

ASANSÖR ÇELİK TEL HALATLARININ YORULMA ÖMRÜNÜ BELİRLEMeye YÖNELİK DENEY DÜZENEĞİ

Mohsen Seyyedi¹, Adem Candaş², C. Erdem İmrak³

Asansör Teknolojileri Laboratuvarı, Makina Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi^{1,2,3}
seyyedi21@itu.edu.tr¹, candas@itu.edu.tr², imrak@itu.edu.tr³

ÖZET

Asansör sistemlerinde kullanılan çelik tel halatların, kasnak üzerinde tekrarlanan eğilme hareketi, halatların fiziksel özelliklerinde zamanla bozulmaya neden olur. Tekrarlanan bükme düzelmeye döngüsünde halat tellerinde yorulma kaynaklı kırılmalar meydana gelir. Asansör sistemlerinin güvenilirliği için kullanılan halatların yorulma ömrünü doğru bir şekilde değerlendirmek önemlidir. Yorulma ömrünü etkileyen faktörler arasında halat yapısı, kasnak-halat çap oranı (D/d), işletme hızı ve uygulanan yük bulunur. Halat yüzeyindeki tellerin kopmasıyla yorulmanın başladığı anlaşılır. Bu kopmaların sayısı halatın değiştirilme zamanı ile ilgili bilgi vermektedir. Bu çalışmada çelik tel halatların ömrünü belirlemek amacıyla yeni bir çelik tel halat yorulma test makinası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım, literatürde mevcut araştırmalarda kullanılan test düzeneklerinden farklı olarak üç kasnaktan oluşmaktadır. Bu sayede test edilecek farklı türdeki halatlarda gerekli ön gerilme sağlanmış ve aynı zamanda halatın tahrik kasnağı üzerinde gerekli sarma açısı ve halat - kasnak temas uzunluğu kontrol edilebilir olmuştur. Bir diğer özellikse kasnakların değiştirilip farklı çapta kasnaklar kullanılabilmesidir. Tasarlanmış yüklem bölmesi sayesinde de halatta farklı gerilim kuvvetleri sağlanabilir. Araştırma sonucunda Türkiye’de ilk kez yerli olarak üretilip kullanılacak bir çelik tel halat yorulma makinası tasarlanmıştır.

1. GİRİŞ

Çelik tel halatlar yüksek aksel mukavemet ve eğilme esnekliği sayesinde çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özellikleri onları asansörler, vinçler, köprüler, açık deniz platformları ve teleferikler için uygun hale getirmektedir. Bu halatlar kasnaklar üzerinde eğilmeye (bend over sheave: BoS) maruz kaldıklarında yük değişimlerinden dolayı yorulmaya maruz kalırlar ve zamanla fiziksel özellikleri bozulur. Önceki çalışmalar, bu halatların yorulma davranışını kapsamlı bir şekilde incelemiştir [1-10]. Bu davranışın anlaşılması kullanılan sistemlerde güvenlik ve güvenilirlik açısından kritiktir. Bu bağlamda, halatların maruz kaldığı gerilimlerin ve çevresel faktörlerin ayrıntılı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Yorulma ömrünün tahmin edilmesi, mühendislerin ve teknisyenlerin bu sistemlerin bakım ve onarım programlarını daha etkili bir şekilde planlamalarına yardımcı olacaktır. Mevcut literatürde D/d oranı (Kasnakların çapının halat çapına oranı) konusunda ayrıntılı bir inceleme mevcut değildir. Ancak sınırlı halat çapları, operasyonel hızlar ve yüklem miktarları test edilmiştir. Bu nedenlerle, çelik halatların yorulma davranışına yönelik araştırmaların devam etmesi ve bu alanda elde edilen verilerin endüstriyel uygulamalara entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yakın sayılabilecek bir örnekte 2011 yılında Tokyo’da bir asansör sistemi halatının kopması, geliştirilmiş denetim yöntemlerine olan ihtiyacı vurgulamıştır. Kaza, yaşlanma ve yetersiz düzenli denetim nedeniyle halatın mekanik özelliklerinin doğal olarak zayıflamasına bağlanmıştır [11]. Bu nedenle çelik halatların otomatik ve tahribatsız gözlemi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [12].

Çelik halat yorulmasını anlamak için önemli araştırmalar yapılmıştır. Feyrer [13] BoS yorulması altında halatları incelemiş ve çekme yükü, kasnak çapı, çinko kaplama, kasnak geometrisi ve malzemesi, yan sapma ve sarma açısının dayanıklılık üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Onur ve İmrak [4] çekme yükü (S) ve kasnak çapının (D) yorulma dayanıklılığı üzerindeki etkisini çevrim sayıları açısından incelemiştir. Ridge vd. [6] tel kopmaları, abrasif aşınma, gevşek teller, plastik aşınma, korozyon ve dengesiz eğilme gibi çeşitli hasarların BoS yorulma dayanıklılığı üzerindeki etkilerini araştıran deneylerden bulgular sunmuştur. Teorik olarak yorulma ömrünü tahmin etmek için Feyrer denkleminden yararlanılmış ve bunu deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Bu çalışma çelik tel halatların kaynak üzerinde eğilme (BoS) altında yorulma ömrünü belirlemeyi amaçlamaktadır. Özellikle literatürde kapsamlıca incelenmemiş olan kasnak çapının halat çapına oranı, halat çapı değişimi, ön

gerilme değişimi ve kasnak profili değişimi gibi etmenlerin incelenmesi amacıyla yeni bir test düzeneği tasarlanmıştır. Bu test düzeneği İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi bünyesinde yer alan Asansör Teknolojileri Laboratuvarı'nda (transport.itu.edu.tr/laboratuvar) yer almaktadır. Türkiye'de ilk kez Asansör Teknolojileri Laboratuvarı bünyesinde faaliyet gösteren "Halat Yorulma Test Düzeneği" deneysel amaçlar için özel olarak tasarlanmıştır. Sistem bu haliyle Türkiye'de ilk kez kullanılacaktır.

2. TEL ÖMRÜ ÜZERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Farklı sektörlerde kullanılan çelik tel halatlar, kullanım koşullarına göre çeşitli hasarlara maruz kalmaktadırlar. Bu hasarları etkileyen ve sonucunda çelik tel halatın ömrünü etkileyen bazı önemli faktörler bu başlıkta verilmiştir.

2.1. Eksenel Gerilme

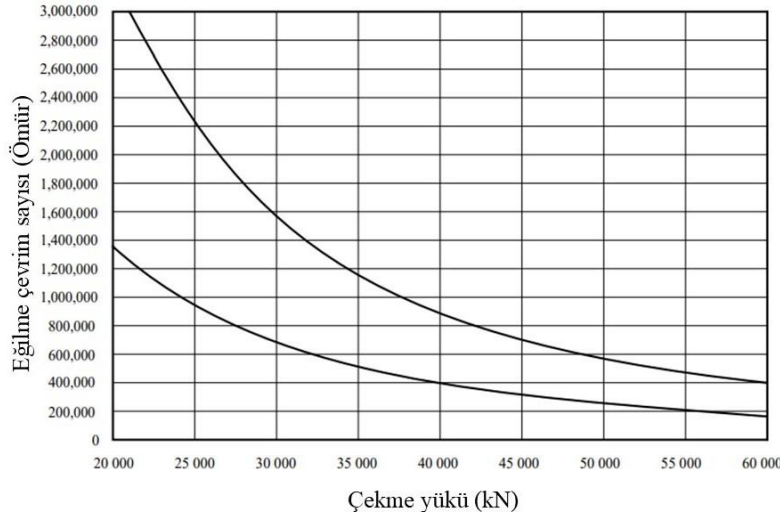
Eksenel veya normal gerilmeler, halatın eksenini boyunca hizalanan kuvvetlerden kaynaklanır. Eksenel gerilme, tel halat içindeki gerilimin gerçek metalik kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır ve (1)'de gösterildiği gibi ifade edilir. Tel halatın kopma mukavemeti, çekme mukavemeti ile belirlenir. Eksenel gerilme (fa) için formül aşağıdaki gibidir:

$$fa = \frac{T}{A} \quad (1)$$

Burada fa eksenel gerilme (MPa), T halattaki gerilme (N) ve A gerçek metalik kesit alanı (mm^2) olarak verilmiştir.

2.2. Çekme Yüğü

Feyrer [13] tel halat üzerinde çekme yükünü yorgunluk ömrüyle ilişkilendirmek için deneyler yapmıştır. Elde edilen sonuçlar, çekme yükünün artırılmasıyla eğilme ömrünün azaldığını göstermektedir. Bu durum Şekil 1'den görülebilir.

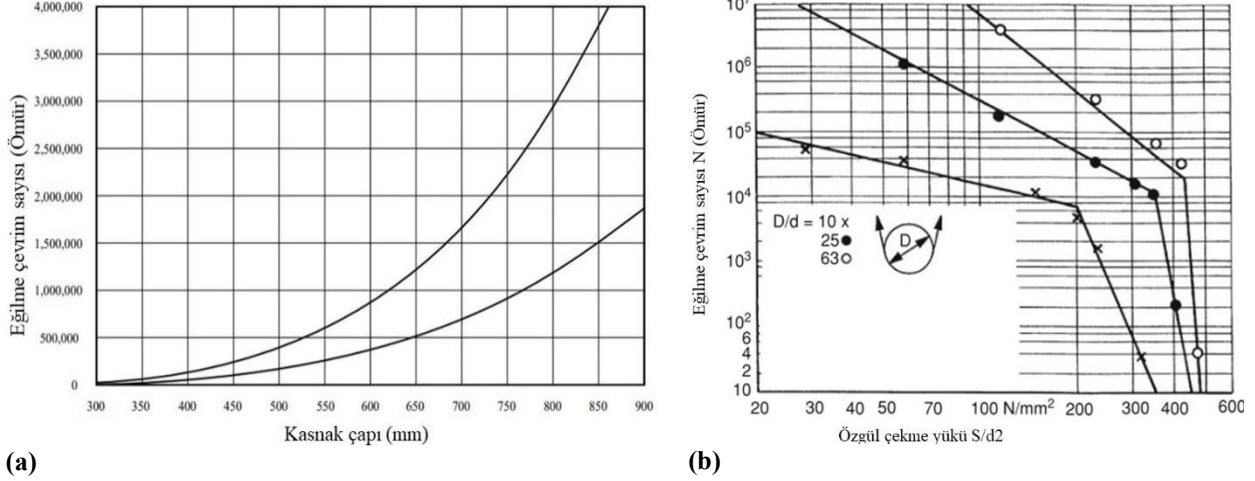


Şekil 1. Halat geriliminin bir fonksiyonu olarak eğilme çevrim sayısı [14]

2.3. Kasnak Çapı

Kasnak çapı, halatın mukavemetini büyük ölçüde etkiler ve eğilme nedeniyle etkin mukavemetin kaybolmasına neden olur. Testler, kasnak çapının halat çapına göre azalmasıyla birlikte halat mukavemet verimliliğinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Üreticiler, halat kompozisyonuna dayalı olarak kasnak boyut standartlarını belirlerler [13]. Şekil 2(a), kasnak çapı ile servis dışı bırakma veya tamamen kopma için gereken çevrim sayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir ve kasnak çapının artırılmasının halat ömrünü önemli ölçüde uzattığını belirtmektedir. Şekil 2(b) 16mm çapında anma dayanımı 1650 N/mm^2 olan 8x25 Filler halatı için çekme yükü

yerine özgül çekme yükü terimi kullanılmıştır. Feyrer [13], halat ömrünün D/d çap oranı ve çekme yükü ile nasıl değiştiğini deney yapmadan tahmin edebilmek için özgül çekme yükünü tercih etmiştir. Şekil 2(b)'de, sabit özgül çekme yükünde D/d çap oranı arttıkça halat ömrünün arttığı, özgül çekme yükü arttıkça aynı D/d çap oranı için halat ömrünün azaldığı görülmektedir. Bu azalma, belirli bir özgül çekme yükü değerinden sonra daha da belirginleşir ve özgül çekme yükünün sınır değerini gösterir.



Şekil 2. a) Kasnak çapına göre eğilme çevrim sayısı [14], b) Bir filler halatı için eğilme çevrimlerinin kopma sayıları [13]




2.4. Eğilme Prensibi

Dinamik çalışma koşullarında, tel halatlar öncelikle kasnaklar üzerinde eğilmeye maruz kalır ve bu da eğilme yorulmasına yol açar. Eğilme mekanizmasının anlaşılması, eğilme çevrimlerinin anlaşılması için önemlidir. Şekil 3(a) farklı eğilme çevrimlerini gösterirken, Şekil 3(b) halat ilerleme boyu (h), eğilme değişmesinin olduğu halat boyu (l) ve kablo ile kasnak arasındaki temas uzunluğunu (u) göstermektedir. İşletme sırasında, halatlar kasnaklar üzerinde ya basit ya da ters şekillerde bükülür. Şekil 3(b)'de gösterilen yorulma testinde, halat tekrarlanan basit eğilmeye maruz kalır ve eğilme çevrim sayısı (N_{sim}) olarak adlandırılır. Basit eğilmedeki çevrim sayısı, halatın ilerleme uzunluğuna (h) bağlıdır. Eğer h , u 'dan kısa ise, halat her çevrimde basit eğilmeye maruz kalır. Bu çalışma için tasarlanan makina bu prensip üzerine çalışır. Her çevrimde, kablo test kasnağının sağ ve sol bölgelerinde bükülür ve eğilme uzunluğu (h) olur. Test sırasında çevrim sayısı (Z) ve toplam eğilme uzunluğu (l), denklem (2) kullanılarak hesaplanır [13].

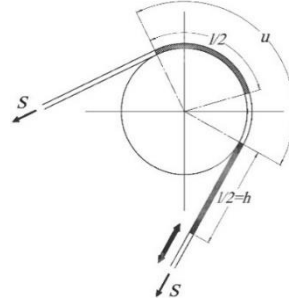
$$l = 2h \text{ ve } N = N_{sim} = Z, \quad \text{için } h < u \quad (2)$$

2.5. Kasnak Kanalı Profili

Kasnağın kanal profili ve kasnak malzemesi, çelik tel halatların ömrünü önemli ölçüde etkiler. İdeal olarak, kanalların nominal halat çapının %6 ila %8 fazlası olması gerekir, çünkü dar veya geniş kanallar halat ömrünü azaltır. Yanlış kanal geometrisi, laboratuvar testlerinin öngördüğünden daha büyük ömür azalmalarına neden olabilir [14]. Genelde kullanılan kanal profilleri yarım daire yiv, kama yiv, yarıklı kama, alttan oyuk yivdir. Her halat kompozisyonu için uygun kanal çapı hem kasnakların hem de halatın ömrünü uzatır. Sertleştirilmiş çelik kanallar, aşınma nedeniyle kanal geometrisinde değişiklikleri önler ve böylece eğilme yorulma ömrünü artırır [13].

	Basit Eğilme	N_{sim} N_{sim}
	düz - eğilmiş - düz veya eğilmiş - düz - eğilmiş	
	Ters Eğilme	N_{rev} N_{rev}
	eğilmiş - düz - ters eğilmiş	
	Dalgalı gerilme ve eğilme	N_{comb} N_{comb}
	Düz, artırılmış kuvvet - eğilme - düz, azaltılmış kuvvet	

(a)



(b)

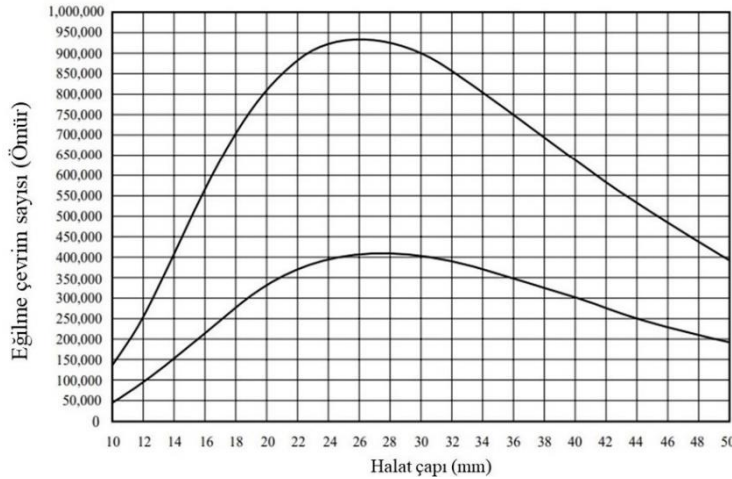
Şekil 3. a) Eğilme çevrim sayıları sembolleri b) Düz eğilme

2.6. Halat Sarım Kompozisyonları

Çelik tel halatların kompozisyonu, kaskak üzerinde eğilme yorulma ömrünü etkiler. Halatlar, farklı talepleri karşılamak için çeşitli sarım kompozisyonlarında üretilir. Daha büyük tellere sahip daha kalın kompozisyonlar aşınmaya daha dirençliken, daha küçük tellere sahip esnek kompozisyonlar eğilmeye daha dirençlidir. Genellikle, tek bir halat tüm tahrip edici faktörlere karşı dayanamaz ve bu nedenle halat seçiminde ihtiyaca yönelik tercihler yapılması gerekir. Asansör sistemlerinde yaygın olarak tercih edilen halatlar Seale, Warrington veya Filler tiplerdeki aynı adımda paralel tellerle birlikte lif çekirdekleri bulunur. En yaygın kullanılan sınıflar 8x19, 6x19 ve 6x25'tir.

2.7. Halat Çapı

Tel halat çapı, özellikle yorulma ömrü için kritik bir faktördür. Genel olarak, çap Şekil 4'te gösterildiği gibi, "en uygun halat çapına ulaşana kadar yorulma ömrü ile birlikte artar. Daha sonra ise azalır. Tel halat çapı seçilirken en uygun halat çapı, çekme yükü ve kaskak çapı parametreleri dikkate alınmalıdır.



Şekil 4 Halat çapına göre eğilme çevrim sayısı [14]

2.8. Tel Halat Özü

Son olarak öz tipi, tel halatların yorulma ömrünü etkileyen faktörlerden biridir. Lif özlü halatlar üzerinde yapılan eğilme testleri, Sisal ve Polipropilen (PP) özlerin benzer sonuçlara sahip olduğunu, Poliamid (PA) özlerin ise üstün dayanıklılıkları nedeniyle daha uzun ömürlü olduğunu göstermiştir. Öz kütlelerinin artması, yorulma ömrünü uzatır. Çelik özlü halatlar üzerinde yapılan testler, katı polimer ile kaplanmış çelik özlerin (ESWRC) ve dış tellere paralel

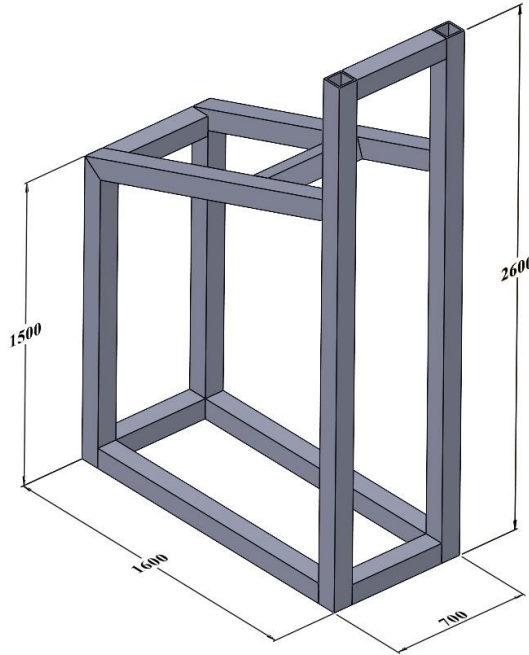
hizalanmış olanların (PWRC), bağımsız tel halat özlerine (IWRC) göre daha uzun eğilme ömrüne sahip olduğunu göstermiştir [13].

3. TASARIM

Bu araştırma kapsamında yapılan literatür taramasında, kullanılan test makinalarının genellikle benzer bir yapıya sahip olduğu ve iki kasnaktan oluştuğu gözlemlenmiştir. Örnek olarak [3-5,7,15-18] araştırmalarında kullanılan test makinaları, iki farklı çaptaki kasnaktan oluşan aynı prensiple çalışmaktadır. Aynı prensip kullanılarak, büyük çaplı halatları test etmek için aynı çaptaki iki kasnakla yapılan araştırmalar da mevcuttur [8,9,19]. Bu araştırmada ise, yukarıdaki araştırmalarda kullanılan test düzeneklerinden daha kullanışlı ve kontrol edilebilir bir test düzeneği tasarlanmıştır. Tasarlanan bu düzeneğe göre, çelik halat bir tahrik kasnağı üzerinde sürekli bir ileri-geri hareket yaparak eğilmeden kaynaklanan yorulmaya maruz kalacak ve bunun sonucunda halatın dış yüzeyindeki tellerde kırılmalar meydana gelecektir. Aşağıda tasarım aşamaları anlatılmıştır:

3.1. Gövde Tasarımı

Gövde tasarımında dikkat edilen en önemli konulardan biri, test düzeneğinin farklı malzeme testleri için ayarlanabilir olması ve gerektiğinde farklı çaplardaki kasnakların kullanılabilmesidir. Bir diğer önemli konu, kasnakların birbirinden olan mesafesinin ayarlanabilir olması ve halatla kasnak temas yüzeyinin kontrol edilebilmesidir. Bu sebeplerden dolayı düzeneğin ön kısmındaki kolonlar 2600 mm boyunda tasarlanmıştır. Şekil 5'te test düzeneği ana taşıyıcı gövdesinin boyutları genel olarak göstermektedir.

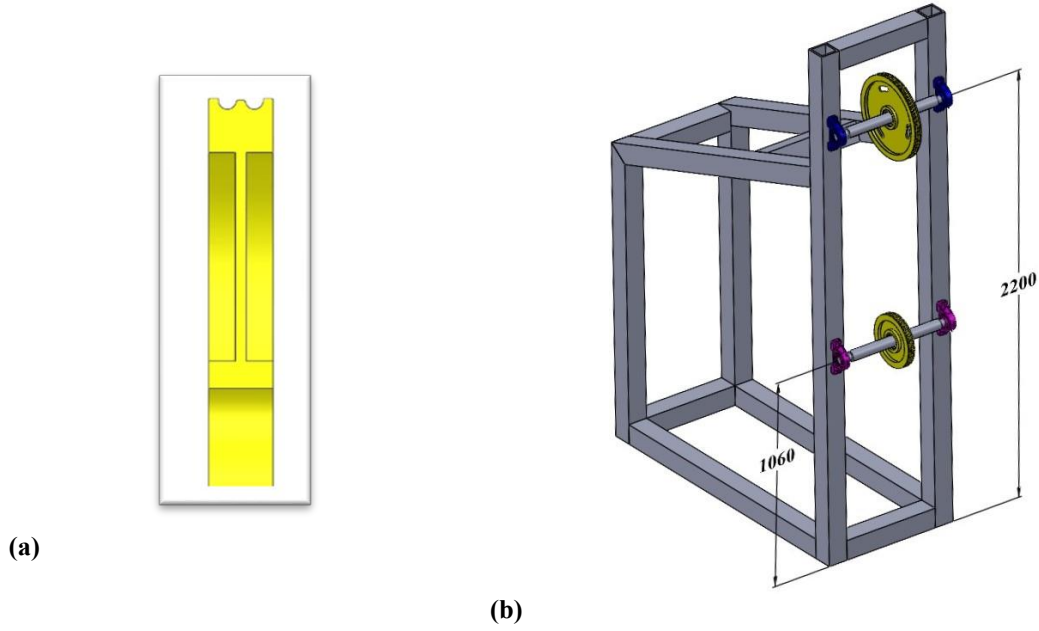


Şekil 5 Test Düzeneği Taşıyıcı Gövdesi Ana Ölçüleri (mm)

3.2. Kasnaklar

Tasarımda kasnaklar farklı deneyler için değiştirilebilir olarak tasarlanmıştır. Deney yapılacak halata özel kasnaklar kullanılabilir. İlk tasarımda kullanılan kasnaklar 400 mm çapında tahrik kasnağı ve 250 mm çapında saptırma kasnağıdır. Şekil 6(a)'da tasarımda kullanılan kasnakların kesiti gösterilmiştir. Bu kasnaklar

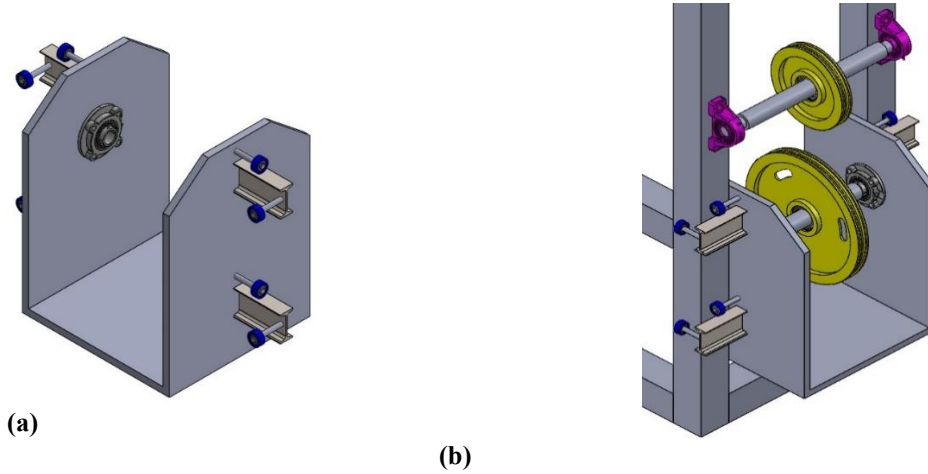
sırayla 2200 mm ve 1060 mm zeminden yükseklikte konumlandırılmışlardır (Şekil 6(b)). Kasnakların yataklanma kısımları ayarlanabilir olduğundan, bu yükseklik gerektiğinde değiştirilebilir.



Şekil 6. a) İki yuvalı kasnak kesit profili, b) Ayarlanabilir kasnak konumları (mm)

3.3. Yük Bölmesi

Halatlarda gerekli gerginliği sağlamak amacıyla ağırlıkların konulabileceği yük bölmesi Şekil 7(a)'da gösterilmektedir. 450 kg'a kadar ağırlık kapasitesi olan bu bölmenin hareketini yönlendirmek amacıyla küçük yataklara bağlanmış kollar mevcuttur. Bu yataklar makinanın ön kolonlarının üzerine oturtularak yük bölmesinin yukarı ve aşağı doğru kolayca hareket etmesini sağlar (Şekil 7(b))

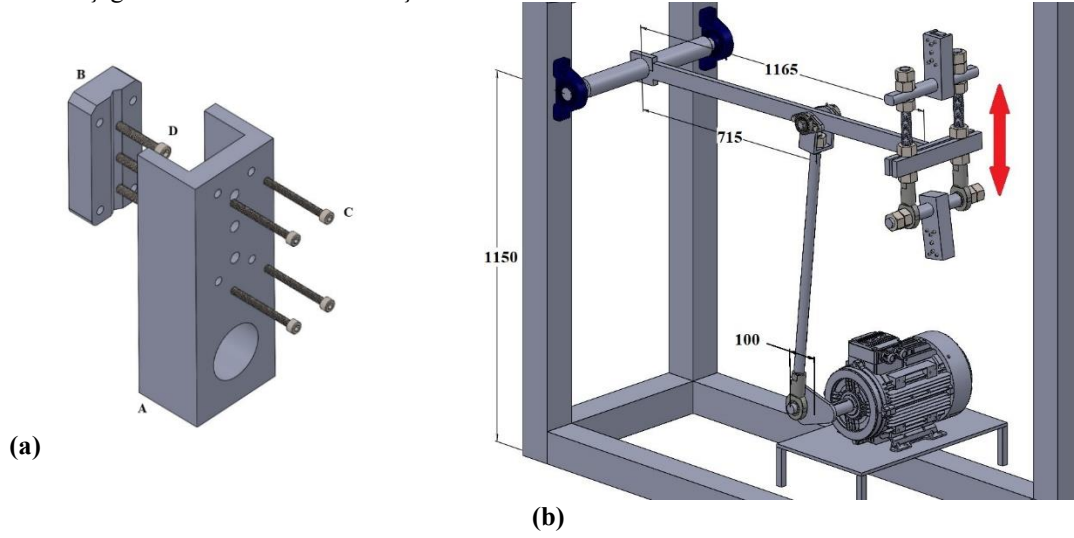


Şekil 7 a) Yük taşıma bölmesi b) Yük taşıma bölmesi konumlandırılması

3.4. Üç Kol Mekanizması

Test düzeneğinde yerleştirilen halatın git-gel hareketini sağlamak için ve kullanılan 4,32 kW gücündeki senkronize elektrik motorunun dairesel hareketinin doğrusal harekete dönüştürmek için üç kol mekanizması kullanılmıştır. Bu mekanizmada 1120 mm uzunluğundaki ana kol, gövdenin arka kolonlarına yerden 1150 mm yükseklikte

yataklarla sabitlenmiştir. Diğer kol ise yataklardan 715 mm uzaklıktan ana kola bağlanıp motordan gelen güç iletimini sağlamıştır. Bu güç iletim kolu, 100 mm'lik bir dirsek kullanılarak motora bağlanmıştır ve dairesel hareketi doğrusal bir şekilde ana kola iletmektedir. Bu hareketin sonucu olarak ana kol eğri bir çizgi üzerinde yukarı ve aşağı doru hareket etmektedir Şekil 8.



Şekil 8 a) Halat tutma aparatı b) Üç kol mekanizması

3.5. Halat Tutma Aparatı

Kasnaklar üzerinde hareket eden halatı ana kolun ucunda tutmak ve onu yönlendirmek için özel bir parça tasarlanmıştır. Bunun amacı, sabitlenen halatın yapısına zarar vermemek veya en az zararla güçlü sabitleme imkanı sağlamaktır. Genellikle halatları sabitlemek için kullanılan klemenslerde, halatın katlanması gerekmektedir ve bu durumda halat deneyden önce hasar görmektedir. Bu da deneyden alınan verilerin doğruluğunu ve hatta kasnak üzerinde bükülen kısmın hasar görmesinden önce bağlantı kısmının hasar görmesine sebep olabilir. Tasarlanmış olan bu aparat Şekil 8(a)'da gösterildiği gibi birbirine bağlanan iki parçadan oluşmaktadır. Çelik halat parça B üzerinde bulunan çentik ve D civataları arasında sıkıştırılıp, aynı zamanda C civatalarıyla parça A'ya sabitlenir. Ayrıca parça A üzerindeki mil yuvasından 40 mm çaplı bir mil üzerine konumlanmıştır. Şekil 8(b)'de gösterildiği gibi, iki adet vidalı mil ve rot başlı rulman kullanılarak halat tutma aparatları üç kol mekanizmasındaki ana kolun ucuna sabitlenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi bünyesinde yer alan Asansör Teknolojileri Laboratuvarı'nda (transport.itu.edu.tr/laboratuvar) Türkiye'de ilk kez tasarlanan ve üniversite-sanayi iş birliği ile imalatı gerçekleştirilen "Halat Yorulma Test Düzeneği" Şekil 9'da sunulmuştur. Asansör teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak 8 mm ve 6 mm çapındaki halatların kullanımı artmaktadır. Ancak, bu halatların işletme ömrü hakkında yeterli bilgi bulunmadığı ihtilaflara yol açtığı bilinmektedir. Yapılacak yorulma testleri yardımıyla bu konuda yeterli bir bilgi birikimi sağlanmış olacaktır. Ayrıca farklı çaplardaki halatlar için kasnaklar yerleştirilerek yorulma testleri yapılabilmektedir. Çap dışında, farklı yapılarıdaki halatlar da test edilebilmektedir. Bu düzenekten elde edilen veriler endüstrideki halat imal firmaları için önem arz etmektedir. Ayrıca bu veriler kullanılarak halat yapılarında ve kullanılacak kasnak çapında optimizasyonlar yapıp çelik halat ömrü en üst seviyeye çıkarılabilir. Bu düzenekte testler başladıktan sonra, çelik tel halatlarda yorulmadan kaynaklı oluşan tel kopmaları sayılabilir olacaktır. Halatlar için standartlarda belirlenen tel kopmalarının oluşma zamanı tespit edilebilecektir. Gerçek sistemlerde de bu veriler kullanılarak ciddi hasarlar ve olaylar meydana gelmeden önce halat değişimi yapılabilir. Aynı zamanda bu sistemde 90 derecelik açıyla ön kolonlara dört adet yüksek hızlı kamera sabitlenebilmektedir. Bu şekilde elde edilen görüntüler yüksek kapasiteli bir servera gönderilecektir. Bu bilgisayarda yapay zeka destekli görüntü işleme uygulaması kullanılacaktır. Böylece halatlar çalışır halde izlenebilecektir. Bu sayede eğilme yorulması kaynaklı tel kırıklarının oluşma zamanı ve oluşan kırık sayısı tespit edilebilir olacaktır.



Şekil 9. Asansör Teknolojileri Laboratuvarında bulunan test düzeneği

TEŞEKKÜRLER

Laboratuvarımıza halat yorulma test düzeneğinin kazandırılmasına destek ve katkılarından dolayı Sayın Serdar TAVASLIOĞLU ile SANEL Asansör Elektrik San. ve Tic. Ltd. Şti., MİK-EL Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti., Selkas Makina Asansör San. Tic. Ltd. Şti. ve Emay Metal Kalıp Mak. Müh. Asansör San. Tic. Ltd. Şti. firmalarına teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] **D. Battini, L. Solazzi, A. M. Lezzi, F. Clerici, and G. Donzella**, “Prediction of steel wire rope fatigue life based on thermal measurements,” *Int J Mech Sci*, vol. 182, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2020.105761.
- [2] **Z. Hu, E. Wang, and F. Jia**, “Study on bending fatigue failure behaviors of end-fixed wire ropes,” *Eng Fail Anal*, vol. 135, May 2022, doi: 10.1016/j.engfailanal.2022.106172.
- [3] **Y. A. Onur and C. E. Imrak**, “The influence of rotation speed on the bending fatigue lifetime of steel wire ropes,” *Mechanical Engineering Science*, vol. 225, no. 3, pp. 520–525, Mar. 2011, doi: 10.1243/09544062JMES2275.
- [4] **Y. A. Onur and C. E. Imrak**, “Experimental and theoretical investigation of bending over sheave fatigue life of stranded steel wire rope,” *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, vol. 19, pp. 189–195, 2012.
- [5] **Y. A. Onur and C. E. Imrak**, “Experimental determination of degradation influence on bending over sheave fatigue life of steel wire ropes,” *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2013, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/289072118>
- [6] **I. M. L. Ridge, C. R. Chaplin, and J. Zheng**, “Effect of degradation and impaired quality on wire rope bending over sheave fatigue endurance,” *Eng Fail Anal*, vol. 8, no. 2, pp. 173–187, Apr. 2001, doi: 10.1016/S1350-6307(99)00051-5.
- [7] **O. Salman and C. E. Imrak**, “Experimental investigation of corrosion effect on bending fatigue of the wire ropes,” *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, vol. 27, pp. 770–775, 2020.

- [8] **O. Vennemann, R. Törnqvist, and I. Frazer**, “Bending fatigue testing of large diameter steel wire rope for subsea deployment applications,” *International Society of Offshore and Polar Engineers.*, 2008.
- [9] **O. Vennemann, R. Törnqvist, B. Ernst, S. Winter, and I. Frazer**, “BENDING FATIGUE TESTS USING A SUITABLE NDT METHOD TO DETERMINE LIFETIME OF LARGE DIAMETER WIRE ROPES FOR OFFSHORE LIFTING APPLICATIONS,” 2008. [Online]. Available: http://asmedigitalcollection.asme.org/OMAE/proceedings-pdf/OMAE2008/48180/155/4570947/155_1.pdf
- [10] **D. Zhang et al.**, “Bending fatigue behaviour of bearing ropes working around pulleys of different materials,” *Eng Fail Anal*, vol. 33, pp. 37–47, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.engfailanal.2013.04.018.
- [11] **K. Minagawa and S. Fujita**, “Health Monitoring System for Wire Rope Using Image Processing,” *Lift & Escalator Technologies*, 2017.
- [12] **X. Huang, Z. Liu, X. Zhang, J. Kang, M. Zhang, and Y. Guo**, “Surface damage detection for steel wire ropes using deep learning and computer vision techniques,” *Measurement (Lond)*, vol. 161, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.107843.
- [13] **K. Feyrer**, *Wire ropes: Tension, endurance, reliability*. Springer Berlin Heidelberg, 2015. doi: 10.1007/978-3-642-54996-0.
- [14] **R. Verreet and Dipl. -Ing.**, “Calculating the service life of running steel wire ropes,” 1998.
- [15] **I. M. L. Ridge and C. R. Chaptlin**, “A machine for interactive fatigue testing of wire rope,” 1995.
- [16] **Y. A. Onur, C. E. Imrak, and T. Ö. Onur**, “Discarding lifetime investigation of a rotation resistant rope subjected to bending over sheave fatigue,” *Measurement (Lond)*, vol. 142, pp. 163–169, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.04.078.
- [17] **Y. A. Onur, C. E. Imrak, and T. Onur**, “Investigation on Bending over Sheave Fatigue Life Determination of Rotation Resistant Steel Wire Rope,” *Exp Tech*, vol. 41, no. 5, pp. 475–482, Oct. 2017, doi: 10.1007/s40799-017-0188-z.
- [18] **Y. A. Onur and C. E. Imrak**, “Discard fatigue life of stranded steel wire rope subjected to bending over sheave fatigue,” *Mechanics and Industry*, vol. 18, no. 2, 2017, doi: 10.1051/meca/2016049.
- [19] **S. Falconer, E. Nordgård-Hansen, and G. Grasmø**, “Computer vision and thermal monitoring of HMPE fibre rope condition during CBOS testing,” *Applied Ocean Research*, vol. 102, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.apor.2020.102248.