

Çelik Tel Halatlarda Tel Çapı ve Redüksiyon Oranının Yorulma Dayanımına Etkisi

M. Nedim Gerger
Yardımcı Doçent

Mustafa Tayanç
Yardımcı Doçent

Makina Mühendisliği Bölümü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Balıkesir Üniversitesi
BALIKESİR

Kaldırma ve iletme makinalarında kuvvet iletimi ve taşıma görevi yapan çelik tel halatların kullanım ömürleri büyük oranda yapıldığı malzemenin özelliklerine ve imalat şekline bağlıdır. Bu elemanların değişik parametrelere bağlı olarak ömürlerini belirlemek amacıyla günümüze kadar yapılan deneysel çalışmalarda, numunelerde işletme koşullarından farklı etkilenmelerin olduğu deney yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada halat yorulma ömrünün belirlenmesinde kullanılan standart bir deney yöntemi tel numunelere adapte edilmiştir. Bu yöntemle farklı çap ve redüksiyon oranlarında imal edilmiş tel numunelerin yorulma ömürleri bu iki parametreye bağlı olarak belirlenmiştir. Tel çapının küçülmesi ile yorulma ömrünün arttığı, redüksiyon oranına bağlı olarak bu ömrün değiştiği görülmüştür.

GİRİŞ

Çelik tel halatlar yüksek çekme dayanımlı soğuk çekilmiş ince çaplı çelik tellerden yapılır. Bu yapımda hedeflenen ana amaç, halatı değişik işletme koşullarında en iyi dayanımı sağlayacak konstrüksiyon ve kalitede imal etmektir. Kullanım alanlarının çoğunda halatlar çekme yükü altında tambur ve makaralara sarılarak çalıştırlarından, yıpranması ve/veya kopması, aşınma veya tekrarlı eğilme gerilmelerinden kaynaklanan yorulma etkisiyle oluşur. Bu nedenle halatın kalitesi, daha çok yorulma dayanımının büyüklüğüne bağlıdır. Bir halatın kalitesini dolayısıyla işletme ömrünü arttırmak onu oluşturan elemanların (tellerin) yorulma dayanımlarını arttırmakla mümkündür. Çelik halatlarda kullanılan tellerin yorulma dayanımları ise ana hatlarıyla aşağıdaki parametrelere bağlıdır.

İmalatla ilgili olanlar:

- . Telin kimyasal bileşimi
 - . Tel çapı
 - . Tel kesit şekli
 - . Yüzey kalitesi
 - . Soğuk çekmede % kesit azalması (%K)
 - . Yüzey kaplama durumu
- Kullanımla ilgili olanlar:
- . Tahrik ve ekipman tipi
 - . Makara malzemesi, çapı ve yiv şekli

- . Yüklemenin şekli ve büyüklüğü
- . Çevresel koşullar
- . Bakım

Halatların dayanımları konusunda günümüze kadar süre gelen çalışmaların içeriğine bakıldığında, bu parametrelerin çoğunun etkisi araştırılmış ve belirlenmiş olduğunu görmekteyiz.

Becker, tel imalatında (%K) kesit azalması yüzdesine bağlı olarak, telin iç yapısının değişimini incelemiştir. Kesit azalması yüzdesinin artmasıyla tellerin çekme dayanımlarının arttığını ifade etmiştir [2].

Bahke, 3.97 mm çapında ve bileşiminde % 0.71 C, % 0.68 Mn, % 0.11 Si bulunan telin, 3.97 mm'den 1.34 m/s'lik çekme hızında 12 pasoda 0.71 mm çapa çekilen telin farklı adımlarda yapılan deneylerde % K'ya bağlı olarak yorulma dayanımlarının arttığını ancak, yüksek oranlara doğru yaklaştıkça artış hızında azalma olduğunu bulmuştur [3].

Schenir ve çalışma arkadaşları, paslanmaz çelik ve kobalt-nikel alaşımli ince çaplı teller ve bu tellerle yapılan demetlerin yorulma deneylerinde, tellerin yorulma ömrü ile demetlerin ömrü arasında çok az farkın olduğunu ve teldeki deformasyonların çok küçük çaplı tellerin yorulma ömrünü çok az etkilediğini bulmuştur [4].

Raooof, büyük çaplı tel halatların tellerine yapılandırılan

strain-gauge'lere uygulanan aksenal çekme yükü ile yapılan yorulma deneylerinde diş tellerde kaymaların daha fazla olduğu, tellerin birbiriyle temasının yorulma ömrünü azalttığını göstermiştir [5].

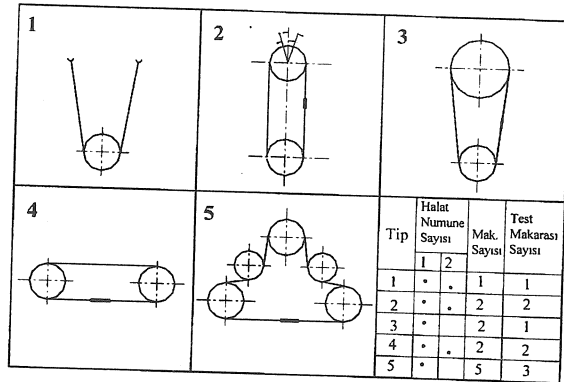
Halatlarla ilgili deneysel araştırmalarda büyük çaplı halatların işletme ömrünü etkileyen pek çok faktörü ya küçük boyutlarda halat numuneleri ya da tellerle ilgili olanları kısa numunelerle, çoğu işletme koşullarından uzak test yöntemlerinin kullanılmasıyla edinilen bilgilerin yeterli güvenliğe sahip olduğu kabul edilerek, hızlı ve ekonomik sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalardan çıkan sonuçlara göre halatların işletme koşullarına uygun yorulma özelliklerini belirlemede eksiklikler olacaktır. Çünkü metallerin dinamik davranışları boyutsal ve test koşullarındaki değişimle büyük oranda değişirler [6].

Bu çalışmada çapları 0.4 - 2.85 mm arasında değişen farklı redüksiyonlarda soğuk çekme ile elde edilmiş teller, işletme koşullarına çok daha yakın bir deney düzeneği kullanılarak tel çapı ve redüksiyon oranının yorulma ömrüne etkisi incelenmiştir.

DENEY SİSTEMATİĞİ

Uygulanan Deney Düzeneği

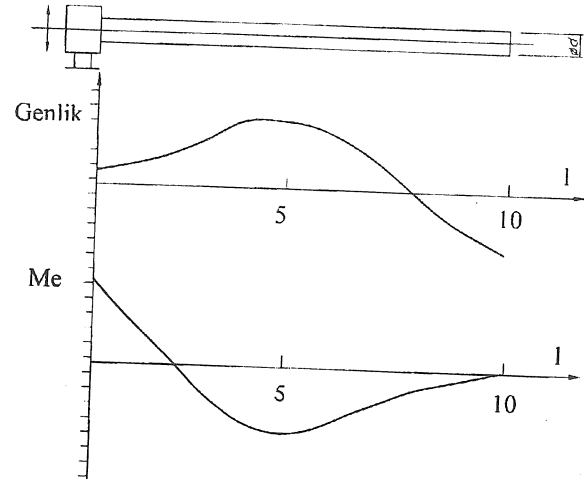
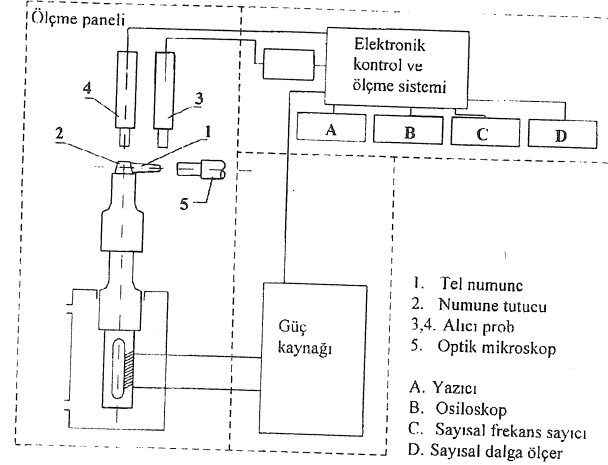
Laboratuvarlarda, işletme koşullarına uygun ortam ve yüklemeler altında yapılan deneylerle çelik tel halatların işletme ömürlerini, dolayısıyla kalitesini önceden belirlemek mümkündür. Bir halatın kopuncaya kadar dayandığı yük tekrar sayısı, halatın işletme ömrünün ölçütü olarak kullanılabilir. Yük tekrar sayısı ise halatın çekme yükü altında makara veya tamburlara sarılırken maruz kaldığı eğilme sayısıdır. Bu ilkedan hareketle halatların yorulma deneylerini, bir veya birkaç halat numunesini çekme yükü altında bir veya birkaç makara üzerinden tekrarlı veya dönüşümlü olarak geçirmekle yapabiliriz. Bu deneysel yöntemlerde,



Şekil 1. DIN 53100'e göre eğilme-yorulma deneyi için farklı test prensipleri

kopuncaya kadar yüke maruz bırakılan veya bozulan halat ölçüt alınarak, çeşitli test şartları altında halatın dayanım süreleri belirlenebilir. Bu amaçlar için kullanılan eğilme - yorulma deneyi prensiplerinin şematik resimleri Şekil 1'de verilmiştir.

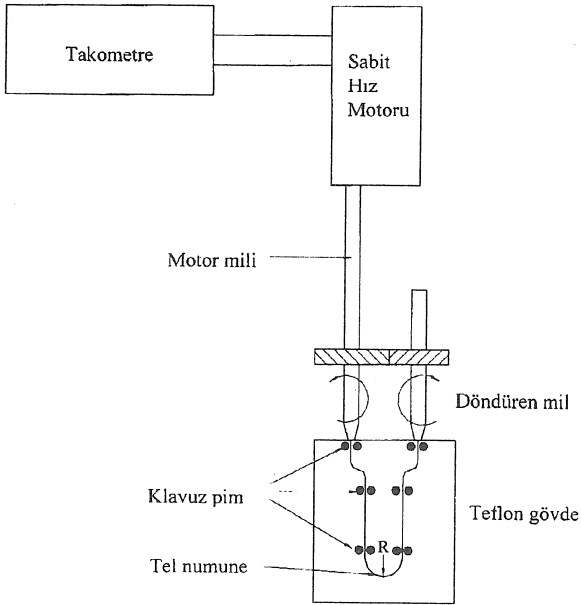
Halat yorulma ömrünün belirlenmesi için kullanılan bu test yöntemleri çok az değişikliklerle, tek tek teller için de uygulanabilir. Ancak, tellerle ilgili günümüze kadar yapılan deneysel çalışmaların çoğunda bu yöntemlerden farklı ve test süreleri kısa olan yöntemler kullanılmıştır. Şekil 2a ve 2b'de bu amaçla daha önce kullanılmış olan test yöntemlerinin şematik resimleri verilmiştir [4,7].



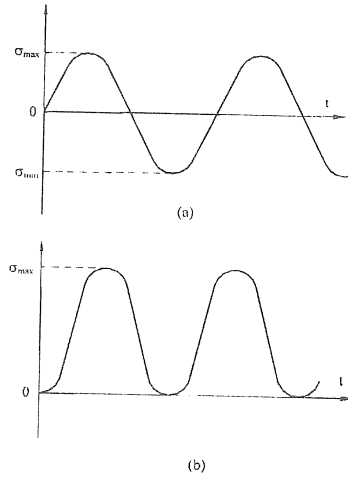
Şekil 2a. Yüksek frekans deney yöntemi ile bir tel numunesinin eğilme zorlanması [7]

Bu yöntemlerdeki eğilme frekanslarının yüksek oluşu, deneylerin kısa süreli olması avantajını sağlar. Fakat, yüksek eğilme frekansları numunelerde ömrü olumsuz etkileyen ısınmalara sebep olur. Ayrıca gerçek işletme koşullarından uzak yöntemlerdir. Çünkü, halatlar kullanıldığı yerlerde çok yüksek hızlarda tahrik edilmezler. Özellikle kesintili çalışmalarda (örneğin, krenlerde) yükleme ve boşaltmalarda halatlar ivme kuvvetlerine de maruz kalırlar. Ayrıca, yukarıda bahsedilen deneylerde numuneler tam değişken gerilmeye (σ_{TD}) maruz kalmaktadırlar. Oysa halatlar, işletmelerdeki tambur veya makaraya sarılıp çözülme sırasında, titreşimli gerilme (σ_T) altında zorlanırlar (Şekil 3). Değişken zorlanmalar altındaki malzemelerin dayanım sınırlarını veren sürekli mukavemet diyagramlarından da görülebileceği gibi, tam değişken gerilme altında zorlanan elemanların dayanımı daha düşüktür (Şekil 4).

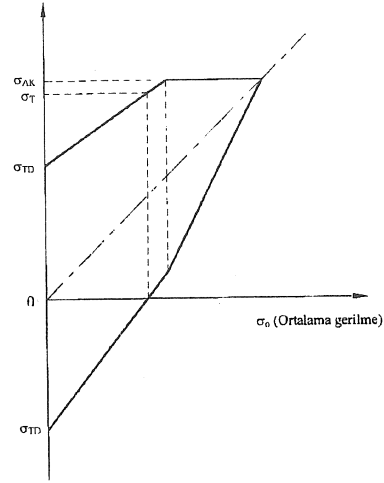
Bu deneysel çalışmada uzun deney süreleri dezavantajı yanında işletme şartlarına benzer olarak tasarımılanan deney düzeneği kullanılmıştır. Şekil 5'te bu düzeneğin şematik resmi verilmiştir. Tahrik grubu olarak; 3 kW güç ve 1430 d/dak.'lık elektrik motoruna bağlı 0-120 d/dak arasında kademesiz ayarlanabilen bir varyatör ve dönme hareketini öteleme hareketine dönüştüren krank-biyelden oluşmaktadır. Numuneler, gövde üzerine takılı bir yorma makarası üzerinde tekrarlı eğilmeye zorlanacak şekilde bağlanmıştır. Numunelerin hangi yük tekrar sayılarında koptuğunun belirlenmesi için mekanik bir sayıcı kullanılmıştır.



Şekil 2b. Kas arası elektrolarda kullanılan ince çaplı çelik tellerin yorulma deney düzeneği [4]



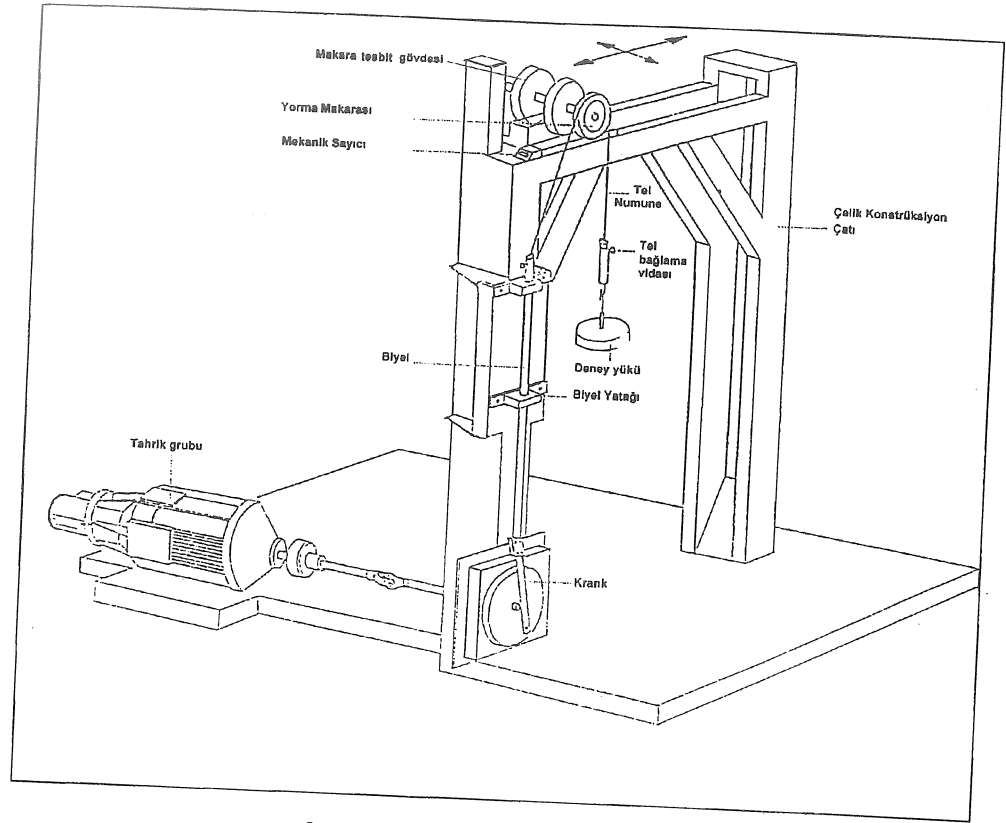
Şekil 3. Tel numunelerinin zorlanma şekil (a) Tam değişken zorlanma (b) Titreşimli zorlanma



Şekil 4. Çelik malzemelere ait sürekli mukavemet diyagramı

DENEY NUMUNELERİ

Halat imalatında kullanılan teller 1300, 1600 ve 1800 N/mm² 'lik standart çekme dayanımlarına sahip olarak üretilmektedir. Kullanım yerinin özelliklerine ve müşteri isteklerine göre imal edilen halatlarda, istenilen tel dayanımına ulaşmak, telin belirli bir kimyasal bileşime sahip olması yanında, özellikle soğuk çekme sırasında uygulanan redüksiyon oranına da bağlıdır. Bu özellikler gözönüne alınarak, deneyde çapları 0.4 - 2.85 mm ve boyları yorma makarası büyüklüğüne bağlı olarak değişen, karbon içerikleri % 0.08, % 0.65, % 0.70 ve farklı % kesit azalmasına sahip soğuk çekilmiş teller kullanılmıştır. Numuneler Çelik Halat ve Tel Sanayii (İzmir) Fabrikası'ndan üretim özelliklerine göre seçilmiş ve alınmıştır.



Şekil 5. Kullanılan deney düzeneği

NUMUNELERİN YÜKLENME ŞEKLİ

Deneşsel çalışmada numuneler, çekme yükü ile tel kesitinde oluşan ortalama gerilme (Eşitlik 1) ve yorma makarası üzerinde meydana gelen eğilme nedeniyle Hook kanununa göre hesaplanan değişken gerilmeye (Eşitlik 2) maruz kalmaktadır.

$$\sigma_0 = F_c / A \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

$$\sigma_g = E \frac{d}{D} \quad (N/mm^2) \quad (2)$$

Burada;

F : Tel ucuna asılı yük (N)

A : Tel kesiti (mm²)

d : Tel çapı (mm)

D : Makara çapı (mm)

E : Telin elastisite modülü (N/mm²)

Bunların dışında yükleme hızına bağlı olarak ivme kuvvetleri de oluşacaktır. Tellerin yüklenmesinde değerlendirilmeye alınmayan bu kuvvetten dolayı tel kesitinde oluşan gerilmeyi elimine etmek mümkün değildir. Ancak eğilme frekansının (devir sayısının) küçük tutulması ile minimuma indirgemek mümkündür. Deneşde işleme koşullarına yakın hızlar kullanılarak, oluşan ivme kuvvetinin gerçek yüklemelere yakın

olması sağlanmışır (Halatlar ortalama 1 m/s hız ve gerilme değeri $\sigma_k/20$ olacak şekilde yüklenirler).

DENEŞLERİN YAPILIŞI

Tel çapı (d) - Ömür (N) ve Kesit azalması yüzdesi (% K) - Ömür (N) ilişkilerini belirlemek için yapılan deneşlerde aşığıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tel Çapı - Yorulma Ömrü İlişkisi

Sabit % 91'lik kesit azalması değerine sahip % C içerikleri 0.08, 0.65 ve 0.70 olan farklı çaplardaki tellerin aynı değişken (σ_g) ve ortalama (σ_0) gerilmeleri etkisi altında yapılan deneşlerle $N = f(d)$ ile gösterilebilen yorulma ömrü-tel çapı ilişkisi araştırılmışır. Yorulma makaralarının çapları değiştirilerek farklı çaplardaki tellerin aynı değişken gerilme ile zorlanmaları sağlanmışır (Eşitlik 2). Numunelerde sabit ortalama gerilme değeri oluşturmak için de tel çaplarına göre hesaplanan farklı deneş yükleri kullanılmışır (Eşitlik 1). Farklı karbon oranlarındaki tellerin her bir çap değeri için, sonlu ömür bölgesinde yüklemelerle yapılan deneşlerden elde edilen yük tekrar sayıları ortalaması alınmış (Tablo 1) ve en küçük kareler yöntemini kullanan bir regresyon analizi yazılımı yardımıyla ortalama yük tekrar sayısı ve çap arasındaki ilişki çizilmiştir (Şekil 6).

Veriler arasında, doğrusallık ilişkisi r^2 (korelasyon katsayısı) sırasıyla, 0.9875, 0.9296 ve 0.8711'dir. Doğru eğimlerinin birbirine yakın oluşu, çap ve yük tekrar

Tablo 1. Farklı karbon oranlarında, değişik tel çaplarına karşılık gelen kopma yük tekrar sayılarının ortalama değerleri.

| % C=0.08 | | % C=0.65 | | % C=0.7 | |
|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|
| Tel çapı, d (mm) | Yük tekrar sayısı, N | Tel çapı, d (mm) | Yük tekrar sayısı, N | Tel çapı, d (mm) | Yük tekrar sayısı, N |
| 0.8 | 3967 | 0.8 | 4621 | 0.9 | 5562 |
| 1 | 3658 | 1 | 4584 | 1 | 5158 |
| 1.21 | 3471 | 1.41 | 4295 | 1.21 | 4839 |
| 1.5 | 3712 | 2 | 3320 | 1.48 | 4672 |

sayısı arasındaki değişimin karbon oranından bağımsız olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, tel çapı-yorulma dayanımı ilişkisini belirlemek için yapılmış önceki çalışmaların [7] sonuçlarını doğrular niteliktedir. Ancak, bu çalışmanın sonuçlarına göre, tel çapının küçülmesiyle sağlanan yorulma dayanımı artışı oranı daha küçük çıkmıştır.

Soğuk Deformasyon Oranı - Yorulma Ömrü İlişkisi

Bileşiminde % 0.70 C bulunan ve çapları 2.60 - 2.85 mm arasında değişen, % kesit azalması (% K) değerleri 9, 16, 22, 24.9, 30.5, 44, 68, 71 ve 87 olan tel numuneler ile sabit bir gerilme değeri altında yapılan deneylerin sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Farklı redüksiyonlarda, aynı bileşim ve çapta tel numunelerin elde edilmesinin

güçlüğü nedeniyle deneyde, çapları farklı teller kullanılmıştır. Numunelerin yüklenmesi tel çapına göre ayarlanmış ancak, çap farklılığından kaynaklanan ömür değerindeki değişim gözönüne alınmamıştır.

Kesit azalması yüzde değerleri (% K), 9'dan 24'e çıktığında ömür değerlerinde artış oranının oldukça yüksek olduğu, 24'den 68'e kadar bu artış oranının yavaşladığı görülmüştür. Daha yüksek redüksiyon oranlarında ise ömür değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Konu ile ilgili benzer çalışmalarda % K değerlerinin artışı ile tel çekme dayanımının devam ettiği ancak, aşırı pekleşme ile oluşan kırılma, anizotropik yapı ve iç gerilmelerde homojen olmayan dağılımların yorulma dayanımını olumsuz etkilediği belirtilmiştir [3].

SONUÇLAR

Halat dayanımı, halat imalatında kullanılan çelik tellerin kimyasal bileşimine bağlı olmasının yanında, bu dayanımı etkileyen imalat parametrelerinin uygun seçilmesine de bağlıdır. Bu parametrelerden tel çapı (d) ve kesit azalması yüzdesinin (% K) etkisinin belirlenmesi için yapılan araştırmaların sonunda;

1. Tel çapları küçüldükçe yorulma ömrünün arttığı bulunmuştur. Dolayısıyla büyük çaplı az sayıda tel yerine, küçük çaplı çok sayıda tel kullanılarak yapılan halatın işletme ömrü daha yüksek olacaktır.

2. Tellerin kesit azalması yüzdesi (% K) arttıkça, yorulma dayanımının arttığı görülmüştür. Ancak belirli bir sınırdan sonra (tellerin çekme dayanımlarında artışın devam edeceği belirtildiği [2] halde) yorulma dayanımlarında azalma oluşmaktadır.

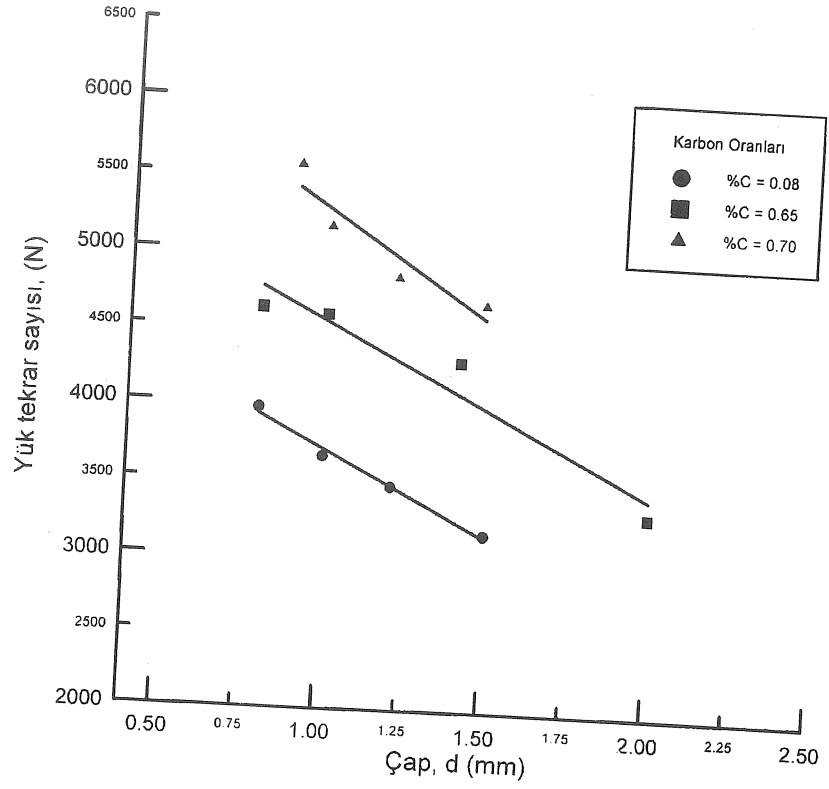
Deneylerden elde edilen bulgulara göre; halatların salt çekme dayanımının halat ömrü için yeterli bir göstergesi olmadığı görülmüştür. Özellikle yüksek çekme dayanımlı halat talebinde bu hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, yapıya bağlı olarak artan çekme dayanımı, yorulma dayanımı için dezavantaja dönüşebilir. Hangi % K değerinde ömür artışının dezavantaja dönüşeceği kesin olmamakla birlikte, bu ve daha önceki çalışmaların ışığında % K oranının yaklaşık % 70 civarında olabileceği sonucuna varılmıştır.

THE EFFECT OF WIRE DIAMETER AND REDUCTION RATE OF STEEL WIRE ROPES ON FATIGUE LIFE

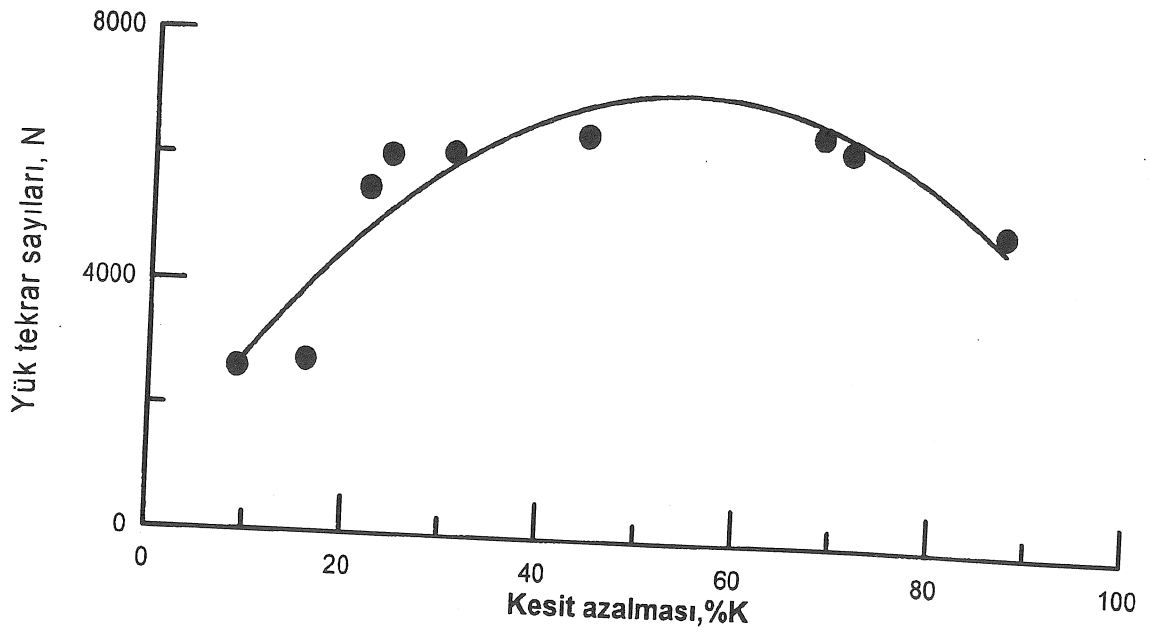
Service life of steel wire ropes which carry out the conveying and force transmitting function in transport machines, heavily depend on the material characteristics and manufacturing methods of the steel wire rope. The methods, which most closely simulates the real working conditions, have been used in order to define the service life. In this study, a standardized experiment method used to define of a steel rope fatigue life is adopted to steel wire specimens. In this method, the working life of wire specimens manufactured in different diameters and reduction rates is tried to define devoted to these two parameters. It is observed that the fatigue life of the steel wires increase with the decrease of wire diameter and change with reduction rate.

KAYNAKÇA

1. Tayanç, M., *Soğuk Çekilmiş Çelik Halat Tellerinin Yorulma Davranışlarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1990.
2. Becker, K., *On the Fatigue Strength of Rope Wires Influence on the Service Life of Hoisting Ropes*, *Wire*, n. 2, p. 52-55, Mar., 1979.



Şekil 6. Tel çapı yük tekrar sayısı ilişkisi



Şekil 7. Kesit azalması yüzdesi (% K) ve yük tekrar sayısı (N) arasındaki ilişki

3. Bahke, E., Principles Defining Strength of Wire Ropes and Chains, *Wire*, v. 30, n. 2, p. 54-56, Mar. - Apr., 1980.
4. Schenier, A., Mortimer, J.T., Kicher, T.P., Study of the Fatigue Properties of Small Diameter Wires Used in Intramuscular Electrodes, *Journal of Biomedical Materials Research*, v. 25, n. 5, p. 589-608, May., 1991.
5. Raof, M., Axial Fatigue of Multilayered Strand, *Journal of Engineering Mechanics*, v. 116, n. 10, p. 2083-2099, Oct., 1990.
6. Raof, M., Free Bending Fatigue of Axially pre-loaded Spiral Strands, *Journal Strain Analysis for Engineering Design*, v. 27, n. 3, p. 127-136, 1992.
7. Kawecki, Z., Oleksy, W., Ultrasonic Testing of Steel Wire in Optimising Quality, *Wire Industry*, v.51, n. 604, p. 241-244, Apr., 1984.