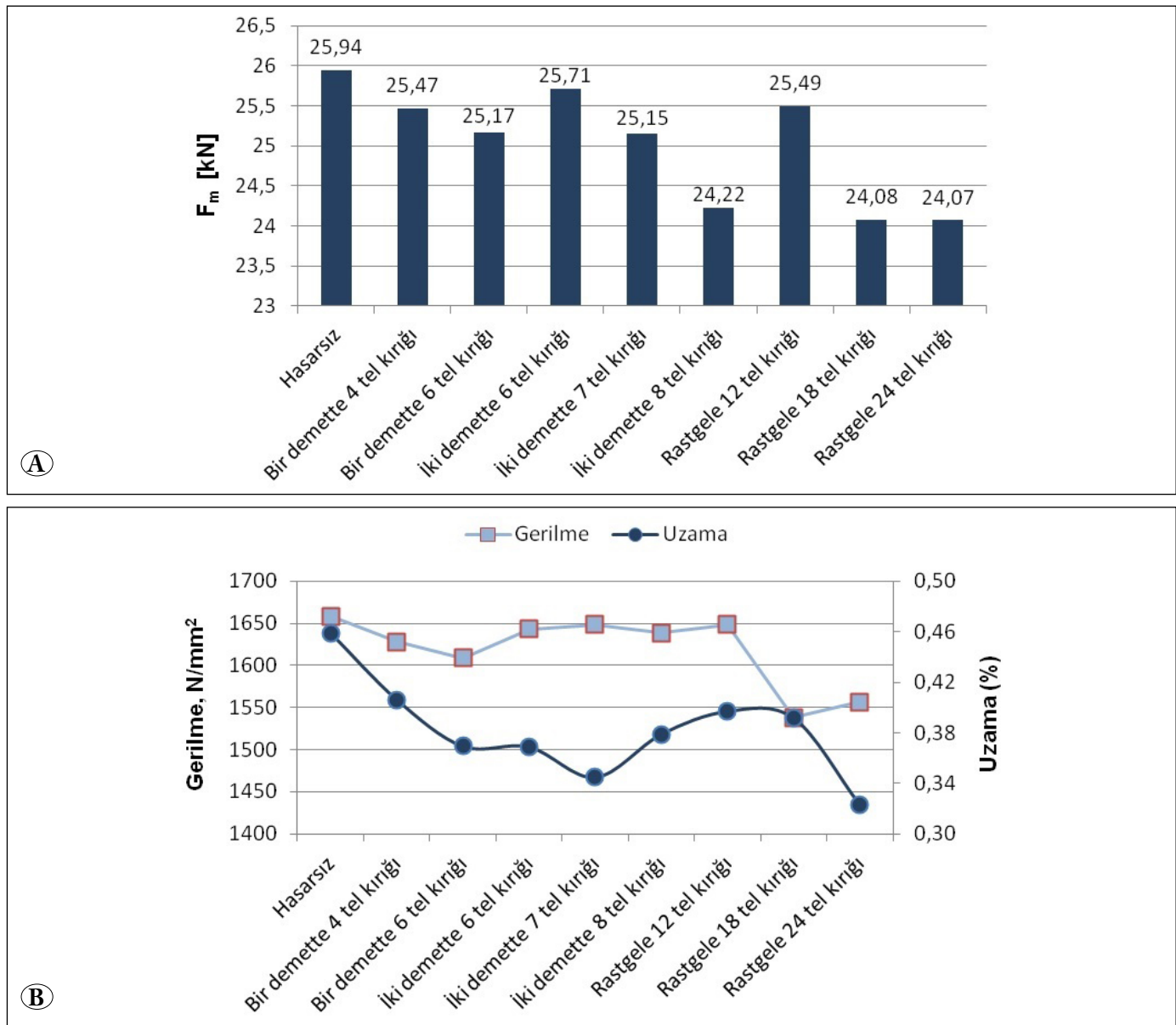
Halatlarda farklı sayılarda meydana getirilen tel kırıkları, halatların çekme yüklerinde (F_m) değişimlere neden olmuştur. Tel kırık sayıları ve dizilişlerine bağlı halat kaldırma kapasitelerindeki değişimler Şekil 1(a)’da gösterilmiştir. Hasarsız halat numunesinin çekme yükü 25,94 kN olarak tespit edilmiştir. Bir demette 4 ve 6 adet tel kırığı, halatın çekme yükünde fazla bir düşüşe neden olmamıştır. İki farklı demette toplam tel kırığı sayısı 6 olan numunede sonuç biraz farklıdır. Bu numunenin çekme yükü 25,71 kN olarak ölçülmüştür. Bu değer bir demette 4 ve 6 tel kırığı olan numunelerin çekme yükünden daha fazladır. Bu durumun sebebi, tel kırıklarının tek bir demette toplanmayıp 2 farklı demete yayılmasıyla halatta ki zayıf noktayı dağıtmasıdır. İki farklı demette toplam tel kırığı sayısı 6 olması durumunda halatın çekme yükündeki düşüş en az olmuştur. Benzer şekilde, iki demette toplam kırık tel sayısı 6, 7 ve 8 olan numunelerin, çekme yüklerinin yine kademeli olarak düştüğü tespit edilmiştir. Halatın çekme yükünün en fazla düştüğü, yani kalıntı çekme dayanımı en düşük çıkan numuneler rastgele 18 ve 24 tel kırığına sahip numunelerdir. Rastgele 12 tel kırığı verilen numunenin

çekme yükünde çok belirgin bir düşüş olmazken, rastgele 18 ve 24 tel kırığında sırasıyla çekme yükleri 24,08 kN ve 24,07 kN olarak belirlenmiştir. 6x19 Standart halatın çekme kapasitesinde en fazla düşüş 24 adet tel kırığının varlığında oluşmuş olup halatın çekme kapasitesi %7.20 düşmüştür.

Farklı sayıda tel kırıklarına sahip numunelerin yüzde uzamaları ve çekme gerilmesi değerlerindeki değişimler Şekil 1(b)'de gösterilmiştir. Hasarsız numunenin çekme gerilmesi değeri 1658,65 N/mm², yüzde uzaması %0,459 olarak tespit edilmiştir. Yüzde uzama değerlerine bakıldığı zaman, hasar içeren tüm halatlardaki yüzde uzama değerleri, hasarsız numunedeki yüzde uzama değerinden daha az

olduğu tespit edilmiştir. Yüzde uzaması en düşük ölçülen numune, %0,323 ile rastgele 24 tel kırığı verilmiş olan numunedir.

Ortam şartlarından etkilenerek zaman içinde korozyona uğrayan çelik tel halatların çekme kapasitelerindeki düşüşü tespit edebilmek için halat numuneleri laboratuvar ortamında 8 saat ve 16 saat süreyle %30'luk sülfürik asit (H₂SO₄) çözeltisi içinde bekletilmiştir. Halatların kalıntı çekme yüklerinin korozyon süresine bağlı değişimi Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Hasarsız halat numunesine kıyasla 8 saat asidik çözelti içinde bekletilen numunenin kalıntı çekme yükü 24,07 kN olarak ölçülürken, 16 saat boyunca

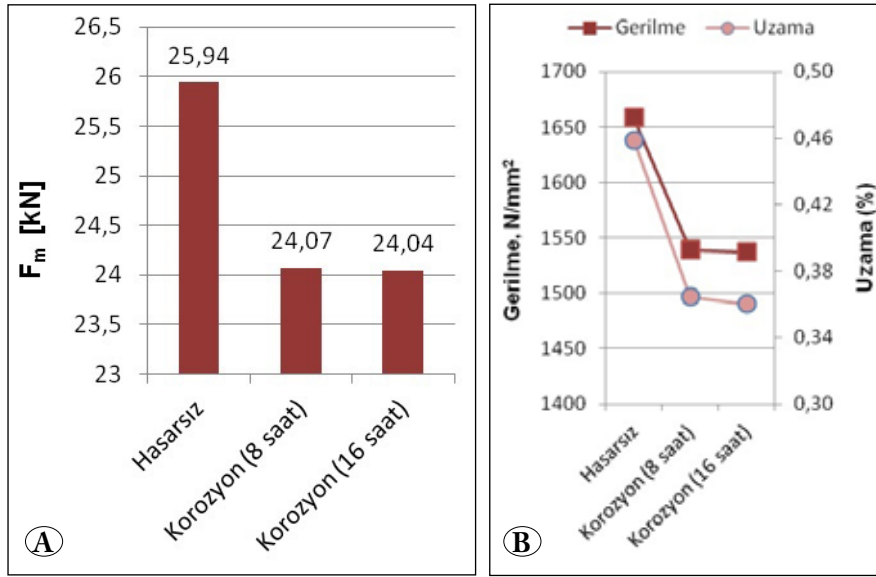


Şekil 1. Tel kırıklarının sayıları ve halat üzerindeki etkileri. A) çekme yükündeki değişimler, B) gerilme - % uzama miktarları.

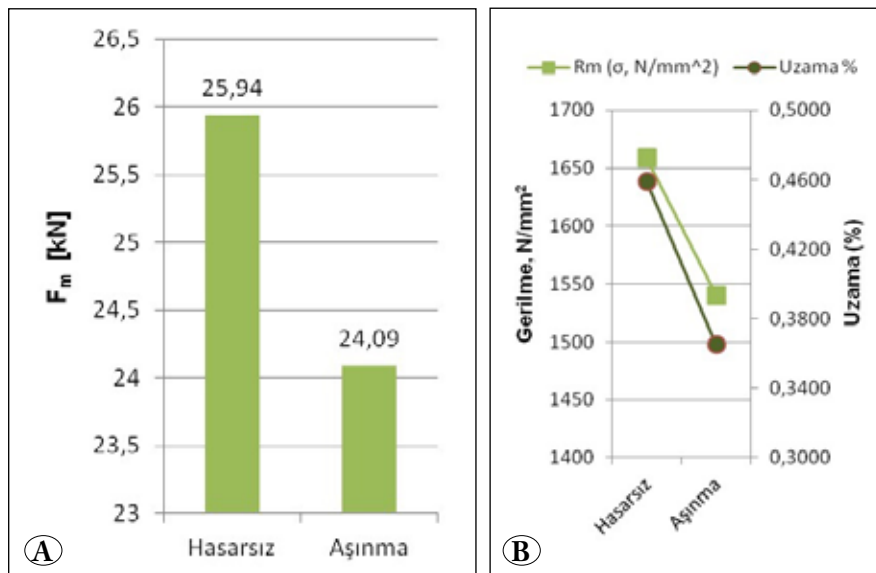
bekletilen numunenin 24,04 kN olarak ölçülmüştür. 8 saat ve 16 saat sonunda halat numunelerinin çekme dayanımlarının birbirlerine çok yakın değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. 16 saat asit çözeltisinde bekletilen 6x19 Standart halatın çekme kapasitesi % 7,32 düşmüştür.

Farklı sürede korozyona maruz bırakılan numunelerin yüzde uzamaları ve çekme gerilmesi değerlerindeki değişimler Şekil 2(b)'de gösterilmiştir. Halat numunelerinin çekme gerilmesi değerleri ve yüzde uzama oranları da hasarsız numuneye göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 8 saat bekletilen numunenin çekme gerilmesi değeri 1539 N/mm² ve yüzde uzama oranı %0,3645 olarak tespit edilmiştir. 16 saat bekletilen numunenin ise gerilme değeri 1537,05 N/mm² ve yüzde uzama oranı %0,3600 olarak belirlenmiştir.

Özellikle asansör işletmelerinde, halatın tamburla temas bölgesinde halatlarda meydana gelen aşınmanın etkisini incelemek için 0,1 mm derinliğinde talaş kaldırılarak, aşınmış halat numuneleri oluşturulmuştur. Aşınma sonucu halatın çekme yükündeki değişimler Şekil 3(a)'da, çekme gerilmesi (R_m) ve yüzde uzama değişimleri ise Şekil 3(b)'de gösterilmiştir. Aşınmanın etkisiyle, çelik tel halat numunesinin aksenal kaldırma kapasitesi 25,94 kN değerinden 24,09 kN değerine düşmüştür. Hasarsız halat numunesiyle aşınmış halat numunesi karşılaştırıldığında, 0,1 mm derinliğinde ve 100 mm boyunda abrasif aşınma hasarı oluşmuş 6x19 Standart çelik halatta halat çekme yükü %7.13 oranında düşmüştür. Aşınmış numunenin çekme gerilmesi değeri ve yüzde uzaması ise çekme yüküne bağlı olarak düşmüştür.



Şekil 2. Korozyonun şiddeti ve halat numuneleri üzerindeki etkisi A) çekme yükündeki değişimler B) gerilme - % uzama miktarları.



Şekil 3. Aşınmanın halat numunesi üzerindeki etkisi, A) çekme yükündeki değişimler B) gerilme - % uzama miktarları.

Çizelge 3. Tüm halat numunelerinin çekme yükleri (F_m), çekme gerilmesi değerleri (R_m) ve % uzamaları.

Hasar Tipleri	F_m (kN)	Uzama (%)	R_m (σ , N/mm ²)
Hasarsız	25,94	0,4590	1658,65
Korozyon (8 saat)	24,07	0,3645	1539
Korozyon (16 saat)	24,04	0,3600	1537,05
Aşınma	24,09	0,3650	1540,03
Bir demette 4 tel kırığı	25,47	0,4063	1627,99
Bir demette 6 tel kırığı	25,17	0,3695	1608,75
İki demette 6 tel kırığı	25,71	0,3690	1643,3
İki demette 7 tel kırığı	25,15	0,3450	1648,2
İki demette 8 tel kırığı	24,22	0,3790	1638,4
Rastgele 12 tel kırığı	25,49	0,3970	1648,47
Rastgele 18 tel kırığı	24,08	0,3915	1538,35
Rastgele 24 tel kırığı	24,07	0,3230	1556,9

Aşınmış halatın çekme gerilmesi değeri 1540,03 N/mm² ve yüzde uzaması %0,3650 olarak tespit edilmiştir.

Hasarsız, tel kırıkları içeren, korozyona uğramış ve aşınmaya maruz kalmış tüm halat numuneleri için yapılan çekme testleri sonucunda, çekme yükleri, çekme gerilmesi değerleri ve yüzde uzama oranları her halat numunesi için ayrı ayrı tespit edilmiştir ve Çizelge 3'de sunulmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, incelenen hasar kriterlerinin 6x19 Standart çelik tel halatın mekanik özelliklerini ne şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Tel kırıkları verilen numunelerin arasında 6x19 Standart çelik tel halatın çekme kapasitesindeki en fazla düşüş rastgele 24 adet tel kırığının varlığında meydana geldiği tespit edilmiş olup, 6x19 Standart halatın çekme kapasitesi %7.20 düşmüştür. 0,1 mm derinliğinde ve 100 mm boyunda abrasif aşınma hasarı oluşmuş 6x19 Standart çelik halatta halat çekme kapasitesi %7.13 düşmüştür. 16 saat süreyle %30'luk sülfürik asit çözeltisi içinde bekletilerek korozyona hasarı yaratılan 6x19 Standart halatın çekme kapasitesi % 7,32 düşmüştür. 6x19 Standart halat için en kritik hasar tipi, 16 saat süresince korozyona maruz kalma olarak tespit edilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, 2015-77654622-01 nolu proje kapsamında Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

- Balan, KP. 2002.** Failure Analysis of a Wire Rope. *ASM Int.*, 3:71-74.
- Basak, D., Pal, S., Patranabis, DC. 2009.** Inspection of 6x19 Seale Preformed Haulage Rope by Nondestructive Technique. *Russ. J. Nondestruct+*, 45(2):143-147.
- Chen, Y., Meng, F., Gong, X. 2016.** Interwire Wear and Its Influence on Contact Behavior of Wire Rope Strand Subjected to Cyclic Bending Load. *Wear*, 368-368:470-484.
- de Silva, ART., Fong, LW. 2002.** Effect of Abrasive Wear on the Tensile Strength of Steel Wire Rope. *Eng. Fail. Anal.*, 9:349-358.
- Fontanari, V., Benedetti, M., Monelli, BD. 2015.** Elasto-Plastic Behavior of a Warrington-Seale Rope: Experimental Analysis and Finite Element Modeling. *Eng. Struct.*, 82:113-120.
- Giglio, M., Manes, A. 2005.** Life Prediction of a Wire Rope Subjected to Axial and Bending Loads. *Eng. Fail. Anal.*, 12:549-568.
- Jun, M., Shi-rong, G., De-kun, Z. 2008.** Distribution of Wire Deformation within Strands of Wire Ropes. *J. China Uni. Mining Tech.*, 18:475-478.
- Kashyap, SK., Laxminarayana, G., Tewari, S., Sinha, A. 2005.** Non-Destructive Testing of Steel Wire Ropes and Their Discard Criteria. *The 8th Int. Conf. of the Sloven. Soc. for Nondestruct+*, 229-235.
- Krishnadev, M., Larouche, M., Lakshmanan, VI., Sridhar, R. 2010.** Failure Analysis of Failed Wire Rope. *ASM Int.*, 10:341-348.
- Meknassi, M., Tijani, A., Mouhib, N., El Ghorba, M. 2016.** Experimental Study on Corrosion of Wire Rope Strands under Sulfuric Acid Attack. *Int. J. Eng. Sci. (IJES)*, 5(6):40-45.

- Molnar, V., Fedorko, G., Krešák, J., Peterka, P., Fabianová, J. 2017.** The Influence of Corrosion on the Life of Steel Ropes and Prediction of Their Decommissioning. *Eng. Fail. Anal.*, 74:119-132.
- Peterka, P., Krešák, J., Kropuch, S., Fedorko, G., Molnar, V., Vojtko, M. 2014.** Failure Analysis of Hoisting Steel Wire Rope. *Eng. Fail. Anal.*, 45:96-105.
- Schrems, K., Maclaren, D. 1996.** Failure Analysis of a Mine Hoist Rope. *Eng. Fail. Anal.*, 4(1):25-38.
- Singh, RP., Mallick, M., Verma, MK. 2016.** Studies on Failure Behaviour of Wire Rope Used in Underground Coal Mines. *Eng. Fail. Anal.*, 70:290-304.
- Urchegui, MA., Tato, W., Gomez, X. 2007.** Wear Evolution in a Stranded Rope Subjected to Cyclic Bending. *ASM Int.*, 15:1007-1017.
- Zhang, DK., Ge, SR., Qiang, YH. 2003.** Research and Fatigue and Fracture Behavior due to Fretting Wear of Steel Wire in Hoisting Rope. *Wear*, 255:1233-1237.