

# TAŞIYICI HALATLARIN DENEYSEL GERİLME ANALİZİ

Prof.Dr. C. Erdem İMRAK<sup>1</sup>, Ar.Gör.Özlem SALMAN<sup>2</sup>

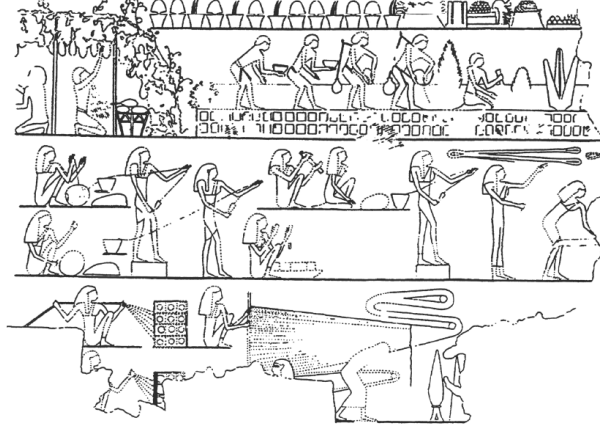
<sup>1,2</sup> İTÜ. Makina Fakültesi Gümüşsuyu 34437, İstanbul.

## ÖZET

Helisel sarımlı halatlar, geniş ve önemli bir mühendislik eleman sınıfı oluşturur. Eksenel mukavemet ve rijitlik sağlayacak düzenli bir geometrik formda helisel olarak bir araya getirilmiş tellerden oluşurlar. Bu elemanların en önemli özelliği büyük eksenel yükleri düşük eğilme ve burulma rijitliği ile taşımalarıdır. Çelik tel halatlar, normal malzeme numunelerinden farklı kesit ve yapıya sahip olduğundan klasik yöntemlerle testlerin yapılması mümkün değildir. Bu nedenle, farklı yöntemler denenerken çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada çelik tel halatlara ve bileşenlerine (demet, öz, tel) çekme deneyi yaparken kullanılacak en uygun aparatın seçimi ve bu deney neticelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 1. GİRİŞ

İnsan uygarlığının ilk kazanımlarından olan halatlar saç ya da bitki malzemelerinden yapılmıştır. Halatların en eski örneklerine yaklaşık M.Ö. 12000'den 9000 yılına kadar olan tarihlerde rastlanır. Finlandiya'da bulunan halatların kalıntılarının Mezolitik dönemden (M.Ö. 9000-3000) kaldığı, Mısır'da bulunan ve devetüyünden yapılanların ise 4000 yıldan daha eski olduğu varsayılıyor. Mısır'daki bazı duvar resimleri (M.Ö. 2000) halatların üretiminin papirus, deri ya da palmye elyafından yapıldığını gösteriyor (Şekil 1) [1].



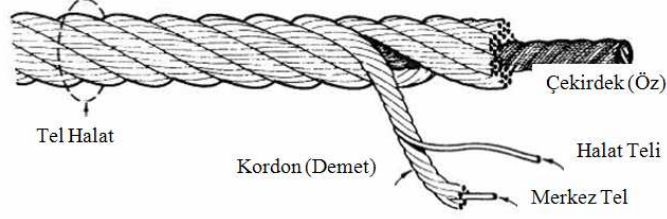
Şekil 1. M.Ö. 2000 Mısır'da halat üretimi

Çelik tellerden yapılan tel halat, transport makinalarının en fazla zorlanan önemli bir elemanıdır. Tel halatların geliştirilmesi sonucu daha önceleri kullanılan zincirler bugün için vinç imalatında kullanılmamaktadır.

Çalışma sırasında ortaya çıkan aşınma ve korozyon olayının dışında yorulma ve nemin etkisi ile mukavemetlerinden pek bir şey kaybetmemektedirler. Yükün halat içindeki çok sayıda tele dağılması nedeniyle işletme emniyeti oldukça yüksektir. Tel halatlar yüksek çalışma hızlarında çalıştırılabilirler, kendi ağırlıkları ile taşıma kapasiteleri arasında uygun bir oran mevcuttur ve büyük bir elastik uzama miktarına sahiptirler. İşletme sırasında kolaylıkla gözle kontrol edilmeleri mümkündür. Tel halatların taşıma kapasiteleri ve çalışma özellikleri düşük sıcaklıklarda değişmemektedir. Yalnız lif çekirdekli halatlarla 100 °C, çelik çekirdekli halatlarla ise 250 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çalışılmamalıdır. Alçak ve yüksek sıcaklıklarda halat ucu bağlantısının kontrolü çok dikkatli yapılmalıdır [2-4].

## 2. TEL HALATLARIN YAPISI

Tel halatlar yüksek mukavemetli ince çelik tellerden yapılırlar. Bu tür elemanların en önemli avantajı oldukça küçük eğilme ve burulma rijitlikleri sayesinde büyük eksenel yükleri taşıma kapasiteleridir. Kullanma amacına göre bu teller çeşitli şekillerde örülerek veya bükülerek halat şekline getirilir. Kordonlu halatlarda teller bir veya birkaç çekirdek tel etrafında yine bir veya birkaç katlı olmak üzere helis şeklinde bükülür ve bir kordon teşkil eder. Daha sonra kordonlarda bitkisel (Manila veya sisal, daha az önemli amaçlar için kendir) öz etrafında yine helis şeklinde bükülürler ve bütün bir halat şeklinde bağlanırlar. Bir halatı oluşturan parçalar Şekil 2 'de gösterilmiştir [5].

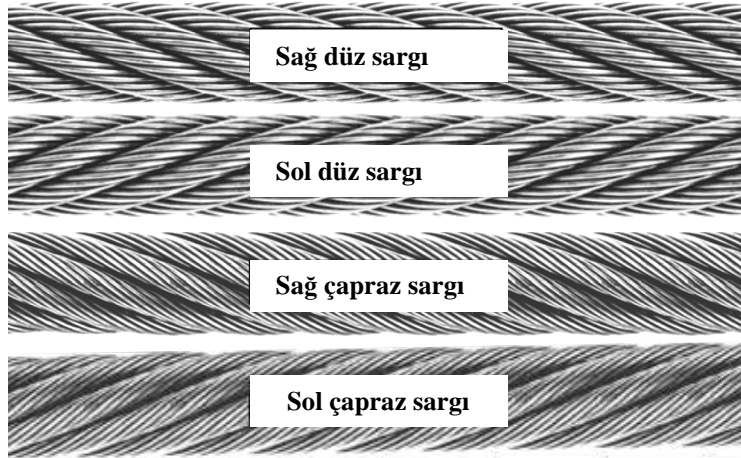


Şekil 2. Tel halat bileşenleri [6]

## 3. HALAT SARIM YÖNÜ

Dış kordonların helis yönü, halatın sarım yönü olarak isimlendirilir. Standartlarda dış kordonların halat üzerine sarılışında helis yönünün sağ dönüşlü olduğunu belirtmek için 'Z' harfi, sola dönüşlü olduğunu belirtmek için ise 'S' harfi kullanılmaktadır. Ayrıca kordonların sarılışında helis yönü sağa sarılış için 'z' ve sola sarılış için 's' harfi ile gösterilmektedir. Kısa gösterilişte 'zZ' ve 'sS' sarılışına düz sargı, 'zS' ve 'sZ' sarılışına çapraz sargı denir. Başka bir ifadeyle, çapraz sargıda kordonları meydana getiren tellerle, halatı meydana getiren kordonların sarım yönleri birbirlerine terstir. Şekil 3'de halat sarımında meydana gelen dört ayrı durum gösterilmiştir.

Düz sargılı halatların eğilme kabiliyetleri daha fazladır. Makaraların ve tamburların yivlerine daha iyi otururlar. Bu bakımdan basınçlar, bütün yiv çevresine dağılmış olduğundan, aşınmada dağılmış ve halatın ömrü uzamış olur. Fakat düz sargılı halatlar, tellerin ve kordonların aynı tarafa olan sarılışları nedeniyle, eğer uçlarından tutulmayacak olursa, hemen kendi üzerlerinde dönmeye çalışırlar. Onun için yalnız kılavuzlanmış yükler haline, mesela asansörlerde olduğu gibi gayıtlar arasında çalışma haline uygun gelirler.



Şekil 3. Halat sarım yönü

Çapraz sargılı halatlarda ise, dönme kabiliyeti az olduğundan, kren tesislerinde yalnız bunlar kullanılır [2,5,7].

#### 4. HALAT DENEYİ VE KRİTERLERİ

Çelik tel halatlar, normal malzeme numunelerinden farklı kesit ve yapıya sahip olduğundan, konvansiyonel yöntemlerle testlerin yapılması mümkün değildir. Bu nedenle, uygun yöntemin belirlenmesi için bilinen yöntemler tek tek değerlendirilmiş, en uygunu seçilmiştir.

Deneyleerin geçerli sayılabilmesi için literatürde belirtilen kriterlere uyulmuştur. Bu kriterler aşağıda detaylıca açıklanacaktır. Başlıklar hariç en küçük serbest deney uzunluğu Çizelge 1'e göre olmalıdır.

Çizelge 1. Deney uzunlukları

Halat anma çapı, d (mm)	Demetli halatta en küçük deney uzunluğu (mm)
6 dahil 6'ya kadar	300
6'dan 20'ye kadar (20 dahil)	600
20'den 60'a kadar	30xd
60 ve üzeri	3m

Deney parçası makineye halatın bütün tellerinin deney sırasında uygulanan kuvvete maruz kalacağı bir şekilde yerleştirilmelidir. Standartlarda belirtilen en küçük kopma kuvvetinin ( $F_{en\ az}$ ) %80'i uygulandıktan sonra uygulanan kuvvet, saniyede en küçük kopma kuvvetinin %0.5'in den fazla olmayacak şekilde artırılmalıdır.

Ölçülen kopma kuvveti değerine ( $F_m$ ), uygulanan kuvvetin daha fazla artırılmasının mümkün olmadığı ve halatın koptuğu anda ulaşılır.

Kavrama veya halat sonundan halat çapının 6 misli bir mesafe içerisinde kırılmalar olursa ve en küçük kopma kuvvetine erişilemez ise deney geçersiz sayılır [8].

Demetler için ayrı bir deney kriteri tanımlanmıştır. Deney uzunluğu en az çapın 60 katı kadar olmalı, bu çalışmada deney uzunlukları 200mm alınmıştır. Hız ise, 8 mm/dk alınmıştır [9].

Teller için de deney kriterleri ayrıca tanımlanmıştır. Teller mikrometre yardımıyla ölçülmeli ve her çap için hassasiyet minimum 0.002mm olmalıdır. Test makinesinin çeneleri arasındaki mesafe 203mm'den daha az olmamalıdır. Deney makinesinin hızı 3 mm/dk'yı aşmamalıdır. Eğer tel numunesi çenelere 25.4 mm uzaklıkta herhangi bir noktadan koparsa deney geçersiz sayılır [10].

#### 5. YAPILAN DENEYLER

Deneyleerde kullanılan çelik halat numuneleri, Ø6 mm çapında (6x7) kompozisyonunda, Ø8 mm çapında (6x7) kompozisyonunda ve Ø10 mm çapında (6x7) kompozisyonunda halatlardan seçilmiştir. Halatları oluşturan çelik teller, kordonlar ayrı ayrı mekanik deneye tabi tutulmuştur.

##### 5.1 DENEYLERDE KULLANILAN TEST CİHAZLARI

Bu deneyleeri gerçekleştirirken kullanılan 50 kN kapasiteye sahip Shimadzu marka çekme cihazı Şekil 4'de gösterilmektedir. Bu cihazla halat telleri ve demetlerinin çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Hem bu cihazın çenelerine uygun, hem de numunelerin standartlarda

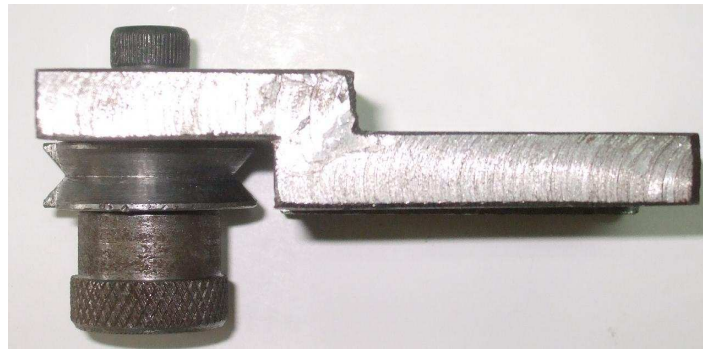
belirtilen yerlerden kopmasını sağlayacak deney aparatları tasarlanmış ve imal edilmiştir. Denenmiş tüm deney aparatları ilerleyen bölümde açıklanacaktır.



Şekil 4. Shimadzu Çekme Cihazı

## 5.2 HALAT TELLERİ İÇİN HAZIRLANAN DENEY APARATLARI

Tel çekme deney aparatı tasarlanırken dikkat edilen ilk husus, çekme deney makinasının çenelerine uygun gövde tasarlanmasıydı. O nedenle tasarım yaparken belli ölçü kısıtları dikkate alınmıştır. (İki çene arası açılabilen maksimum mesafe, çene ile aparatın temas edeceği yüzeyin alanı ). Diğer önemli nokta ise, makara çapının büyüklüğüydü. Büyük çaplı makara, aparatın ağırlığını da artıracak ve deney numunelerinin makaraya sarılması sırasında daha yorucu bir işlem olacaktı. O nedenle öncelikle küçük çaplı makaraya sahip aparatlar tasarlanmıştır. Şekil 5'te denenmiş ilk aparatın resmi gösterilmiştir. Tel numuneleri özel olarak hazırlanan tel çekme test aparatına sarılmış ve hazırlanan test aparatı Shimadzu test cihazına yerleştirilerek çekme testi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Halat teli çekme aparatı prototip 1

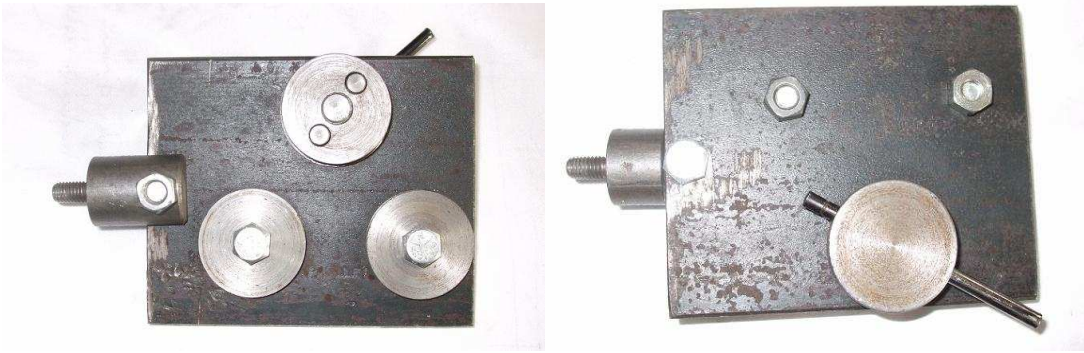
Yapılan tekrarlı deneyler neticesinde görülmüştür ki, tel numuneleri makara üzerinden bir noktadan kopuyor ve standartlara göre bu deneyler geçersiz sayılıyordu.

İkinci olarak düşünülen yöntem ise makara yiv formunu değiştirmektir. İlk yöntemde sivri olan makara yivinin bu kez ufak bir radius ile yuvarlatılmış halini içeren mevcut tel çekme aparatı Şekil 6'da üzerinde birkaç deney yapılmıştır ve tel numunelerinin yine makara üzerinden koptuğu görülmüştür. Bu deney neticesinde, yiv formunun yuvarlatılmasının deneyde herhangi bir olumlu iyileştirme getirmediği görülmüştür. Standartlara göre bu aparat ile yapılan deneyler de başarısız sayılmıştır.



Şekil 6. Halat teli çekme aparatı prototip 2

Bu durumda tel çekme aparatlarında yapılabilecek iki çeşit iyileştirme vardı. Bunlardan biri, teli birkaç makara üzerinden dolamak suretiyle, tel numunesi ile makaralar arasında oluşabilecek sürtünme yüzeyini azaltmak ve teli çok fazla bükmek zorunda kalmadan aparata bağlayabileceğimiz bir tasarım yapmak. Bu yöntemin sakıncası tel çekme aparatı birkaç makara içereceğinden gövdesinin çekme cihazı çeneleri arasında sığamayacak kadar büyük ve ağır olmasıydı. Şekil 7'de üçüncü olarak denenen tel çekme aparatının resmi görülmektedir. Bu yöntemde yapılan deney, aparatın ağırlığı nedeniyle çekme cihazı çenesinden kaymaya başlamıştır. Deney sonuçlanmadan iptal edilmiştir.



Şekil 7. Halat teli çekme aparatı prototip 3

İkinci olarak yapılabilecek iyileştirme ise, tel numunesinin tek ve daha büyük çaplı bir makara üzerine dolamaktır. Çap büyüyeceğinden tel numunesi makara üzerinde dolarken daha az bükülmüş olacak ve makara üzerinden kopmalar engellenmiş olacaktır. Bu nedenle tel numunesi 60 mm çapındaki makara üzerine sarılarak yapılan deneylerde, gerilme yığılması azaldığından, başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 8'de tel çekme aparatının resmi görülmektedir.





Şekil 8. Halat teli ve demeti çekme aparatı prototip 4

Halat teli çekme aparatının makara yivi genişletildiğinde, üzerine kordonların sarılması mümkün hale gelmiştir (Şekil 8). Böylece yeni bir tasarıma ihtiyaç duymaksızın aynı aparat ile hem tel numuneleri hem de demet numuneleri çekilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır.

### 5.3 HALATLARA UYGULANAN DENEY YÖNTEMLERİ

İlk yapılan deneyde, çelik halat numunesine herhangi bir işlem uygulanmadan, doğrudan çekme test cihazının çeneleri vasıtasıyla sıkıştırılarak çekme testi gerçekleştirildi. Çelik halat, çenelerin sıkıştırdığı yerlerde hasara uğradığı için kopma bu noktalarda gerçekleşmiştir. Bunun neticesinde, çok düşük kopma değerleri verdiğinden bu yöntem başarısız olmuştur.

İkinci yöntemde ise, yine çelik halat numunesine yine herhangi bir işlem uygulanmaksızın çekme test cihazına bağlanırken çenelerle halat arasına Alüminyum sac levhalar konuldu. Alüminyum sacın, çenelerin halata zarar vermesini önleyeceğini ve halat numunelerin uygun bir değerde kopmasını sağlayacağı düşünülmüştür. Fakat halat numunesi, çekme testi esnasında Alüminyum sac levhalardan sıyrıldı ve test başarısızlıkla sonuçlandı.

Üçüncü yöntemde ise, kıvrırma gözü ve preslenmiş kurşun bilezik denen yöntem ile test numunesi hazırlandı. Bu yöntemde 50 cm uzunluğundaki çelik halat numunesinin ucu rodensa denilen bir parça etrafında döndürülür ve kurşun bilezik halat ve halat ucu içinde kalacak şekilde yerleştirilir. Kurşun bilezik preste sıkıştırılır. Bu yöntem numunenin her iki ucuna da uygulanır.

Hazırlanan test numunesinin uçlarına inox kilitler takılır. Çekme test cihazının çenelerinde bu inox kilitler sıkıştırılarak çekme işlemi gerçekleştirilir. Bu testlerde halat numuneleri kurşun bileziklerin halatı sıkıştırdığı yerden kopmuş olup, beklenen değerleri vermediği için bu deneyde başarısız sayılmıştır.

En son yöntem olarak halat numunelerinin, uçlarına çinko döküm yapmak düşünüldü. İlk olarak deneyde kullanılacak halatlar 50 cm uzunluğunda kesilir. Bu halatlar her iki ucun 7-8 cm aşağısından bağ teli ile bağlanır. Halatın kordonları bağ teline kadar ki mesafede tek tek ayrılır, ayrılan kordonlardaki tellerde aynı şekilde birbirlerinden ayrılarak dışa doğru kıvrılırlar. Bu tel ayırma işlemleri Şekil 9.a'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Halatların test için hazırlanması

Ayrılan teller tiner vb. temizleyicilerle herhangi pislik veya yağ tabakası kalmayacak şekilde temizlenir. Bu aşamadan sonra halat, döküm kalıbına açılan uçlar kalıp içinde kalacak şekilde yerleştirilir. Son olarak kalıp içine hazırlanan çinko dökülerek işlem tamamlanmış olur. Bu işlemler halatın her iki ucuna da uygulanacaktır. Hazırlanmış bir halat numunesi Şekil 9.b’ de gösterilmiştir. Son olarak halat test numunesi çekme cihazı çeneleri arasına yerleştirilir ve deneye başlanır (Şekil 10).



Şekil 10. Halat Çekme Testi

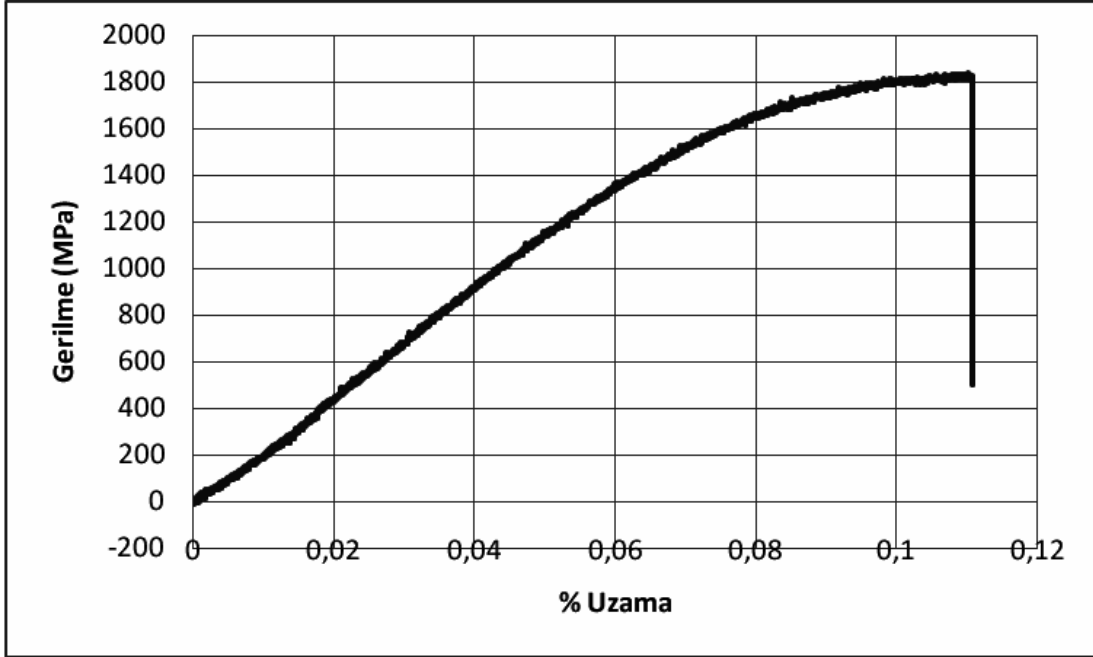
## 6. DENEY SONUÇLARI

Aynı halata ( $\varnothing$  8 mm çaplı halat) ait örnek alınan bir tel ve demet, Şekil 8’de görülen aparatla gerçekleştirilen deneylerin neticeleri Çizelge 2’de görülmektedir.

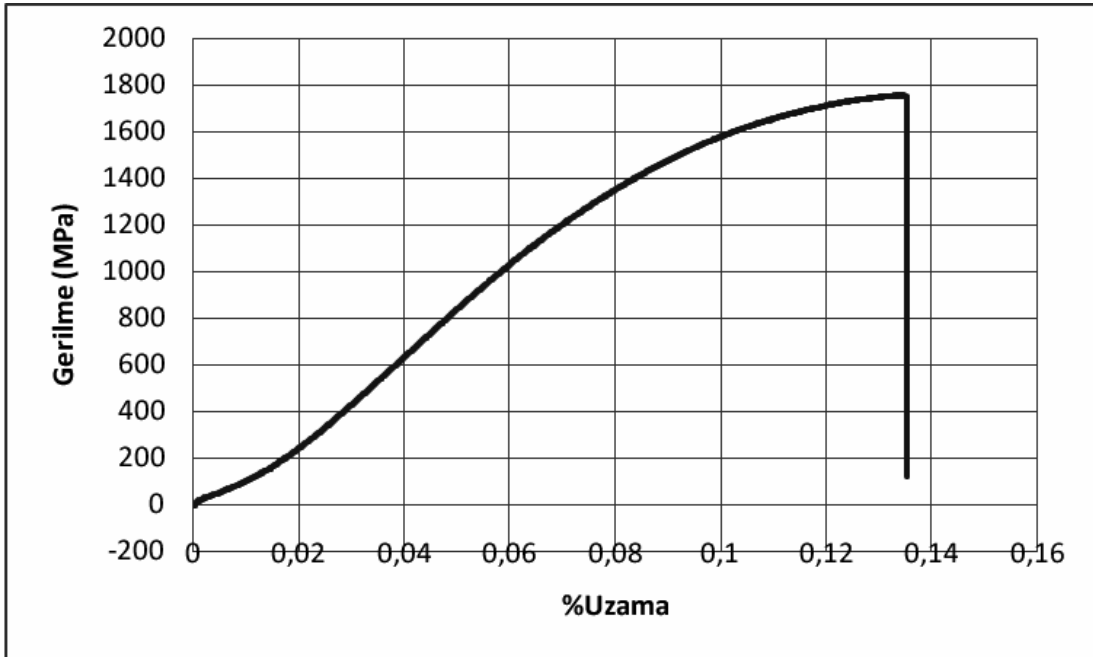
Çizelge 2. Tel ve demet çekme deneyi sonuçları

	Tel	Demet
<b>Tel çapı</b>	0.93 mm	2.58 mm
<b>Deney uzunluğu</b>	300 mm	150 mm
<b>Elastiklik modülü</b>	196000 N/mm <sup>2</sup>	196000 N/mm <sup>2</sup>
<b>Maksimum kuvvet</b>	1246.88 N	7179.69 N
<b>Kopma gerilmesi</b>	1835.55 N/mm <sup>2</sup>	1373.33 N/mm <sup>2</sup>

Aynı halata ( $\varnothing$  8 mm çaplı halat) ait merkez telinin ve dış demet telinin gerilme uzama grafikleri Şekil 11’de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Telinin Gerilme-Uzama Grafiği



Dış Demetinin Gerilme-Uzama Grafiği

Şekil 11.  $\varnothing$  8 mm halata ait tel ve demetin deney grafikleri



Şekil 10'da görüldüğü gibi uçları hazırlanan çelik tel halatların testlerinin yapılmasından elde edilen deney neticeleri Çizelge 3'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 3. Çelik tel halat deney sonuçları

	<b>Kopma gerilmesi</b> (N/mm <sup>2</sup> )	<b>Maksimum kuvvet</b> (N)	<b>Elastiklik modülü</b> (N/mm <sup>2</sup> )
Ø 10mm 6x7 Halat	719.25	56490	196000
Ø 8mm 6x7 Halat	711.82	35780	196000
Ø 8mm 6x37 Halat	672	33810	196000

## 7. DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışma ile hem halat çekme yöntemleri araştırılmış hem de halatın, teli ve kordonu ile kopma kuvveti bakımından ilişkisi incelenmiştir. Tüm yapılan deneyler sonucunda halat çekme yöntemi olarak, halat uçlarına çinko döküm yapılmasının en uygun yöntem olduğu anlaşılmıştır. Tel ve kordon çekme yöntemleri olarak ise tel ve kordonun bir makara etrafından döndürülerek çekilmesi en uygun yöntemdir. Bu çalışmada çelik tel halatlara çekme deneyi yapılırken en etkili sonucu veren aparatın tasarımı tespit edilmiş ve deneyler sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] **Url-1**, www.casar.de
- [2] **Demirsoy, M.**, 1999. Transport Tekniği – Kaldırma Makineleri Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul, Bölüm 2.
- [3] **Kösemen, Ö.**, 2008. Asansör Taşıyıcı Halatların Statik Yük Altında Deneysel Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [4] **Şentürk, Ö.**, 2007. Eksenel Yüklü Tel Halat Demetlerinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [5] **Ernst H.**, 1973. Kaldırma Makinaları Cilt-1, Çev. T.Aritan, G.Hazardın, G.Keçecioglu, S.Yurdakonar, Fon Matbaası, Ankara.
- [6] **Hardin, J-MI.**, 1998. On Path Independence of Axially Loaded Wire Rope Strands, *Doktora Tezi*, University of Illinois, Urbana-Champaign.
- [7] **Öztepe, H.**, 1999. Transport Tekniği Kaldırma ve Taşıma Makinaları, İTÜ Makina Fakültesi İstanbul.
- [8] **N.N.**, 2005. TS EN 12385-1 Çelik Tel Halatlar, Güvenlik, Bölüm 1: Genel Kurallar, TSE, Nisan 2005.
- [9] **N.N.**, 2006. ASTM A416/A 416M-06 Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete, ASTM.
- [10] **N.N.** 2007. ASTM A1007-07 Standard Specification for Carbon Steel Wire for Wire Rope, ASTM.