

# SENTETİK LİFLERDEN ÜRETİLEN HALAT YAPILARI VE KULLANIM PERFORMANSLARI

Ayşe Ebru TAYYAR, Gonca ALAN  
Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Tekstil Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Endüstrinin inşaat, denizcilik, tekstil gibi dallarında farklı çaplarda ve uzunluklarda halatlar kullanılmaktadır. Çok farklı konstrüksiyon ve formda halatlar mevcuttur ve halatların bu farklı yapıları kullanım yerlerine göre önem arz etmektedir. Tekstil halatlarında hammadde seçimi ve konstrüksiyon parametreleri hem üreticiler hem de araştırmacılar için oldukça önemlidir. Özellikle sentetik liflerin mukavemet, aşınma direnci, yorulma dayanımı gibi kullanım özelliklerinin iyileştirilmesi halat endüstrisini yakından ilgilendirmektedir. Bir halattan beklenen performans özellikleri belli standartlar doğrultusunda halata uygulanacak testlerle belirlenebilir. Ancak halatın uzun veya çok geniş çaplı olduğu durumlarda ya da test ortamı hazırlanamayacak alanlarda kullanılan halatlar için testler yapılması gerektiğinde bu testler çok fazla zaman ve maliyet kaybına yol açacağından araştırmacılar üretim parametrelerine bağlı olarak halat özelliklerini tespit etmek amaçlı modellemeler üzerinde çalışmışlardır. Bu makalede, farklı yapıdaki halatlar tanıtılacak ve halat özelliklerini belirlemek için yapılmış modelleme girişimlerinden bahsedilecektir.

**Anahtar Sözcükler :** Tekstil halatları, halat konstrüksiyonları, halat oluşumu ve halat modelleri.

## STRUCTURES OF ROPES PRODUCED WITH SYNTHETIC FIBRES AND THEIR USAGE PERFORMANCES

### ABSTRACT

The ropes are used in various sizes and lengths for different application areas of industry such as civil engineering, marine and textile. These ropes vary in construction and formation and the structures of ropes are quite important considering their application areas. Raw materials used to produce textile ropes and production parameters are very important for both producers and researchers. Rope production industry is closely related to the usage performance properties of synthetic fibres such as strength, abrasion resistance, and fatigue. Rope performance can be determined by standard testing methods. However, due to economical and time consumption reasons for testing longer and wider ropes with same equipment or necessity for difficult testing conditions, researchers have studied developing rope models to determine the rope properties depending on production parameters. In this paper, different constructed ropes will be explained and attempts to develop models determining the performances of ropes will be mentioned.

**Keywords :** Textile ropes, structures of ropes, formation of ropes and rope modelling

## 1. GİRİŞ

Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği [1] halat ve kordon için kısaca ve genel olarak şu şekilde tanımlar yapmıştır:

“Halat:

1. Mukavemet artırıcı bir eleman olarak hizmet etmesi için liflerin, bükülü ipliklerin, örülü ipliklerin veya lif demetinin uzun ve esnek bir şekilde birleştirilmesiyle oluşan yapıdır.

2. Geleneksel olarak ve A.B.D hükümetinin tüzüklerine göre çapı 3/16 inç'ten (4,7625mm) daha büyük olan kordondur.

3. İngiliz standartlarına göre çapı 4mm çaptan daha büyük kordondur.

Kordon (sicim)

1. Yük taşımaya uygun liflerin bükülerek veya örülerek dairesel enine kesite sahip bir forma sokulmuş halde bulunduğu bir üründür.

2. Geleneksel olarak ve A.B.D hükümetinin tüzüklerine göre çapı 2/32 inç (1,5875mm) ise kalın sicim, 3/16 inç (4,7625mm) kadar kordon ve daha yukarısı halat olarak adlandırılır.

3. Halat, ip ve kablo için birleştirici bir terimdir.”

ISO 2001 [2] standartlarında yer alan halat tanımı ise şöyledir:

“Halat: Çapı yaklaşık 4mm'den fazla olan ve üç veya daha fazla koldan bükülerek, örülerek veya bir çekirdek etrafına örgülü ya da plastik film tabakası kılıf yapılarak elde edilen bir kordon parçasıdır.”

Görüldüğü gibi halat terimi için farklı kaynaklara ait farklı tanımlar bulunmaktadır. Bununla beraber halat kelimesinin ilk çağrıştırdığı ifade dayanım yani mukavemet özelliği olmaktadır.

Halat üreticileri ve araştırmacılar uzun yıllar boyunca halat performansının geliştirilmesi ve üretim olanaklarının iyileştirilmesi için çalışmalar ve testler yapmışlardır. Bu çalışmalar ve testler sonucunda günümüz halat endüstrisinde kullanılan liflerle ilgili ilerlemeler kaydedilmiş ve bu liflerden elde edilen halatların performans özellikleri üretim öncesinde tahmin edilebilir hale gelmiştir.

Tekstil halat üretiminin temel basamağını lif seçimi oluştururken sonrasında gelen tüm üretim basamaklarında işlem parametreleri seçilmiş olan life ve halatın kullanım yerine göre belirlenmektedir.

Halat yapımında halatın kullanım özelliklerini etkileyecek tüm değişkenleri kapsayan bir tasarım uygulamak nerdeyse imkânsızdır. Bununla beraber halatlar için belirlenmiş test ve standart sayısı çok fazla değildir. Halat

performansının belirlenmesi için uygulanacak testlerin maliyeti ve yol açtığı zaman kaybı küçük tipteki halatlar için sorun olmasa da büyük halatlar için ciddi bir sorundur. Dolayısıyla bu maliyet ve zaman kaybının mümkün olduğunca önlenmesi için halat yapımından önce halat özelliklerinin tahmin edilebilmesini sağlayan modelleme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında modelleme sayesinde halatın özellikleri de iyileştirilebilmektedir.

## 2. HALAT YAPIMINDA EN ÇOK KULLANILAN SENTETİK LİFLER VE KULLANIM ÖZELLİKLERİ

Tekstil halatlar doğal ve yapay liflerden üretilmektedir. Halat üretimi için sıklıkla kullanılan doğal lifler; pamuk, keten, kenevir, jüt, sisal ve ramidir. Bu lifler geçmişten günümüze halat endüstrisindeki önemlerini korumuşlardır. 1930'lu yıllarda her ne kadar rejenere selüloz esaslı lifler üretilir olmuşsa da halat yapımında esas devrim poliamidin üretilmesiyle yaşanmıştır. Poliamidden hemen sonra üretimi gerçekleştirilen poliester lifleri de sentetik halat yapımında yaygın olarak kullanılmıştır ancak poliamid (ticari ismiyle naylon), yüksek mukavemeti ve aynı zamanda uzama yeteneği sayesinde uzun yıllar sentetik halat yapımında üstünlüğünü korumuştur. Poliamid ve poliesterin ardından poliolefin lifleri olarak isimlendirilen polietilen ve polipropilen lifleri ise suda yüzebilme özellikleri ve ucuz olmaları nedeniyle sentetik halat yapımında tercih edilen lifler olmuşlardır.

Halat üreticileri için doğal liflerin halat yapımında önemli bir yeri olmasına rağmen zamanla gelişen teknolojik imkânlar ve bu gelişime paralel artan birtakım ihtiyaçlar sentetik halatların üretimini teşvik edici olmuştur. Bununla beraber sentetik liflerin kullanım özelliklerinin iyileştirilmesi sentetik halat üretiminde bir adım daha ileri gidilmesini sağlamıştır. 1970'lerde daha dayanıklı ve gerilmeye maruz kaldığında sertliği yüksek, uzaması az, yani yüksek modüle sahip aramid lifinin üretilmesi halat endüstrisi için çok önemli bir gelişme olmuştur. Bunu 1980'lerde yüksek modüle sahip polietilenin üretimi izlemiştir. Bu liflerin halat üretiminde kullanılması özellikle 20. yüzyılın sonlarından itibaren derin su denizciliği alanındaki araştırmaların ilerlemesine büyük katkıda bulunmuştur.

Sentetik liflerin, yüksek mukavemet, yüksek kuru ve yaş aşınma direnci, yüksek gerilme dayanımı gibi özellikleri halat üreticileri için vazgeçilmez özelliklerdendir. Bununla beraber halat yapımında kullanılacak sentetik lifler halattan beklenen kullanım özelliklerine göre

seçilmelidir. Özellikle günümüz halat endüstrisinde yüksek performanslı sentetik lifler önemli bir yer tutmaktadır.

**Poliamid:** 1930'lu yıllarda üretilmeye başlanmış, ticari ismiyle Naylon olarak bilinen bu lif sentetik lifler içinde en yüksek esneme yeteneğine sahip, kuru haldeki mukavemeti ve aşınma direnci yüksek bir liftir. Su emdiğinde liflerin şişmesiyle mukavemette %10-20 oranında azalma görülmekle beraber aşınma direnci de olumsuz yönde etkilenmektedir. Poliamidden üretilmiş bir halat sulu ortamda bulunduğu anda şişen lifler halat çapının büyümesine ve halat boyunun kısalmasına neden olur. Bu durum kısalma olarak değerlendirilebilir.

**Poliester:** Ticari üretimi 1940'lı yıllara rastlayan bu lif kuru halde poliamid kadar mukavim olmakla beraber yaş halde de mukavemet kaybına uğramayan bir liftir. Hatta yaş haldeyken naylondan %15-20 oranında daha mukavimdir. Aynı zamanda yaş aşınma direnci yaş haldeki poliamidden daha yüksektir. Bununla birlikte temel poliester liflerinin yaş aşınma direncinin bu liflerin özel kaplama işlemlerine tabi tutulmasıyla, kaplanmamış poliesterlere göre 8 kat, yaş poliamide göre ise 20 kat artırılması mümkündür.

**Polietilen:** İlk elde edilişi 1930'lu yılların başlarında gerçekleşen bu lif poliolefin lifleri grubunda yer alır. Suda yüzebilme özelliğine sahiptir. Bununla beraber nem çekme özelliği yoktur denilebilir. Gün ışığına karşı dayanımı düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya elverişli değildir.

**Polipropilen:** Bu lif de poliolefin lifleri grubunda yer alır. Kimyasal özellikler bakımından polietilen lifleriyle benzer özellik gösterir. Yüksek sıcaklığa ve gün ışığına polietilenden daha az dayanıklıdır. Ucuz bir lif olması nedeniyle diğer sentetik liflerle karışım halinde kullanımı yaygındır. Polipropilen liflerinin sürtünme direnci oldukça yüksektir.

**Yüksek Performanslı Polietilen (HMPE):** Ticari üretimi 1950'li yıllarda gerçekleştirilen bu lif moleküler ağırlığı oldukça yüksek olan uzun zincir yapısına sahip bir liftir. Bu sayede moleküller kendi içerisinde daha güçlü bağlar kurmakta ve yük taşımakta daha etkin olmaktadır. Dolayısıyla bu liften yapılan malzemenin darbe dayanımı oldukça yüksektir. Bu lifin sürtünme katsayısı oldukça düşüktür ve nem emme kabiliyeti yok denecek kadar azdır. Aşınma direnci çok yüksektir.

**Aramid:** Sentetik lifler içinde özel kullanım alanlarına sahip olan liflerden biridir. Ticari olarak elde edilmesi

1960'lı yıllara rastlamaktadır. Genel olarak ısıya mükemmel dayanımıyla bilinir. Para-aramid lifleri yüksek gerilme mukavemetine ve elastik modüle sahip olmasıyla dikkat çeker. Bir para-aramid lifi olan ticari ismiyle Kevlar® lifi ise 1970'li yıllarda tanınmıştır. Halat yapımında en çok kullanılan para-aramid lifi olan kevların mukavemeti poliamid ve poliesterin yaklaşık iki katı kadardır. Kopma uzaması oldukça düşüktür. Aşınma direnci iyi bir lif olmakla beraber ultraviyole ışınlarından olumsuz yönde etkilendiği bilinmektedir.

Tablo 1'de halat üretiminde yaygın olarak kullanılan sentetik liflerin bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Halat yapımında kullanılan başlıca sentetik liflerin özellikleri [3]

Özellik	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Erime Noktası (°C)	Nem (%)	Gerilme (mN/tex)	Mukavemet (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Modül (N/tex)
Lif							
Poliamid	1.14	258	5	840	960	20	7
Poliester	1.38	258	<1	820	1130	12	11
Polietilen	0.95	140	0	530	500	20	4
Polipropilen	0.91	165	0	620	560	20	7
Aramid	1.45	Boz.500	1-7	2000	2900	3.5	60
Yük.Perf.PE	0.97	150	0	3500	3400	3.5	100

### 3. HALAT KONSTRÜKSİYONLARI VE OLUŞUMU

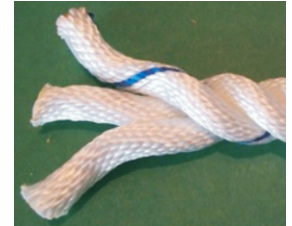
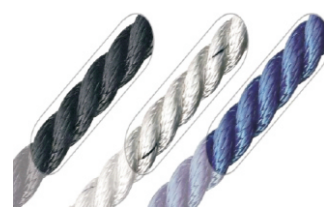
#### 3.1 Halat Konstrüksiyonları

McKenna ve arkadaşları halat yapılarını iki ana gruba ayırmışlardır [3]. Birinci grupta yüksek bükümlü veya büyük braid açılı halatlar yer almaktadır. Bu halatlar özellikle endüstride, denizcilikte ve genel amaçlı kullanılabilirler. İkinci grupta ise ağırlık başına düşen mukavemetin yüksek olduğu ve düşük uzamanın gerekli olduğu özel kullanımlar için üretilen daha düşük bükümlü halatlar yer alır.

##### 3.1.1 Yüksek Bükümlü ve Büyük Braid Açılı Halatlar

###### 3.1.1.1 3, 4 ile 6 Kollu Halatlar

En eski, en basit ve en yaygın olarak kullanılan halat konstrüksiyonu 3 halat kolunun büküm işlemi ile birleştirilmesidir. Şekil 1 ve 2'de bu yapı gösterilmiştir.



Şekil 1. 3 kollu bükümlü halat [4]

Şekil 2. 3 kollu bükümlü PES halat [5]

3 kollu halatlarda halat kollarının büküm yönü halatın büküm yönü ile terstir. Halat kollarının halat ekseninde 360°'lik tam bir tur oluşturması gereklidir. Ancak halat kolları sarılı oldukları bobinlerden birleşme noktasına gelinceye kadar bir tur büküm kaybederler. Bu büküm kaybı kolların açılmasına ve gevşek bir halat yapısına sebep olacağından kollara birleşme noktasına gelmeden önce fazladan bir büküm verilir.

Bir tur büküm boyunun değişmesi halatın fiziksel özelliklerini değiştirir. Az bükümlü ve uzun bir tur büküm boyu tıpkı ipliklerde olduğu gibi dayanımı artırırken uzamayı azaltır. Bu durum ise halatın kollarının sıkı yapının dışına çıkıp çıkıntı oluşturmaya ve tabii ki daha sonra kullanım zorluğu oluşturmaya ayrıca çok yumuşak olmasına sebep olur. Çok bükümlü yani kısa bir tur büküm boyu kolların çıkıntı duruşunu azaltır ve sürtünme dayanımını iyileştirir. Mukavemet azalırken uzama artar. Orta büküm değeri kullanmak en yaygın yöntemdir. Halatın kendi bükümüyle onu oluşturan kolların bükümleri farklı yönlerde olduğundan dış yüzeydeki halat iplikleri nerdeyse halat eksenine hizalanmıştır. Kullanım dayanımını artırmak için bu yerleşim optimum olmalıdır.

Bu halat yapısı orta ve yüksek büküm seviyelerinde lif mukavemetini halat mukavemetine taşıyamadığından özellikle 25mm çaptan fazla olan halatlarda yüksek modüllü lifler kullanılmaz. Bu tip halatlar üzerlerindeki yük kalkınca orijinal şekillerine dönme eğiliminde olduklarından her iki ucundan da sabitlenmelidir. Helisel yapısından dolayı gergin değilken bir bahçe hortumu gibi kıvrıkcıklaşma (ilme oluşturma) eğilimindedirler.

4 kollu halat 3 kollu halata çok benzer ve aynı şekilde kullanılır. Ancak çok tercih edilen bir konstrüksiyon değildir.

6 kollu halat konstrüksiyonunda 6 kol bir merkez kol etrafına sıkıca bükülerek sarılır. 50-80mm olanları büyük tekneler için, okyanus tabanına sabitlenen vinçler için kullanılır. Yüksek bükümünden dolayı üzerindeki gerginlik kalktığında kolları bir arada tutacak bir kılıfa ihtiyaç duyulmaz.

### 3.1.1.2 8 Kollu Plaited Halat

8 Kollu plaited halat, dönme dengesi olan yani üzerinde gerginlik olmadığı zaman geriye dönüp açılma eğilimi olmayan ve plaiting adı verilen bir çeşit saç örgü tekniğiyle üretilir. Şekil 3'de 8 kollu plaited halat örnekleri verilmiştir.



Şekil 3. 8 kollu plait halat [6]

Bu konstrüksiyon hem yüksek hem de düşük modüllü liflerde kullanılabilir. Ancak yüksek modüllü malzemelerde saç örgü adımının oldukça uzun tutulması gerekir. Bu da çok yumuşak bir halat oluşumuna sebep olur. Bu durumda uygun kaplama malzemesi seçilip kaplama yapılarak yumuşaklığın negatif etkisi hafifletilebilir.

Plaiting'de 8 taşıyıcı vardır ve dönme yönünde 4 tanesi çalışır. Ancak taşıyıcılarda bir çift halat kolu vardır. Böylelikle 4 çift kol dönerek örgüyü oluşturur. Her çift halatın merkezinden bir kere geçerek dönmeye devam eder ve dolayısıyla içi dolu bir halat oluşur. Halatı oluşturan her koldaki halat iplikleri halat eksenine paralel yerleşmişse doğru bir halat biçimi elde edilmiş demektir. Bu şekilde üretilmiş halat daha sabit bir yapıdadır. Ancak halat iplikleri halat eksenine açılı bir şekilde yerleşmişse bu, halat kollarının çıkıntı oluşturmaya ve yüzey sürtünme özelliklerinin kötüleşmesine sebep olur.

8 kollu plaited halatlar dengededir ve üzerinde yük olmadığı zaman kendi etrafında dönüp kıvrıkcıklaşmaya sebep olmazlar. Bu halatlar kollarının kenardaki diziliş biçimlerinden dolayı sürtünmeye oldukça dayanıklıdır. 8 kollu plaited halatlar piyasada 160mm çapa kadar bulunabilir. 8 kollu plaited halat oluşumunda halat kolları arasında iyi bir kohezyon olsa da uzun birleşme adımlarında eğer dış yüzey bir kılıfla kaplanmaz veya yapıştırıcı bir kaplama kullanılmazsa gevşeme ve halat kollarının çıkıntı oluşturma eğilimi artar.

### 3.1.1.3 İçi Boş Braid Halat (Tek Braid 8 Kollu ve 12 Kollu)

İçi boşluklu halat maypole tarzında oluşturulur. Taşıyıcıların yarısı saat yönünde dönerken diğer yarısı saat yönüne ters dönerler ve aynı zamanda bir iç bir dış olacak

şekilde pozisyon alırlar. Merkezdeki boşluk sayesinde diğer halatlardan ayırt edilebilirler ancak gergin durumdayken 8 ve 12 kollu braid halatların boşlukları yok olur. 8 kollu braid halat oluşumu sırasında her halat kolu tek tek hareket eder. Çapı 8mm'ye kadar olan sicim ve halatlarda 8 kollu braid yapı oldukça popülerdir. 12-96mm çaplık halatlar içinse 12 kollu braid halat yapısı tercih edilir.

Aynı malzemelerden (kol sayısı, iplik kalınlığı, vb.) yapılmış iki halatın makinedeki bir iplik taşıyıcının 360°'lik turunu tamamlayıp yerine geldiğinde halatta oluşturulan birim uzunlukları kolların halat eksenine ile yaptığı açıya bağlıdır. Açı arttıkça -ki en fazla 45°'ye ulaşılabilir- ortadaki boşluk için yer kalmaz. Aynı zamanda açı büyüdükçe halat daha sıkı bir hal alır ve kol uçları konstrüksiyonun dışına çıkıntı yapmaz. Ancak 20°'lik bir helis açısıyla örülen halatın içinde boşluk kalır ve her iki uçtan bastırıldığında ortada boşluk açılacağından birleştirme yapmak daha kolaydır [3]. Aynı tip makinede bir taşıyıcı bir yerine iki halat kolu taşıyabilir. Bu durumda 12 kol yerine 12 çiftten oluşan 24 kollu bir halat oluşur. Şekil 4'de içi boş braid halat şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Küçük botlarda kullanılan tek braid halat [7]

Birden fazla kol kullanılması; daha küçük taç (tümsek) oluşturacağından daha pürüzsüz bir halat yapısı meydana getiren bir durumdur. Ancak halat üretimi esnasında gerginliğin sabit tutulması zor olduğundan bu yapı oluşturulurken daha ince kollar tercih edilmelidir. İçi boşluklu braid halatlarda en çok bezayağı ve dimi dokusu kullanılır.

Bu tip içi boş braid halatların mukavemeti bükümlü ve 8 kollu plaited halatlardan daha yüksektir ve daha az esnekler. Bu konstrüksiyonla boşalan bobinin sonu bitmeden yenisi eklenip üst üste örgüye katılarak nerdeyse limitsiz uzunlukta halat yapılabilir.

### 3.1.1.4 İçi Dolu Braid Halat

Endüstride kullanımı çok az olan bu içi dolu halat belki makine ile üretilen halatların içinde en eski olanıdır. Şekil

5'de içi dolu braid halat resmedilmiştir.



Şekil 5. Naylon içi dolu braid halat [4]

Tüm taşıyıcı kafalar aynı yönde hareket eder. Bir kol diğerinin altından geçer ve halatın dışından içine geçer ve sonra tekrar yüzeye gelir ve aynı işlemi tekrarlar. Yüzeyde görünen kollar halat eksenine ile aynı paraleldedir. Yüzeyin altında ise kollar hep aynı yönde olacak şekilde bir kenardan diğer kenara geçerler.

Bu tip halatlarda lif mukavemetinin halat mukavemetine dönüşmesi çok yüksek düzeyde olmamaktadır. Yüzeyin hemen altındaki keskin çapraz geçiş açıları nedeniyle nispeten mekanik esnemeleri daha fazladır. Tüm halat yapıları içinde en çok yaylanma özelliği olanlar solid braid olanlardır. Bu halatlarda halat kollarından biri koptuğunda halat çözülebilir. Mekanik performanslarındansa yuvarlak ve çekici görünümlü dış yüzeyleri sayesinde tercih edilebilirler.

### 3.1.1.5 Double Braid (Braid on Braid)

Bir braid iç çekirdeğin üzerine yine örgü bir kılıf kaplanmasıyla elde edilirler. Şekil 6'da double braid halat örneği gösterilmiştir.



Şekil 6. Double braid halat [8]

Halattaki gerginlik iç ve dış kısım tarafından paylaşılır. Birçok double braid halat ya naylon ya poliesterden yapılır fakat bu iki lifin kombinasyonu veya polipropilen halatlara da rastlanabilir. Yüksek modüllü lifler iç ve dış yapı arasında verimli olmayan bir yük dağılımına sebep olduğundan çok az tercih edilirler. Dış kılıf çok sayıda taşıyıcı kafanın olduğu bir saç örgü makinesinde üretilir. Taşıyıcıların sayısı halatın kalınlığına göre değişir. 12mm'lik bir çekirdek halatın dış kılıfı 16 taşıyıcıdan

oluşur ve her kafaya 2 veya 3 kol koyulabilir. Çekirdek halatlar genellikle küçük çaplar için 8 taşıyıcı kafa daha büyük çaplar için 12 taşıyıcı kafa olan makinelerde üretilirler. Çekirdek yapı uzun örgü adımıyla yani düşük braid açısı ile üretilir. Bu durum kılıfa nazaran yüksek dayanım, nispeten düşük uzama sağlayacaktır. Çekirdek içerde kaldığı için sabitlik ve yüzey pürüzsüzlüğü önemsiz sayılmaktadır. Kılıf için bunun tersi geçerlidir. Double braid halatlar yüksek dayanımları ve az uzamaları ile bilinirler ve tercih edilirler. Geleneksel halatlar içinde double braid halatlar bükümlü ve plaited halatlardan %20-30, içi boş braid halatlardan %5-10 civarında daha dayanıklıdır [3]. Son zamanlarda halat teknolojisinde önemli miktarda gelişmeler kaydedilmiş ve çok sayıda varyasyon geliştirilmiştir.

### 3.1.2 Düşük Bükümlü ve Düşük Braid Açılı Halatlar

Düşük bükümlü halat yapıları yüksek dayanım ve düşük uzamanın gerekli olduğu özel durumlar için kullanılırlar. Bu tip halatların astronot bağlama halatı, denizden petrol çıkarma üsleri için çapa halatı, yüksek direklerde çalışan kişiler için bağlama halatı ve derin madenlerde asansör halatı gibi çok özel uygulama alanları vardır.

#### 3.1.2.1 Kılıflı (Kaplama) Braiding Halatlar

Double braid halatın bir alt türü olan kaplamalı halatlarda iç kısım (çekirdek) içi boş braid veya 8 kollu plaited konstrüksiyonundadır. Çekirdek kısım asıl yükü taşıırken braid kılıf halatı dış etki ve aşınmalardan korur. İç kısım yüksek dayanımlı ve modüllü malzemelerden yapılırken kılıf ise genellikle poliesterdir ve aşırı sürtünme ve kesik dayanımını arttırmak için oldukça kalın tasarlanır. Bu tip halatların çapı genellikle 30mm'yi aşmaz. Elektriği iletmediği için bu tip halatlar elektrik servis araçlarında tercih edilirler. Şekil 7'de kılıflı bir halat gösterilmiştir.



Şekil 7. İçi boş braid halat üzerine braid kılıf geçirilmiş [8]

#### 3.1.2.2 Paralel Kollu Halat

Paralel kollu halatlarda merkezde örülü bir kın içinde toplu halde bulunan, her biri küçük çaplı halat ya da büküm verilmiş iplik demeti olabilen bileşenler vardır. Paralel kollu halat konstrüksiyonu çok uzun halatların üretimine elverişlidir. Özellikle denizcilik alanındaki kullanımlarda döngüsel yük altında yorulma ömrü oldukça iyi olan halatlar bu konstrüksiyonla üretilebilmektedir. Düşük büküm ya da düşük braid açılı küçük halatlar paralel kollu halatların merkezinde bulunduğu özellikle geniş çaplı

paralel kollu halatlarda lif mukavemetinin halat mukavemetine katkısı büyük olmaktadır. Şekil 8'de paralel kollu halata bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 8. Bir kısmı Z bir kısmı S bükümlü 3 kollu halatlardan oluşan çekirdek üzerine braid kılıf geçirilmiş [3]

#### 3.1.2.3 Paralel İplikli Halat

İlk kez ICI tarafından yapılan ve şimdilerde Linear Composites tarafından pazara sürülen parafil tipteki paralel iplikli halatlar sıfır-büküm konstrüksiyonuyla üretilmektedir [3]. Bu tip halatlar plastik bir kılıf içine yerleştirilmiş çok sayıda paralel tekstil ipliği olarak düşünülebilirler. Bu tipteki halatlar özellikle yüksek performanslı liflerden yapıldığında, herhangi bir büküm ya da sarmal yapı bulunmadığı için lifler üzerinde iyi bir yük dağılımı elde etmek biraz daha zordur. Bu tipteki halatlarda çap çok geniş olmadıkça yük altındaki esnemeleri iyi olmamaktadır. Ekstrüzyon yoluyla elde edilen kılıf halatın kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Küçük çaptaki mantolu halatların bir tipi paralel iplik içermektedir. Böyle halatlar da paralel iplikli halatlar olarak değerlendirilebilir. Şekil 9'da braid kılıfla kaplanmış paralel ipliklerden oluşan bir halat görülmektedir.



Şekil 9. Bir kısmı Z bir kısmı S bükümlü 3 kollu halatlardan oluşan çekirdek üzerine braid kılıf geçirilmiş [3]

### 3.1.2.4 Mantolu Halat (Kernmantle)

Mantolu halat çekirdek ve manto kısmından oluşmuştur. Çekirdek ve manto için farklı yapılar kullanılarak halat yapısı oldukça özel hale getirilebilmektedir. Çekirdek kısım için kullanılacak yapılar:

- çoklu S ve Z bükümlü iplikler
- çoklu S ve Z bükümlü küçük çaplı halatlar
- çoklu uzun adımlı örgü halatlar olabilmektedir.



Şekil 10. Mantolu Halat [8]

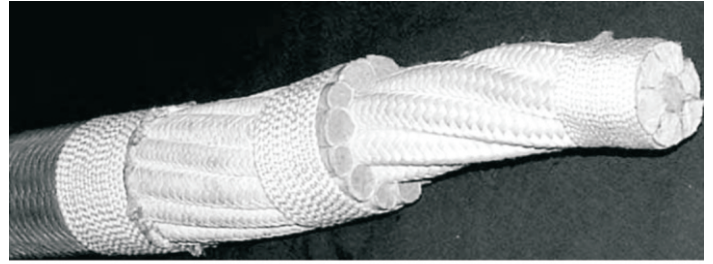
Çekirdek kısmı birçok kolu çok ince bükümlü tekstil ipliklerinden oluşan örgülü yapıda ve çok ince bir manto ile kaplıdır. Manto kısmı genellikle renklidir. Mantolu halatlar statik olanlar ve dinamik olanlar olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Statik olanların uzaması dinamik olanlara nispeten daha azdır. Dinamik olanlar dağcılıkta dağcıların düşme tehlikesine karşı sıklıkla kullanılır. Örneğin 80 kg'lık bir insanın 2.5m'lik bir düşüşü halatta %6,5-7,5 oranında bir uzamaya sebep olmaktadır [3]. Bu değer bazı halatlarda daha yüksek olabilmektedir. Mantolu halatların dinamik olanlarında manto kısmı çekirdek kısmı genellikle naylondan yapılır ve yük altında uzamasını artırmak ve ıslanma sonrası değişiklikleri önlemek için buharla sabitleştirilmiştir. Tipik statik ve dinamik halatlar 8-11 mm çapında olmaktadır.

Hafif olması ve tutumunun rahat olması bu konstrüksiyonda üretilmiş halatları özellikle sporcular ve kurtarma ekipleri için kullanışlı hale getirmektedir. Manto kısmını oluşturan ince kılıfın aşınma direnci genellikle çok iyi değildir fakat deneyimli kullanıcılar bunun farkında olarak halattan istenen verimi alabilirler. Bunun dışında oluşabilecek bir tehlike ise kılıf zarar görmüş ve bir ucundan çekirdekten ayrılmaya başlamışsa bu durum kılıfın kendi kendine soyularak halattan sıyrılmasına yol açabilir.

### 3.1.2.5 Sentetik Halatlarda Kullanılan Çelik Halat Konstrüksiyonları

Tüp biçimli 6 adet halat kolunun yine tübüler bir halat kolunun üzerine çok az bükümle sarılarak oluşturduğu

konstrüksiyondur. En yaygın tasarım olmasına rağmen daha detaylı tasarımlar da yapılmıştır. Merkezdeki tek kol her zaman yükü ilk olarak üzerine alacağından diğer kollardan farklı malzemelerden yapılır. Bu tasarımlar yüksek modüllü lifler için geliştirilmiş olmasına rağmen poliester gibi malzemelerde de iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Düşük bükümlü olduğundan gevşekliği önlemek için her kol genellikle örgülü yapıda bir kılıf ile kaplanır. Lif mukavemetinin halat mukavemetine katkısı çok büyüktür. 12-50mm çaplı 6 kollu halatlarda bu katkı %85'e kadar varmaktadır [3]. Şekil 11'de 18 kollu çelik halat konstrüksiyonlu bir halat görülmektedir.



Şekil 11. Çelik halat konstrüksiyonunda üretilmiş 18 kollu aramid bir halat [3]

### 3.1.3 Halat Tasarım Faktörleri

Halat tasarım faktörleri öncelikle üretilen halatın hangi alanda kullanılacağına belirlenmesiyle oluşturulur. Halattan beklenen performans özelliklerinin belirlenmesinde ise lif tipi, konstrüksiyon kategorisi gibi parametreler önem taşır. McKenna ve arkadaşları halat tasarım faktörlerini şöyle belirtmişlerdir [3]:

- büküm oranları
- örme açıları
- iplik numarası
- temel lif çapı
- halat yapımı sırasında iplik gerilme değeri

Esasen halatın kullanım alanı kendisinden beklenen performansı ve aynı zamanda uygulanacak testi belirler. Halatların çok eski çağlardan beri en çok kullanıldığı alan olan denizcilik alanındaki uygulamalarda, yüksek yorulma dayanımı, yüksek yükleme dayanımı, yüksek yaş sürtünme mukavemeti, deniz suyuna karşı dayanım ön plana çıkmaktadır.

Dağcılık alanında kullanılan halatların ise yüksek gerilme dayanımı, yüksek kopma mukavemeti ve aşınma direnci gibi özelliklerinin iyi olması istenmektedir.

Denizcilik ve yük taşıma dışında daha çok ilgi çeken yeni uygulama alanlarında ise yüksek kopma mukavemeti yine en önemli özellik olmakla beraber aynı zamanda hafiflik önem kazanmaktadır.

### 3.2 Halatı Meydana Getiren Elemanlar

Halat oluşumu hiyerarşik bir düzende incelenebilir. Her bir üretim aşamasında bir alt üretim basamağında bulunan yapı bir üstteğine göre yarı-ürün durumundadır. En son halat yapısı elde edilene kadar her bir üretim basamağındaki yapının sahip olduğu özellikler bir üst basamaktaki yarı-ürün özelliklerini belirleyici niteliktedir. En alt basamakta tekstil ipliklerinin bulunduğu düşünüldüğünde sıralama şöyle ilerlemektedir:

İplik → Halat ipliği → Halat Kolu → Halat

#### 3.2.1 İplik

Sonsuz uzunluktaki ya da kesikli liflere çekim ve büküm işlemleri uygulanarak elde edilen belirli kalınlıktaki tekstil malzemesine iplik denir. Doğal lifler ipek hariç kesikli yapıdadırlar buna karşılık sentetik lifler sonsuz uzunlukta üretilebilmekte ve iplik yapımında da istenen uzunlukta kullanılabilir. İplik üretiminde kesikli lif kullanılması durumunda yapıya daha çok büküm verilmelidir. Sonsuz uzunlukta lif kullanılması durumunda ise sonsuz uzunluktaki bu lif telciklerinin her birine büküm uygulanabilir.

#### 3.2.2 Halat ipliği

Çok sayıda tekstil ipliğinin bir arada bükülmesiyle elde edilen yapıdır. Halat ipliği yapımında, halat çapına, konstrüksiyon tipine ve büküm makinesinin özelliğine göre tekstil ipliklerine tek aşamada ya da iki aşamada büküm verilebilir. Üretilen halatın çapı büyüdükçe büküm aşamasının sayısı da artmaktadır. 3 kollu düşük bükümlü ve 8 kollu plaited halatların yapımında tek büküm aşamasından geçmiş halat iplikleri kullanılır. Braid halatlarda kullanılan halat iplikleri ise tekstil ipliğinin sahip olduğu büküm korunarak üretilir. Bu da halat kolunun daha pürüzsüz bir görünüm almasını sağlar. Özellikle küçük çaplı braid halatlarda halat ipliği bir halat kolu olarak kabul edilebilir.

#### 3.2.3 Halat Kolu

Belirli sayıda halat ipliğinin bir arada bükülmesiyle elde edilen ve bazen kendi içinde bir halat olabilen yapıdır. Düşük bükümlü ve plaited halatlarda halat kollarının her birinin çapı 50mm'ye kadar çıkabilmektedir. Daha sıkı bir yapı elde etmek için daha fazla büküm uygulanmadığı durumlarda bir halat kolu için ne kadar çok halat ipliği bir araya getirilirse kolun enine kesiti o kadar yumuşak görünmektedir. Bununla birlikte halat kolunun istenenden fazla yumuşak olmaması için oluşumu sırasında

kullanılacak halat ipliği sayısının bir üst sınırı olacaktır.

## 4. HALAT MODELLEMESİ HAKKINDA YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Modelleme çok sayıda bilim adamı tarafından uzun yıllar boyunca üzerinde durulmuş bir konudur. Ne var ki bir halat üretmek ve ona testler uygulayarak beklenen performans özelliklerini karşılayıp karşılamadığını değerlendirmek küçük çaplı halatlar için zor değildir ancak söz konusu olan halatın çapı ve uzunluğu arttıkça bu işlem zaman ve maliyet açısından büyük kayıplara neden olacaktır. Ayrıca geleneksel test yöntemlerinin uygulanamayacağı alanlarda da halatların kullanılmaya başlanmasıyla üretimden önce halat davranışının tahmin edilebilmesini sağlayan modeller geliştirmek oldukça önem kazanmıştır.

Halat yapısına katılan her bir birim bir sonraki basamağın yapı taşı oluşturur. Modelleme halatın temel yapı taşı oluşturulan birimin özelliklerinin belirlenmesiyle başlar ve bu özelliklerin bilgisayara aktarılmasıyla sürer. Sonrasında ise ilgili birimin bir üst basamaktaki haline nasıl getirildiği tanımlanır.

Örneğin temel birimi lif, bir sonraki basamaktaki halini de iplik olarak kabul ettiğimizde lif için bilgisayara girilmesi gereken veri yoğunluk, çap, kopma mukavemeti olabilir. Bu lifin bir sonraki basamağa nasıl getirildiğini yani iplik elde edilmesini düşündüğümüzde ise bilgisayara girilmesi gereken veri bu kez büküm seviyesi, gerginlik ayarlarında yapılan değişiklikler olabilecektir. Böylece her bir basamakta elde edilen veri bir üst basamağın giriş verisini oluşturur. Modellemede izlenen bu yola son ürün olan halatın özellikleri belirleninceye kadar devam edilir.

Leech [9, 10] sentetik halat modellenmesinde önemli çalışmalar yapmıştır. Yazar halat geometrisindeki her bir yapı basamağını ast-üst ilişkisi çerçevesinde değerlendirmektedir: En alt basamakta lifler bulunmakta sonra bu liflerden elde edilen iplik gelmekte daha sonra ise ipliklerin bir arada bükülmesiyle oluşan halat iplikleri yer almaktadır. Halat ipliklerinin bir arada bükülmesiyle de halat kolları oluşmakta ve halat kollarının bir arada bükülmesiyle halat elde edilmektedir. Yazar farklı geometrik tasarımlar içeren halatlarda her bir yapı basamağındaki birimin yük karşısındaki gerilme değerlerini incelemiştir. Bileşenlerin sadece gerilme durumundaki gerilme-uzama özelliklerini dikkate alarak iç ve dış kuvvetleri hesaplamıştır.

Leech'in çalışmasına benzer olarak Wu halat mukavemet değerinin tahmin edilebilmesi için enerji yaklaşımını temel alan bir analitik model geliştirmiştir [11]. Bu



modelde sürtünme hesaba katılmış ve model çiftli örülü halatlarda statik gerilme mukavemetinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Yazar tarafından naylon ve poliester liflerinden yapılmış çift braid halatlara testler uygulanmış ve model tahminiyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Wu testlerine devam ederek çift braid naylon ve poliester halatlarda sürtünmeyle ilgili kısıtları belirlemeye çalışmış ve ayrıca aşınmaya neden olabilecek bir parametre olan halat bileşenlerinin kendi arasındaki kaymasını da incelemiştir [12].

Ghoreishi ve arkadaşları, Labrosse ve arkadaşları tarafından ve yine Labrosse ve Nawrocki tarafından yapılmış bir çalışmayı temel alarak küçük sentetik halatların aksel sertlik değerinin tahmin edilebilmesi için doğrusallaştırılmış bir model öne sürmüşlerdir [13, 14, 15]. Bu yazarlar modellerini deneysel verilerle ve 3 boyutlu sonlu bir halat modeli ile desteklemiştir.

Bradon ve Chaplin poliester halatların belirli bir süre kullanım sonrası kalan sünme ömrünü hesaplayabilmek için Arelis (Assured residual life span) isimli bir yöntem geliştirmişlerdir [16]. Bu model kullanıldığı yük değerindeki minimum sünme ömrünü belirleyebilmek için gerekli test yük değerini, süresini ve yapılması gereken test sayısını incelemekte kullanılabilmektedir.

Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger çalışmalarında çok sayıda bükümlü bileşenin oluşturduğu fibriler yapının statik davranışı için bir model tanımlamışlardır [17]. Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger günümüze kadar yapıla gelmiş modellemelerden yola çıkarak şöyle bir sınıflandırma yapmışlardır:

- metal halatlar için geliştirilmiş olan yarı devamlı modeller
- sentetik halatlar için geliştirilmiş olan modeller
- yarı devamlı modeller

Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger'ın çalışmalarında belirttiği üzere çok sayıda bileşenden oluşmuş yapılarda bileşenin herhangi birinin mekanik davranışının bilinmesiyle tüm yapının mekanik davranışının tahmin edilmesine yönelik yaklaşım Raoof ve Hobbs tarafından halat modellemesine uygulanmış, Blouin ve Cardouise da bir başka yarı devamlı model geliştirmişlerdir [18, 19]. Bu model Jolicoeur ve Cardou tarafından genişletilmiştir [20, 21]. Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger'a göre bu yarı devamlı modeller bileşenler arasındaki sürtünmeyi hesaba katmaktadır, doğrusal değildir ve nümerik analiz gerektirirler.

Hoppe tarafından geliştirilen modelde halatı oluşturan

bileşenlerin ve halatın sadece gerilme kuvvetlerine maruz kalacağı düşünülmüş, eğilme ihmal edilmiştir [22]. Böyle bir yaklaşım monoton aksel yüklemeye için geçerlidir. Bu model sadece (bütün olarak) son ürün olan halatın gerilme davranışını vermektedir. Leech ve arkadaşları tekstil halatlar için biraz daha karmaşık ve yarı statik bir model öne sürmüştür [23]. Bu model FRM (Fibre Rope Modeller) adı ile ticari bir yazılımda yer almıştır. Bu modelde sürtünme etkileri hesaba katılabilmektedir. Gerilme ve dönme kuvvetleri, bu kuvvetlerin uzama ve bükümle olan ilişkisinden yola çıkılarak model sayesinde hesaplanabilmektedir.

Rungamornrat ve arkadaşları tarafından geliştirilen bir başka model Beltran ve arkadaşları tarafından genişletilmiş, daha sonra Beltran ve Williamson tarafından tekrar ele alınmıştır [24, 25, 26]. Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger'a göre bu modeller Leech'in modeline çok benzemektedir. Leech'in modeli ise oldukça karmaşık görünmektedir. Bununla beraber halat bileşenlerinin mekanik davranışını ve birbirleriyle olan etkileşimlerini hatasız olarak vermektedir.

Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger tarafından geliştirilen model Hoppe'nin modelinin genişletilmiş halini içerir [17]. Bu modelde Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger, literatürdekinden farklı olarak halat yapılarını akselleri aynı olan bir dizi devamlı sarmal yapı olarak ele almışlardır. Bu sarmal yapılar ise birim uzunlukta aynı tur sayısına sahiptir. Ghoreishi, Cartraud, Davies ve Messenger, daha önceki modelleri kendi geliştirdikleri modelle kıyaslayabilmek için önceki modelleri konstrüksiyon parametreleri bilinen 205 ton aramid koluna uygulamışlardır. Basılı deneysel verinin yetersizliği nedeniyle model öncelikle literatürde geçen modellerle kıyaslanmıştır. Alınan sonuçlar ise burulma dayanımı değeri hariç tüm modellerin birbiriyle benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir. Aksel dayanım için gerilme testleri aramid lifinden oluşmuş yapıya uygulanmıştır. İlk test sonuçları modelle güzel bir korelasyon göstermiştir.

Ghoreishi, Davies, Cartraud ve Messenger ilk çalışmalarının devamı olarak merkezi bir çekirdek etrafında bulunan sarmal yapıdaki 6 adet koldan oluşmuş bir halatın gerilme-burulma yüklemesi altındaki elastik davranışının tahmin edilebilmesi için analitik bir model sunmuşlardır [27]. Ghoreishi, Davies, Cartraud ve Messenger'a göre kollar ve merkez arasındaki temasın modellenmesiyle halat enine kesitinin davranışını merkez yapının serbestlik derecesinin bir fonksiyonu olarak tahmin etmek mümkün olacaktır. Bu çalışmada başlangıç olarak çelik halatlar için tasarlanan bir model sentetik

halatlara uyarlanmıştır. Halat bileşenlerinin sahip olduğu sarmal yapı Kirschhoff-Love ışık yayları olarak tanımlanmıştır. Eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri ihmal edilmiş fakat elastik gerilme burulma davranışları hesaba katılmıştır. Eksenel yükler statik var sayılmış ve kolların yatırım açılarının 15°'den küçük olmasına dikkat edilmiş, sürtünme etkileri ve merkezin yanal kısılması ise ihmal edilmiştir.

Basılı deneysel verinin yetersizliğinden dolayı Ghoreishi, Davies, Cartraud ve Messenger geliştirdikleri modeli ilk olarak Leech'in FRM yazılımındaki model ile kıyaslamışlardır. Yazarlar kıyaslama yaparken bir alt seviyedeki modelin sonuçlarını kendi geliştirmiş oldukları model için giriş verisi olarak kabul etmişlerdir. Sonuçta ise burulma hariç diğer tüm çıktılarını önceki modellerle uyumluluk gösterdiğini saptamışlardır. Ghoreishi, Davies, Cartraud ve Messenger'ın geliştirdikleri model önceki modellere göre daha az giriş verisine ihtiyaç duyulması açısından yararlıdır.

Banfield ve Flory çalışmalarında geniş ve yüksek performanslı tekstil halatların bazı özelliklerinin bilgisayarda modellenmesini incelemişlerdir [28]. Banfield ve Flory'nin kullandığı bilgisayar programı halat modellemesini gerçek halat yapım aşamalarına benzer şekilde yapmaktadır. Banfield ve Flory çalışmalarında OpTTI-halat isimli programla ilgili bilgi vermişlerdir. Bu programın temel içeriği ise Leech tarafından hazırlanmıştır. Leech ve TTI' daki (Tension Technology International) diğerleri sonrasında bu programı U.S Navy Civil Engineering Laboratory ile Genrope adında bir sözleşme altında geliştirmişlerdir. Banfield ve Flory 5 ton ağırlığındaki aramid bir halatın 1 milyon devirlik yük altındaki yorulmasını modellemişlerdir. Yine Banfield ve Flory, kol yatırım uzunluğunun halatın mukavemetine ve yorulma değerine olan etkisini incelemişlerdir. Söz konusu halat 6+12+18=36 kollu aramid bir halattır. Sonuçta ise bu genişlikteki aramid halatların, toplam lif mukavemetinin yalnızca %40'ına sahip olduğu saptanmıştır. Bu da göstermiştir ki kopma mukavemet ve yorulma ömründe bilgisayar çalışmaları sayesinde göze çarpan gelişmeler sağlanabilmektedir.

Yüksek gerginlik değerlerinde ve döngü sıklığı yüksek olan yük altındaki halatlarda histerezise bağlı olarak sıcaklık artışı meydana gelecektir. Halatlarda genellikle merkezde bulunan kısım daha yüksek değerde yüke maruz kalır. Bu nedenle merkezdeki sıcaklık artışı nispeten daha yüksektir. Halat çapı büyüdükçe merkezde oluşan bu ısının dışarı kaçması zorlaşır. Bununla beraber ıslak halatta ısı iletimi kuru olana göre daha kolay gerçekleşir.

Banfield ve Flory tarafından OpTTI-halat bilgisayar programını kullanarak Norsk Hydro için histerezis

problemi incelenmiştir. Laboratuvar test programına hazırlık aşamasında 100mm çapında bir halat ve 250 tonluk kopma yükü modellenmiştir.

%0.25'lik bir gerilme genliğinde programın tahminine göre 1°C'lik bir sıcaklık artışı gerçekleşecektir. Bu modelleme bir sonraki aşamada uygulanacak testlerde kullanılacak halat numunesinin çapını belirlemek için yapılmıştır. Araştırma sonucunda yazarlar tespit etmişlerdir ki ısı dengeye ulaşıldığında tahmin edilenden daha az süre boyunca tepe noktası şartlarında bulunulmuştur. Bu da sıcaklık artışının daha üst bir sınır değerinde olabileceği anlamına gelir. Bununla beraber geniş halatlarda ısı dengeye ulaşmak daha uzun zaman alabilir. Üretilmesi gereken halat 1500 tonluk bir kopma mukavemet değerine sahip olmalı ve 250mm çapında olmalıdır. Model göstermiştir ki histerezis ısınması halat çapının karesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır.

Bazı araştırmacılar iplikler ve halatlar üzerinde yapılmış deneysel çalışmaları temel alarak sentetik liflerden üretilen halatlar için oldukça yararlı tasarım verileri üretmişlerdir. Kenny ve arkadaşları küçük çaplı aramid, naylon ve polyester halatlara ve hatta bu halatları oluşturan filamentlerle liflere de farklı yükleme koşullarında testler uygulamışlar ve sünme kopmasında hatalarla karşılaşmışlardır [29]. Burdan yola çıkan yazarlar sünme kopması için bir model öne sürmüşlerdir. Mandell naylon ve poliester halatların aşınma ve yorulmasının tahmini için her bir lifin ve ipliğin sünme kopması değerini temel alan bir model geliştirmişlerdir [30].

Banfield ve Casey yüksek modüllü polietilen, aramid ve poliester halatların mekanik özelliklerini değerlendirebilmek için testler uygulamışlardır [31]. Lo ve arkadaşları tuzlu su ortamında bulundurulmuş poliester halatlarda meydana gelen sünme bozulması, hesaplanmış yorulma ömrü ve varsayılan mukavemet değerleri üzerine eşitlikler kurmuşlardır [32]. Fernandes ve arkadaşları Del Vecchio tarafından yapılan bir çalışmayı temel alarak poliester halatların ortalama yüke, yük genliğine ve yük altında bulunma süresine bağlı olarak göstermiş olduğu doğrusal olmayan sertlik için bir kuram geliştirmişlerdir [33, 34].

Karayaka ve arkadaşları sentetik halatlardaki sürünme yorulmanın her ikisinin birden etkileriyle ilgili doğrusal ve doğrusal olmayan bir hasar biriktirme modeli sunmuşlardır [35].

Davies ve arkadaşları poliester halatların zamana bağlı mekanik özelliklerinin belirlenmesi için uygulanan sünme ve relaksasyon test sonuçlarını regresyon analizi ile değerlendirmişlerdir [36].

## 5. TERMİNOLOJİ

Metin içinde türkçe karşılığı orijinal anlamını tam olarak vermeyen bazı kelimeler orijinal halleriyle kullanılmıştır.

**Braid:** Halat uzunluğu boyunca yer alan ipliklerin ya da halat kollarının dokuma işlemine benzer şekilde birbiri içinden geçirilmesiyle elde edilen yapıdır. Genellikle yuvarlak bir yapı oluşturduklarından içleri boştur.

**Braid açısı:** Halat eksenine ile halatı oluşturmak üzere braid işlemine tabi tutulacak iplik ya da halat kolunun eksenine arasındaki dar açıdır.

**Plait:** Sınırlı sayıda iplik ya da halat kolunun, halat uzunluğunun merkezi boyunca geçmesiyle elde edilen yapıdır. Braid halata benzer ancak içi doludur.

**Lay length:** Bükümlü halatlarda, halat eksenine boyunca halat kolunun yapmış olduğu bir tur büküm uzunluğudur.

**Pitch Length:** Brading ile halat yapımı sırasında bir halat ipliği ya da halat kolu taşıyıcısının 360 °lik turunu tamamlayıp yerine geldiğinde halatta oluşturulan birim uzunluktur.

**Histerezis:** Bir cismin üzerinde etkili kuvvetler değişince yapışkanlık veya iç sürtünmesi sonucuymuş gibi o cisimdeki reaksiyonun gecikmesidir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada tekstil halat yapılarından sentetik halatlar, sentetik halatların kullanım alanları ve özellikleri incelenmiş, bu halatların üretimi için kullanılan bilgisayar destekli modelleme çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir. Sentetik liflerin sahip olduğu olumlu özelliklerin gelişen teknoloji sayesinde giderek iyileştirilmesiyle bu liflerden elde edilen halatların kullanım performansı yükselmektedir. Bir halatın kullanım performansının test edilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla üretim öncesinde halatın kullanım özellikleriyle ilgili gerçeğe en yakın tahminlerin yapılabilmesi için modelleme çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmaların sonuçları birbirini destekleyici yönde ilerlemekte ve bir modelleme çalışmasının sonucu diğer bir çalışma için başlangıç verisini teşkil etmektedir. Böylece halatın kullanım özellikleri öngörülebilme ve halat yapısında gelişmeler kaydedilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. **ASCE, (1993)**, Glossary of Marine Fiber Rope Terms, American Society of Civil Engineers, New York.
2. **ISO, (2001)** DIS 1968 Ropes and cordage – vocabulary, ISO, Geneva.
3. **McKenna, H.A., Hearle, J.S.W. and O'Hear, N., (2004)**, Handbook of Fibre Rope Technology, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England.
4. [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com), 05.05.2009
5. [www.chainsropesandanchors.co.nz](http://www.chainsropesandanchors.co.nz), 04.05.2009
6. [www.defender.com](http://www.defender.com), 03.05.2009
7. <http://moonblink.info/Images/Ropes>, 05.05.2009
8. [www.advanturetraveller.co.uk](http://www.advanturetraveller.co.uk), 13.05.2009
9. **Leech, C.M., (1987)**, Theory and Numerical Methods for the Modelling of Synthetic Ropes, Communications in Applied Numerical Methods, Vol. 3, pp.407-713.
10. **Leech, C.M., (2002)**, The Modelling of Friction in Polymer Fibre Ropes, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 44, pp. 621-643.
11. **Wu, H.C., (1992)**, An Energy Approach for Rope-Strength Prediction, Journal of Textile Institute, Vol. 83, No 4, pp. 542-549.
12. **Wu, H.C., (1993)**, Frictional Constraint of Rope Strands, Journal of Textile Institute, Vol. 84, No 2, pp. 199-213.
13. **Ghoreishi, S., Messenger, T., Cartraud, P. and Davies, P., (2004)**, Assessment of Cable Models for Synthetic Mooring Lines, International Offshore and Polar Engineering Conference, Toulon, France.
14. **Nawrocki, A., and Labrosse, M., (2000)**, A Finite Element Model for Simple Straight Wire Rope, Computers and Structures, Vol. 77, pp. 345-359.
15. **Labrosse, M., Nawrocki, A., and Conway, T., (2000)**, Frictional Dissipation in Axially Loaded Simple Straight Strands, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 126, No 6, pp. 641-646.
16. **Bradon, J., and Chaplin, C.R., (2005)**, Quantifying the Residual Creep Life of Polyester Mooring Ropes, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 15, No 3, pp. 223-228.
17. **Ghoreishi, S.R., Cartraud, P., Davies, P., Messenger, T., (2007)**, Analytical Modelling of Synthetic Fibre Ropes Subjected to Axial Loads. Part I: A New Continuum Model for Multilayered Fibrous Structures, International Journal of Solids and Structures, Vol. 44, pp. 2924-2942.
18. **Hobbs, R.E., and Raouf, M., (1982)**, Interwire Slippage and Fatigue Prediction in Stranded Cables for TLP Tethers, Behaviour of Offshore Structures, Vol. 2, pp. 77-99.

19. **Blouin, F., and Cardou, A., (1989)**, A Study of Helically Reinforced Cylinders Under Axially Symmetric Loads and Application to Strand Mathematical Modelling, *International Journal of Solid and Structures*, Vol. 25, No 2, pp. 189-200.
20. **Jolicoeur, C., and Cardou, A., (1994)**, Analytical Solution for Bending of Coaxial Orthotropic Cylinders, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 120, No 12, pp. 2556-2574.
21. **Jolicoeur, C., and Cardou, A., (1996)**, Semi-continuous Mathematical Model for Bending of Multilayered Wire Strands, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 122, No 7, pp. 643-650.
22. **Hoppe, L.F.E., (1991)**, Modelling the Static Behaviour of Dyneema in Wire-rope Construction, MTSRTM.
23. **Leech, C.M., Hearle, J.W.S., Overington, M.S., Banfield, S.J., (1993)**, Modelling Tension and Torque Properties of Fibre Rope and Splices, *Proceedings of the Third International Offshore and Polar Engineering Conference*, 6-11 June 1993, Singapore.
24. **Rungamornrat, J., Beltran, J.F., and Williamson E.B., (2002)**, Computational Model for Synthetic-Fibre Rope Response, 15th Eng. Mechanics Conference, ASCE, New York, USA.
25. **Beltran, J. F., Rungamornrat, J., and Williamson, E. B., (2003)**, Computational Model for the Analysis of Damaged Ropes, 13th International. Offshore and Polar Engineering Conference, pp. 705-710, Honolulu, Hawaii, USA.
26. **Beltran, J.F., and Williamson, E.B., (2004)**, Investigation of the Damage-Dependent Response of Mooring Ropes, 14th International Offshore and Polar Engineering Conference, Toulon, France.
27. **Ghoreishi, S.R., Cartraud, P., Davies, P., Messenger, T.,(2007)**, Analytical Modelling of Synthetic Fibre Ropes Part II: A Linear Elastic Model For 1 + 6 Fibrous Structures, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 44, pp. 2943-2960.
28. **Banfield,S.J., Flory,J.F.,(1995)**, Computer Modelling of Large,High-Performance Fiber Rope Properties,Oceans '95, pp. 1563-1571,Oct. 9-12,1995,San Diego.
29. **Kenney, M.C., Mandell, J.F., and McGarry, F.J., (1985)**, Fatigue Behaviour of Synthetic Fibres, Yarns and Ropes, *Journal of Materials Science*, Vol. 20, No 6, pp. 2045-2059.
30. **Mandell, J.F., (1987)**, Modelling of Marine Rope Fatigue Behavior, *Textile Research Journal*, June, pp. 318-330.
31. **Banfield, S., and Casey, N., (1998)**, Evaluation of Fibre Rope Properties for Offshore Mooring, *Ocean Engineering*, Vol. 25, No 10, pp. 861-879.
32. **Lo, K.H., Xu, H., and Skogsberg, L.A., (1999)**, Polyester Rope Mooring Design Considerations, *International Offshore and Polar Engineering Conference*, Brest, France.
33. **Fernandes, A.C., Del Vecchio, C.J.M., and Castro, G.A.V., (1999)**, Mechanical Properties of Polyester Mooring Cables, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 9, No 3, pp. 208-213.
34. **Del Vecchio, C.J.M., (1992)**, Light Weight Materials for Deep Water Moorings, PhD Thesis, University of Reading, UK.
35. **Karayaka, M., Srinivasan, S., Wang, S., 1999**, Advanced Design Methodology for Synthetic Moorings, *Offshore Technology Conference*, OTC 10912, Houston, Texas, USA.
36. **Davies, P., Grosjean, F., and Francois, M., (2000)**, Creep and Relaxation of Polyester Mooring Lines, *Offshore Technology Conference*, OTC 12176, Houston, Texas, USA.