



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

**Şekil Hafızalı Teknik Tekstil Materyallerle Elde Edilen Hareketli Tekstil Yüzeylerinin
(Aktüatörlerin) İncelenmesi**

**Investigation of Mobile Textile Surfaces (Actuators) Made From Shape Memory
Technical Textiles**

İbrahim ÜÇGÜL, Alev DEDE
Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online): 29 Eylül 2014 (29 September 2014)

Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

İbrahim ÜÇGÜL, Alev DEDE (2014): Şekil Hafızalı Teknik Tekstil Materyallerle Elde Edilen Hareketli Tekstil Yüzeylerinin (Aktüatörlerin) İncelenmesi, Tekstil ve Mühendis, 21: 95, 9-15.

For online version of the article: <http://dx.doi.org/10.7216/130075992014219502>



Araştırma Makalesi / Research Article

ŞEKİL HAFIZALI TEKNİK TEKSTİL MATERYALLERLE ELDE EDİLEN HAREKETLİ TEKSTİL YÜZEYLERİNİN (AKTÜATÖRLERİN) İNCELENMESİ

İbrahim ÜÇGÜL*
Alev DEDE

Süleyman Demirel Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 28.04.2014

Kabul Tarihi / Accepted: 11.09.2014

ÖZET: Bu çalışmada şekil hafızalı materyaller ile yapılabilecek tekstil yüzeylerin hareket yetenekleri üzerine çalışılmıştır. Şekil hafızalı alaşımlarla yapılan deneylerde, öncelikle optimum gerilim değeri belirlenmiştir. Daha sonra kullanılan Ni-Ti alaşımı belirli noktalarından tekstil yüzeyi üzerine yataklanmış ve güç kaynağıyla elektrik uygulanarak, kas kasılma ve gevşemesine benzer hareketler üzerinde çalışılmıştır. Bu nedenle; kasılma ve gevşeme hareketleri için, zamanlayıcı elektronik devre olarak bir PIC devresi kurulmuştur. Uygulama olarak ise tekstil yüzeyine yerleştirilen nitinol ile programlı bir hareket gerçekleştirilmiştir. Bu sistemle eldivenin parmak kısımlarının hareketi üzerinde çalışılmıştır. Yapılan tasarım da, kısmi felç spastisitesi olan hastaların, el kaslarının hareketini desteklemesi amaçlanmıştır. Bu sayede hastanın, el kaslarını uzmanların yardımı ile aktif asistif döneminde daha etkin çalıştırması öngörülmüştür. Böylece el kaslarında hareketsizlikten kaynaklı kas zayıflığının artması ve kütleli azalmayı da engellemek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Teknik tekstiller, şekil hafızalı materyaller, eyleyiciler (aktüatör), akıllı tekstiller.

INVESTIGATION OF MOBILE TEXTILE SURFACES (ACTUATORS) MADE FROM SHAPE MEMORY TECHNICAL TEXTILES

ABSTRACT: In this study; fine motor skills of textile surfaces that can be made with shape memory materials were studied. In experiments conducted with shape memory alloy; primarily optimal voltage value had been determined. After used Ni-Ti alloy has been mounted at specific points on the textile surface and electricity has been applied by power supply, movements similar to muscle contraction and relaxation were studied. For this reason, a PIC circuit has been established as timer electronic circuit to realize contraction and relaxation movements. As an application, a programmed movement with positioned nitinol on the textile surface was carried out. With this system the movement of the finger portions of the glove has been studied. In this design; it has been aimed to support the movement of the hand muscles of patients with partial palsy spasticity, so that patients are projected to operate hand muscles more actively during active assistive period with the help of experts. Thus, increasing of muscle weakness caused by immobility and the mass reduction has been aimed to prevent in the hand muscles.

Keywords: Technical textiles, smart textiles, shape memory materials, actuators.

* *Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ibrahimucgul@sdu.edu.tr*

DOI: 10.7216/130075992014219502, www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Teknik tekstiller, endüstride, uzay sanayiinde, askeri alanda, denizcilikte, tıpta, inşaatta, jeotekstillerde, ulaştırmada ve yüksek teknoloji uygulamalarında kullanılan fonksiyonellik gerektiren tekstil ürünleridir. Yeni icat edilmiş tekstil malzemelerinin kullanımı çok sayıda yeni teknik tekstil ürününün gelişmesine yol açmaktadır. Tekstil sektörün anahtar bir özelliği de sektör ürünlerinin çeşitli uygulamalar ve pazar tarafından güçlü bir şekilde talep edilmesidir [1].

Teknolojik gelişmelerin sonucu olarak meydana gelen orijinal şeklini hatırlayabilme yeteneğine sahip materyallere, şekil (biçimsel) hafızalı materyaller denilmektedir. Orijinal şeklinin dışında başka bir şekil verilen madde; kimyasal, sıcaklık değişimi, ışık, mekanik, manyetik veya elektriksel bir dış etki ile orijinal şekline dönmektedir. Bu materyallerde, alaşımlar, polimerler, jeller ve seramikler gibi pek çok şekil hafızalı materyal sınıfı vardır. Tekstilde uygulama alanı olan şekil hafızalı materyal tipleri daha çok alaşım ve polimerlerden oluşmaktadır [2].

Birçok mekatronik sistem içerisinde herhangi bir duruma karşılık hareketler ya da tepkiler mevcuttur. Bu hareketler veya verilen tepkiler eyleyiciler (aktüatörler) tarafından üretilen kuvvet ile sağlanmaktadır. Eyleyiciler, elektriksel, hidrolik ve pnömatik olmak üzere gruplara ayrılır. Eyleyiciler genelde enerji dönüştürücü cihazlar olarak kabul görmektedir. Yani enerjiden güç elde ederken kullanılan bir çeşit sistemdir [3,4].

Bu çalışmada, teknik ve akıllı tekstillerin bir alt başlığı olarak da yer alan şekil hafızalı materyaller ve çeşitli özellikleri anlatılmıştır. Bu materyallerin sahip olduğu davranışlar neticesinde aktüatör olarak da kullanımının mevcut olması nedeniyle eyleyicilere değiştirilmiştir. İncelenen özellikler doğrultusunda şekil hafızalı materyal kullanarak hareket kabiliyeti olan akıllı bir yüzey elde edilmesi üzerine deneyler yapılmıştır. Sonuçların pozitif olmasından kaynaklı davranışlar incelenmiş ve bu davranışlara göre bir kullanım alanı oluşturulmuştur. Kullanım alanı olarak felçli hastalar için yalnızca parmak ve el üst kaslarını çalıştırabilecek bir eldiven tasarlanmış ve bu tasarım üzerinde bir takım geliştirme işlemleri için eldiven zamanlayıcı bir devreye bağlanmıştır.

2. ŞEKİL HAFIZALI MATERYALLER

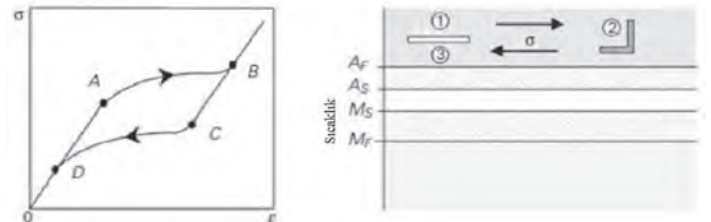
2.1. Şekil Hafızalı Materyallere Giriş ve Genel Bakış

Şekil hafızalı alaşımlar (Ş.H.A) terimi, dış etkenlerden kaynaklı bozulan geometrinin, uygun bir ısıl prosedürü uygulayarak gerçek şekline ya da boyutuna geri dönebilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır [5].

Şekil hafıza özellikli alaşımlar ısıl değişimlere duyarlı fonksiyonel malzemelerdir. Temel karakteristikler, kritik dönüşüm sıcaklığının altında ve üzerinde iki farklı şekil ya da kristal yapısına sahip olmalarıdır. Nispeten düşük sıcaklıklarda deforme edilebilen bu materyaller, sıcaklıklar yükseldikçe deformasyon öncesi şekillerine dönebilmektedirler. Bu alaşımlar, sadece ısıtma halinde “tek yönlü şekil hafızaya sahip malzemeler” olarak tanımlanırken, yeniden soğutma halinde ise “iki yönlü şekil hafızaya sahip malzemeler” olarak tanımlanmaktadır [6].

Şekil hafıza özellikli alaşımlar; bar, şerit, fiber veya kablo, boru, folyo, ince film, partikül ve hatta delikli döküm şeklinde işlenebilmektedir. Şekil hafızalı alaşımların fabrikasyonu (eritme, temel işlemler, ikincil işlem metotları, son ürün teknolojisi) Ni-Ti fabrikasyonuna dayandırılarak açıklanmaktadır [7].

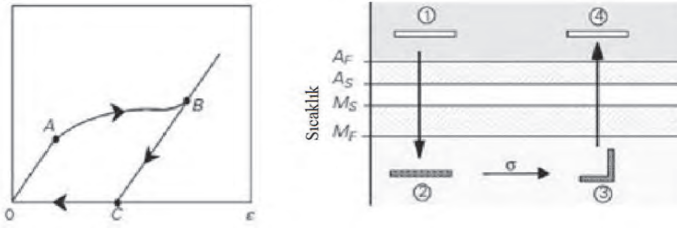
Süper elastik davranış bir şekil hafızalı alaşımda Af sıcaklığı üzerindeki bir sıcaklık değerinde meydana gelmektedir. Örneğin Af sıcaklığı üstündeki sabit bir sıcaklık değerinde mekanik yüklemeye maruz kalmış bir Ş.H.A numunesini ele alalım. Şekil 1.'de gerilim gerinim eğrisi ile süper elastiklik durumunu gösteren Ş.H.A'nın makroskopik davranışı gösterilmektedir. As, Af ve Ms, Mf sırası ile Ostenit (ana faz) ve Martenzit dizilimin başladığı ve bittiği sıcaklık değerleridir [8].



Şekil 1. Süperelastiklik [8]

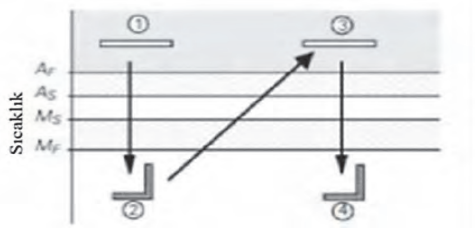
Şekil hafızalı alaşımların gösterdiği ikinci termomekanik davranış ise şekil hafıza etkisidir. Şekil 2'de yer alan şekil hafıza efektinin görüldüğü düşük sıcaklıkta, (Mf sıcaklığından daha az) sadece martenzit fazın

kararlı olduğu sıcaklığın altındaki sıcaklıkta bir Ş.H.A'nın gerilim gerinim eğrisi gösterilmiştir [9].



Şekil 2. Şekil hafıza etkisi [9]

Şekil hafızalı alaşımlarda Martenzitik dönüşüm ile ilgili diğer bir durum, iki yönlü şekil hafıza etkisidir. Kullanılan numunenin martenzit ve ostenit durumda belirli bir şekli vardır. Uygulanan sıcaklıktaki değişim, herhangi bir mekanik yüklemesiz numune şeklinde bir değişiklik sağlar. İki yönlü şekil hafıza etkisini gözlemlenmek için numunenin işlem görmüş olması gereklidir. Şekil 3'de iki yönlü şekil hafıza etkisi gösterilmiştir [9].



Şekil 3. İki yönlü şekil hafıza efekti [9]

2.2. Şekil hafızalı polimerler

Şekil hafızalı malzemeler çeşitli uyarılara cevap verebilen materyallerdir. Bu uyarılar ısı, ışık, elektrik alan, manyetik alan, kimyasal, nem, pH veya başka dışsal uyarıcılar olabilmektedir. Isıya bağlı şekil değişimine termal yüklü şekil hafıza etkisi denir. Bu özellikteki materyaller, bir ya da iki sıcaklık basamağında kararlıdır. Bu sıcaklık değerleri, arasında materyal değişik yapı potansiyellerine sahiptir ve bir kez dönüşüm sıcaklığına ($T_{\text{dönüşüm}}$) ulaşabilmektedir. Şekil hafızalı polimerler de alaşımlar gibi çok değişik yapı özelliklerine sahiptirler. Dönüşüm sıcaklığına maruz bırakıldıklarında, Ş.H.A.'dan yapılan aletler hareketlendirici gibi güç sağlarken, şekil hafızalı polimerlerde, dönüşüm sıcaklığında mekanik özellik hızlandırıcının boşalmasıyla yok olabilmektedir [7].

Şekil sabitleme süreci, şeklin yeniden ilk pozisyona dönmesinin termomekanik döngüsü aşağıdaki gibidir [10];

- **Süreç 1:** Tanecikli haldeki polimer, sert segmentin erime sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır. Ardından eriyik haldeki polimerde amorf yapıların oluşumu gerçekleşir. Bu proses birinci sentetik form olarak tanımlanır.
- **Süreç 2:** Polimer soğutulur ve süreçte kristalleşme (kristalleşme) meydana gelir. Bu şekilde tanımlanan ilk şekline sahip olur. Ve bu şekil polimer için sabitlenir.
- **Süreç 3:** Polimer değişim sıcaklığı değerine ($T_{\text{dönüşüm}}$) kadar bir dış kuvvet uygulanması eşliğinde ısıtılır. Bu sayede polimer ikincil şekline geçmiş olur.
- **Süreç 4:** Proses 3'te uygulanan dış kuvvet kopolimer pozisyonunda hala uygulanmaktadır, fakat sıcaklık geçici şekline ulaşana kadar düşürülmektedir.
- **Süreç 5:** İlk olarak kopolimer değişim sıcaklığı değerine ($T_{\text{dönüşüm}}$) kadar ısıtılır, polimer ezberletilen ilk şekil olan birincil şekline döner. Böylece şekil hafıza etkisinin döngüsü tamamlanmış olur.

Polimer jellerin dikkat çekici özelliklerinden biri, dış koşullarda ki önemli boyutlarda hacim değişimleri, şişme veya büzülme gibi durumlarda değişim reaksiyonları kabiliyetlerinin olmasıdır. Dış uyarı sadece sıcaklık değişimleriyle sınırlı değildir. Hacim değişikliklerini pH değeri varyasyonu, iyonik mukavemet ya da çözücü kalitesi tetikleyebilir. Buna ek olarak jeller elektrik alan ya da ışık ile uyarılabilir. Jellerin en önemli özelliklerinden biri de zayıf mekanik kararlılıklarıdır [11].

Hidrofobik hidrojenlerle, kristalleşen zincirler ve çapraz bağlı poli (vinil- alkol) ısıya karşı tek yönlü şekil hafıza etkisi gösterir. Akrilik asit ve stearil akrilatın kopolimerizasyonu metilene bi sakrilamid çapraz bağlanarak, mekanik özellikleri içinde yüksek bir ısı dayanım özelliği olan hidrojel formunu oluşturur [11].

Bu form da jeller üzerinde soğuma süreci süresince uygulanan kuvvet kaldırıldığında 50 °C ve üzerinde ki sıcaklıklara ısıtmak mümkün olduğu için tek- yönlü şekil hafıza etkisi gözlemlenir [11].

Belli ZrO₂ seramiklerde termal stres ya da aplikasyon gerilimi içinde, tetragonal formdan monoklinik yapıya geçiş martensitik faz değişimi olarak oluşur. Bu malzemeler martensitik seramikler olarak adlandırılır. Malzemenin monoklinik yapıdan tetragonal simetriye geri dö-

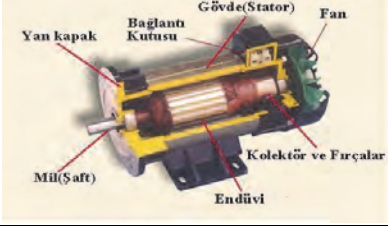
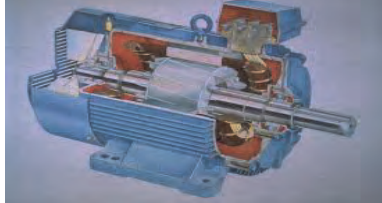



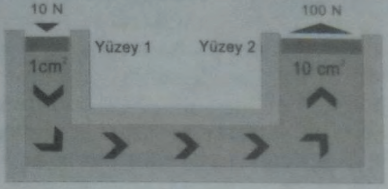

nüşü termoelastiktir. Bundan kaynaklı martensitik seramikler ısı ile değişen şekil hafıza etkisi gösterirler [11].

3. EYLEYİCİLER (AKTÜATÖR)

Robotların hareket için ihtiyaç duydukları güç, elektriksel, hidrolik ve pnömatik eyleyicilerden sağlanır [3].

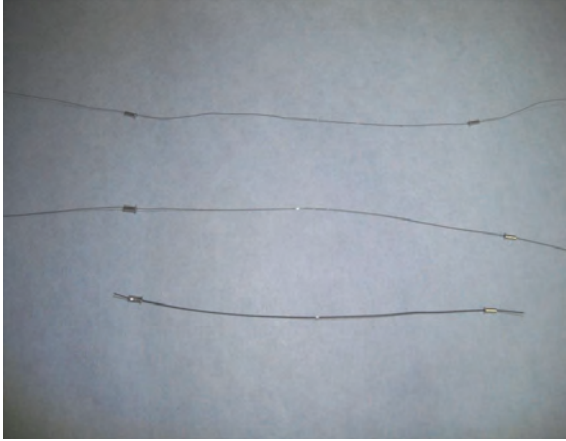
Eyleyiciler genelde enerji dönüştürücü cihazlar olarak kabul görmektedir (Tablo 1). Bu durum enerji perspektifince incelenecek olursa, bir mekatronik sistem: yüksek enerji/ güç ve düşük enerji/ güç kısımlarına ayrılabilir [4].

Tablo 1. Eyleyicilerin sınıflandırılması [12-14]

Elektrik motorları	DC motorlar	DC motor çeşidi doğru akımlı elektrik enerjisini dönel mekanik enerjiye dönüştürmektedir.	
	AC motorlar	AC motorların işlevi alternatif akımlı elektrik enerjisini dönel mekanik enerjiye çevirmektir.	
	Servo motorlar	Servo motorlar hız ve pozisyon kontrolünün gerekli olduğu elektro-mekanik uygulamalarda yüksek oranda verim sağlayan motorlardır.	
	Step motorlar	Step (adım) motorlar, elektronik darbe girişlerini oransal olarak mekanik harekete çeviren motorlar olarak bilinirler.	
	Lineer (Doğrusal) motorlar	Lineer motorlar elektrik enerjisiyle doğrusal mekanik hareket elde eder.	
Hidrolik Eyleyiciler	Hidrolik sistemler, hidrolik enerji aracılığıyla doğrusal, dairesel ve açısal hareket üretmek için kullanılan sistemlerdir.		
Pnömatik Eyleyiciler	Bu sistemler hava basıncından meydana gelen enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürmektedirler.		

4. MATERYAL-METOD

Çalışmada şekil hafıza özelliğine sahip çeşitli ebatlarda, düşük sıcaklıkta (LT, 70 °C) çalışan nitinol alaşım tel kullanılmıştır (Şekil 4). Şerit haldeki nitinolün fiziksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 4. Şerit halde, 0,08 mm, 0,1mm ve 0,2mm çaplı nitinol tel

Kullanılan nitinol alaşım telin elektrik ve sıcaklık uyarını karşısındaki davranışları incelenmiştir ve uygun sıcaklık- gerilim değerleri elde edilmiştir. Bu işlem sırasında voltaj regülatöründen yararlanılmış ve sıcaklık ölçümü içinde dijital ve lazerli termometre kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Voltaj regülatörü, gerilim uygulanan nitinol tel ve lazerli termometre ile sıcaklık ölçümü



Şekil 6. Lloyd marka mukavemet ölçüm test cihazı

Kullanılan şekil hafızalı alaşımın iplik gibi kullanılması planlandığından şekilde görülen Lloyd marka mukavemet test cihazı (Şekil-6) ile kopma uzaması ve mukavemetleri ölçülmüştür (Tablo-2).

Dijital el dinamometresi kullanılarak subjektif bir ölçüm ile parmak hareketi için gerekli gücün kg olarak değeri ölçülebilmıştır (Şekil-7). Bu durumu istediğimiz hareket için gerekli güç miktarı ve elimizdeki nitinolün maksimum kaldırabildiği ağırlıkların gr ve N cinsinden değerleri bilindiğine göre hareket için hangi çapta kaç adet nitinol kullanılması gerektiği rahatlıkla hesaplanabilmektedir.



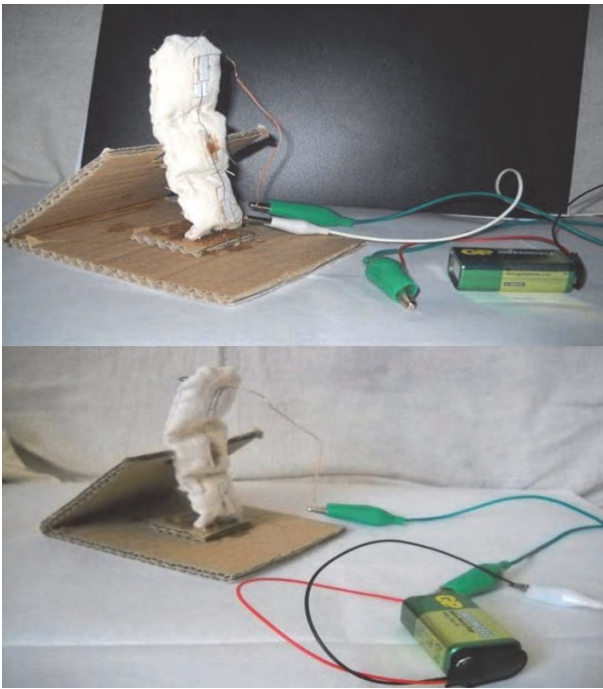
Şekil 7. Dijital el dinamometresi aracılığıyla parmak hareketi için gerekli gücün ölçümü

Tablo 2. Şerit haldeki nitinolün fiziksel özellikleri

Nitinol alaşımın Çapı (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Numara (tex)	Maksimum Çekme Kuvveti (Gram kuvvet)	Maksimum Çekme Kuvveti (Newton)
0,08	4,621	23	80	0,7845
0,1	6,187	49	150	1,4710
0,2	6,451	203	590	5,7859

Çalışma devamında plastik bir plaka üzerine çapraz dikişlerle 0,1 mm yarıçaplı nitinol yataklanmış ve güç kaynağı ile gerilim uygulanmış, 1 saniyeden daha kısa bir sürede düz kas yapısında olduğu gibi kasılma göstermiştir.

Maket bir parmak üzerine yapılan çalışma da, parmak üzerine nitinol geçirilmiş ve gergin pozisyonda klipsler aracılığıyla yapıya sabitlenmiştir. Ardından parmak duruşu deforme edilmiş ve gerilim uygulanmıştır (Şekil 8).

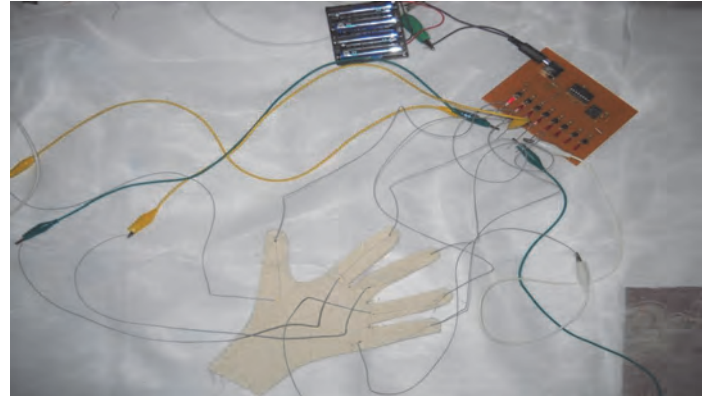


Şekil 8. Parmaktaki düzelme

Hareketin programlı bir yapıda verilmesi için zamanlayıcı olarak görev yapacak bir pic devresi kurulmuştur.

Devrede bir el düşünülerek 5 adet parmak tasarlanmış ve bu parmaklar iletken tellerle devreye bağlanmıştır. Devrede elektrik iletimi toplam 8 saniyede olmaktadır. Yani her tel bağlı şerit 8 saniye de bir uyarılmıştır. Bu süreç ısınan telin soğuması içinde yeterlidir.

Bir pic devresi kurulmuş ve parmaklarına nitinol yerleştirilen eldiven de bu devreye bağlanmıştır. Maksat zamanlayıcı yardımıyla düzenli bir hareket sağlanmıştır. Ancak materyalimizin gücü eldiven yapımı için kullanılan kumaş gramajını taşıyacak büyüklükte olmadığı için hareketler ancak minimal düzeyde kalmıştır. Şekil 9'da devrenin resmi görülmektedir.



Şekil 9. Pic devresine bağlı eldivenin şekli

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Teknolojideki ilerlemeler, tekstil sektörünün de önünü açmış, pek çok alanda olduğu gibi teknik tekstil alanında da gerçekleştirilen ürünler ile hayatı daha yaşanılır kılmak için yapılan çalışmalar sürmektedir.

Çalışmada şekil hafızalı materyaller kullanılmış ve hareket edebime kabiliyeti olan (el hareketi taklit eden) tekstil yüzeyleri oluşturulmuştur. El-Parmak maketin üzerinde yapılan deneyde normal de düz şerit formda kasılma hareketi yapan malzemenin orijinal şekli olan düz forma dönüşme davranışında kaynaklı eğri duran parmak dik bir pozisyon almıştır. Bu fikre dayanarak kasılmış bir el yapısını açık bir ele dönüştürüp bunu bir egzersiz gibi uygulama alanı sağlama-ya yarayan bir eldiven tasarlanmıştır. Eldiven tasarlamada amaç, felçli hastalarda hareket yeteneğini yeniden kazandırmaktır. Bu tip vakalarda hastada spatite (kasılma) mevcutsa hasta hareketi yalnızca uzmanlarca yapılır ve uzman desteği bulunmadığında da el splinti yardımı ile parmak ve bilek kasılmamış pozisyonda bekletilir.

Bu çalışma, özellikle fizik tedavi gereksinimi olan hastalar için yeni bir uygulama yöntemini ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra bu çalışma ilerleyen çalışmalar için öncü niteliğinde olduğu, yapılacak benzer çalışmalara zemin teşkil edeceği öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR

3325-YL1-12 No'lu Proje ile çalışmamızı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

KISALTMALAR

AC	Alternatif akım
Af	Ostenit bitişi
As	Ostenit başlangıcı
DC	Doğru akım
Mf	Martenzit bitişi
Ms	Martenzit başlangıcı
Ni-Ti	Nikel- titanyum alaşımı (nitinol)
Ş.H.A	Şekil hafızalı alaşım
T _{dönüşüm}	Dönüşüm Sıcaklığı

KAYNAKLAR

1. <http://www.tekstilteknik.com/Referanslar/Tekniktekstiller.asp> *Tekstil Teknik*, 2012. Erişim Tarihi: 13.11.2012.
2. <http://textilojen.blogcu.com/akilli-tekstiller/11092722> *Akıllı Tekstiller*, 2012. Erişim Tarihi: 12.05.2012.
3. <http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/eyleyiciler.pdf89> *Eyleyiciler*, 2013. a. Erişim Tarihi: 12.04.2013.
4. http://ytumekatronik.files.wordpress.com/2012/03/mmg_ders-5_slaytlar.pdf *Eyleyiciler*, 2013. b. Erişim Tarihi: 08.03.2013.
5. Toptaş, E., Akkuş, N., (2007). *Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Endüstriyel Uygulamaları*. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4, 15-22.
6. Akdoğan, A., Nurveren, K., (2003). *Şekil Hafızalı Alaşımlar*. Mühendis ve Makine, 44, 35-44.
7. Mattila, H., R., (2006). *Intelligent Textiles and Clothing*. Woodhead Publishing Limited, 506p, Cambridge
8. Güney, S., (2009). *Peristaltik Hareket Sağlayan Tıbbi Tekstil Materyalinin Geliştirilmesi ve Bilgisayarlı Kontrolü*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Isparta.
9. Machado, L.G., Savi, M.A., (2003) *Medical applications of shape memory alloys*. Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 36, 683-691.
10. Hu, J., (2007), *Shape Memory Polymers And Textiles*. Woodhead Publishing Limited, 345p, Cambridge
11. <http://www.eng.buffalo.edu/Courses/ce435/Lendlein02.pdf>, Lendlein, A., Kelch, S., (2002). *Shape-Memory Polymers*, Erişim Tarihi:12.05.2012
12. Çamoğlu, D., (2011). *Bilgisayar Kontrollü Robotik*. Dikeyksen, 365s, İstanbul
13. <http://www.butunsinavlar.com/dc-motorlar-ve-cesitleri.html> *DC*, 2013. *DC motor çeşitleri*. Erişim Tarihi:26.04.2013.
14. http://intech2010.com/tr/dosya/14bfa6bb14875e45bba028a21ed38046_intech_69.pdf *Rehabilitasyon Teknolojileri*, 2013. *Rehabilitasyon Danışmanları ve Fizyoterapistler için Rehabilitasyon Teknolojileri*. Erişim Tarihi: 06.05.2013.