

ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLI TELİN ELEKTRİK AKIMI ALTINDAKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELEMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BEHAVIOUR UNDER ELECTRIC CURRENT OF SHAPE MEMORY ALLOY WIRE

Ersin TOPTAŞ*, Nihat AKKUŞ*, Garip GENÇ**

*) Marmara Üniversitesi, Tek. Eğt. Fak., Mekatronik Bölümü, Göztepe Kampüsü, 34722, İSTANBUL

***) Marmara Üniversitesi, Tek. Bil. Mes. Yüksekokulu, Makine Bölümü, Göztepe Kampüsü, 34722, İSTANBUL

ÖZET

Bu çalışmada biyomedikal, uzay ve uçak sanayi gibi alanlarda kullanılan şekil hafızalı alaşımların ısı ve elektrik akımı altında bazı mekanik parametreleri incelenmiştir. Çalışmada nitinol (nikel - titanyum alaşımı) olarak isimlendirilen şekil hafızalı malzemenin değişik elektrik akımı altındaki sıcaklık değişimi ve hız davranışları çekme deneyi esaslarına göre araştırılmıştır. Deneylerde sıcaklık, deplasman, kuvvet-gerilme ve direnç değişimi gibi parametrelerin eğrileri için sırasıyla termokupul, LVDT, yük hücresi ve çoklu veri kaydedici kullanılmıştır. Nitinol Telin farklı Sabit Akım Altındaki Deplasman-Sıcaklık İlişkisinin farklı olduğu, bundan yararlanılarak Farklı Akımlar altında farklı hız-deplasman İlişkisinin oluşturulabileceği görülmüştür. Sonuçlar deneye tabi tutulan nitinol malzemenin güç/ağırlık oranının diğer aktüatörlerden avantajlı olmasından ötürü telin otomatik kontrol gerektiren yerlerde endüstri ve biyomedikal uygulamalar için kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: şekil hafızalı alaşım, nitinol, aktüatör

ABSTRACT

In this study, the mechanical properties of shape memory alloys which are used in the industrial areas such as aerospace and biomedical has been examined. A shape memory alloy whose commercial name is nitinol (nickel-titanium alloy) has been tested to understand basic material properties such as variation of temperature and deformation velocity under tension test. Temperature, displacement, force-stress and resistance change was measured by thermocouple, LVDT, load cell and data logger was used during testing respectively. The results revealed that nitinol wire exhibits different displacement – temperature behavior under different electricity current and this might be useful for obtaining different velocity or displacement under different currents. The power /weight ratio of the tested nitinol material indicates that it has some advantages from other type of the actuators, so that it can be used as a new type of actuators in which controlled movement by electric current necessary.

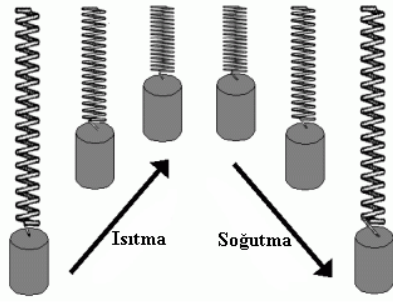
Keywords: shape memory alloys, nitinol, actuator

1. GİRİŞ

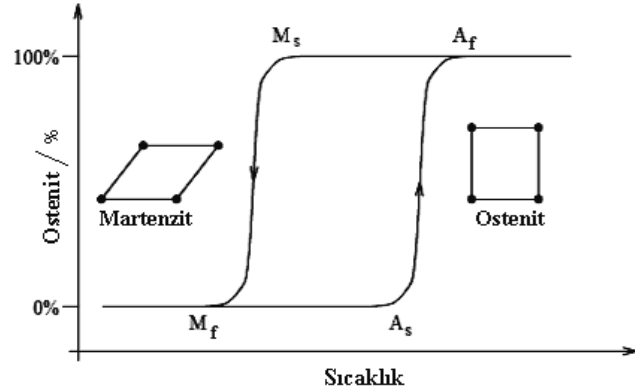
Şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA), dış etkenlerden dolayı bozulan geometrinin, uygun bir ısı prosedürü uygulanarak gerçek şekline veya boyutuna geri dönebilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bu malzemeler kristal yapılarında meydana gelen martenzit ve ostenit faz dönüşümleri sonucunda şekil değişimi yapabilmektedir. Düşük sıcaklıkta martenzit yapıya sahipken kolay deformasyona uğrayan malzeme, uygun sıcaklıkta ısıtıldığında yüksek sıcaklık fazı olan ostenit faza geçerek deformasyon öncesi orijinal şekillerine tekrar dönebilmektedir [1, 2].

Şekil hafızalı alaşımlarda, yüksek sıcaklıktaki ostenitik fazın uzun süren dönüşümü sonucunda termoelastik martenzitin meydana gelmesi martenzitik dönüşüm olarak isimlendirilir. Atomların yer değiştirme miktarı çok büyük olmamasına rağmen, hepsinin birden hacimsel yönde aynı doğrultuda taşınmasından dolayı, dönüşüm

sonucunda makroskopik bir şekil değişimi gerçekleşir [3]. Sonuç olarak şekil hafızalı alaşımlar normal metal ve alaşımlardan farklı niteliklere sahip olan şekil hafıza etkisi ve süperelastisite gibi özellikler açığa çıkar.



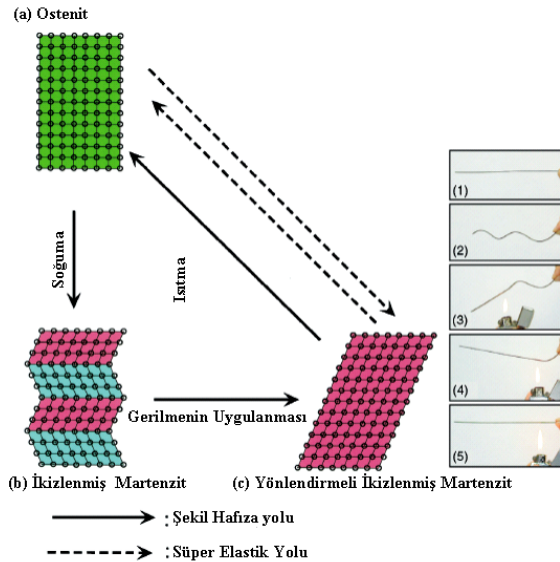
Şekil 1. SMA'nın Isı ile İlişkisi



Şekil 2. SMA'nın Sıcaklık Geçişleri ve Histerisiz Eğrisi

Her alaşımanın katılma sıcaklığı farklı olduğundan martenzitik dönüşüm, belirli bir sıcaklık aralığında tamamlanmaktadır (Şekil 1-2). Dönüşümün başlangıç ve bitişi gerçekte geniş bir sıcaklık aralığını kapsamasına rağmen çoğu zaman dar bir sıcaklık aralığında meydana gelmektedir.

Şekil 2 'de görüldüğü gibi şekil hafızalı alaşımlarda martenzit ile ostenit dönüşümlerinin tekrarlanması sırasında geniş bir histeris çevrim ortaya çıkmaktadır. Martenzit yapıları belirli bir sıcaklıktan itibaren ostenite dönüşür. Bu dönüşümün olduğu sıcaklığa ostenit başlangıç sıcaklığı (A_s) ve dönüşümün bittiği sıcaklığa da ostenit bitiş sıcaklığı (A_f) olarak isimlendirilmektedir. Ostenit yapıları şekil hafızalı alaşımlar soğutulduğu takdirde malzemenin kristal yapısı martenzit yapı haline dönüşecektir. Bu dönüşümün olduğu sıcaklığa martenzit başlangıç sıcaklığı (M_s) ve dönüşümün bittiği sıcaklığa da martenzit bitiş sıcaklığı (M_f) olarak isimlendirilmektedir [4]. Bu sıcaklıkların oluşumu esasında $A_s - A_f$ ve $M_s - M_f$ sıcaklıkları arasında Şekil Hafızalı Alaşımlar, martenzit ve osteniti ihtiva eden karışık bir düzene sahip olan yönlendirmeli ikizlenmiş martenzit (detwinning martensite) görülmektedir (Şekil 3). NiTi için bu dönüşüm sıcaklıklarına örnek verecek olursak eğer $M_f=25^\circ\text{C}$, $M_s=50^\circ\text{C}$, $A_s=58^\circ\text{C}$, $A_f=78^\circ\text{C}$ 'dir [5, 6].



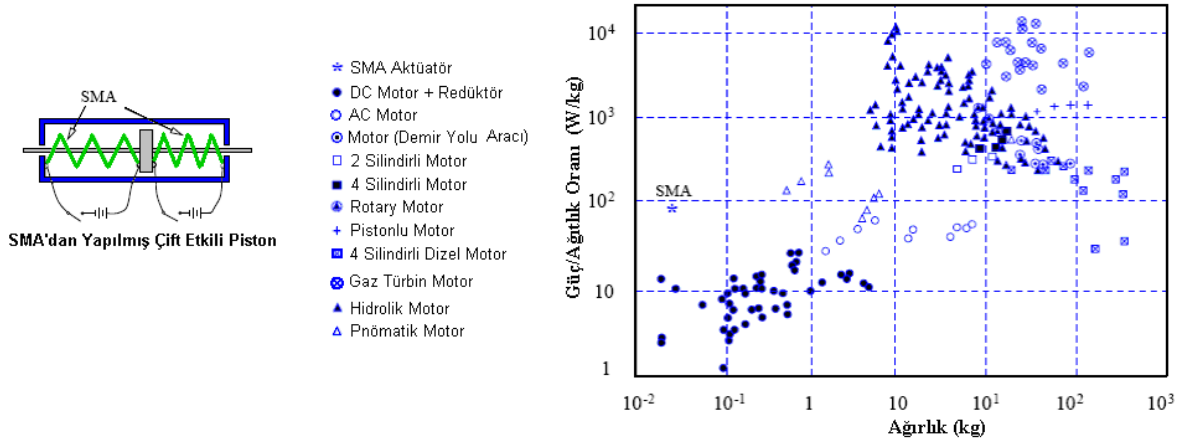
Şekil 3. SMA'nın Hal Değişimleri [7]

Şekil Hafızalı Alaşımlar içerisinde endüstride ticari değere sahip iki tür alaşım bulunmaktadır. Bunlar şekil hafızalı NiTi (Nikel-Titanyum) alaşımları ve bakır esaslı alaşımlar olmaktadır. Bu alaşımlar sahip oldukları özellikleri bakımından birbirinden oldukça farklıdır. Bakır esaslı alaşımlarda % 4-5 olan birim şekilde değiştirme oranı, NiTi alaşımlarda yaklaşık %8'dir. Daha fazla ısıl kararlılığa sahip olan NiTi alaşımlar bakır esaslı alaşımlarla karşılaştırıldığında mükemmel bir korozyon direncine ve çok daha yüksek sünekliliğe sahiptir. Diğer taraftan bakır esaslı alaşımlar daha ucuzdur, eritmeleri ve açık havada ekstrüde edilmeleri daha kolaydır, daha geniş potansiyel dönüşüm sıcaklık aralığına sahiptirler. Bu bilgiler ışığında NiTi alaşımları ve bakır esaslı alaşımların kullanılacağı yere göre göz önünde bulundurulması gereken avantaj ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır [3, 7, 8].

2. ENDÜSTRİDE ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLARIN ÖNEMİ VE UYGULAMA ALANLARI

Endüstrinin gelişim süreci içerisinde ürünün üretilmesi veya geliştirilmesinde daha esnek, hafif ve küçültme yönündeki talepler, hareket iletim sistemlerinde de bir gelişim sürecine girilmesine sebep olmuştur. Bu nedenle şekil hafıza alaşımların deformasyonları sonucunda minimum iş yaparak önceki şekline geri dönebilmesinin yanında, faz dönüşümleri sırasında ürettiği güç ile birlikte performans oranı oldukça iyidir.

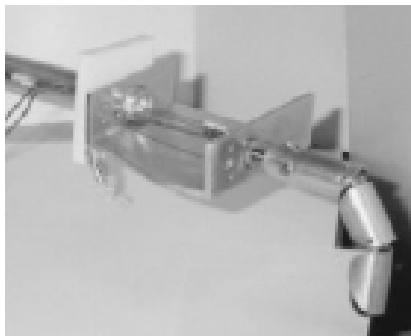
Günümüzde elektromekanik sistemler içerisinde kullanılan aktüatör tasarımları önemli kıstaslar neticesinde yapılmaktadır. Bu kıstaslardan bir tanesi tasarımın sistem içerisinde kaplamış olduğu hacmi ve ağırlığı önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu önem uçaklar ve uzay araçları söz konusu olduğunda daha da önem kazanmaktadır. Şuana kadar üretilen aktüatörler kendi aralarında Güç/Ağırlık performans kriterine göre değerlendirilmektedir [1, 9]. Bu performans kriterlerine göre Şekil 7 'de gösterildiği gibi aktüatörlerin performansları bir grafik halinde gösterilmektedir.



Şekil 4. Çeşitli Aktüatörlerin Güç/Ağırlık Performansları [10]

Şekil Hafızalı Alaşımlar Şekil 7'de gösterildiği performans değeri diğer iletim organlarına göre olarak iyi sonuçlar verebilmektedir. Bu sebeple de endüstrinin ilgisini çekerek bu malzemenin kullanım alanlarını gün geçtikçe yaygınlaşması sağlanmaktadır. Uygulamalarda kullanılmak sureti ile uygun bir tasarım yapabilmek için bu malzemenin doğasını anlamak ve tahmin etmek önemlidir. Histerezis, direnç ve mikro yapıdaki değişimler, süper elastik gibi etkileri bünyesinde taşıyan bu malzemeler bu suretle karmaşık bir yapıya sahiptir [11].

Bu malzemeler günümüzde biyomedikal uygulamalarında yerini almaktadır. Bu malzemeler önceki şekline dönme sürecinde engelleyiciler konursa 700 MPa'ya varan yüksek gerilimler oluşur ve malzeme adeta kas gibi hareket etmeye başlar ve bu özelliğiyle günümüzde protez parmak uygulamaları için önem arz etmektedir (Şekil 5). Hafızalı alaşımlar, medikal uygulamaların yanı sıra, uçak hidrolik sistemlerinde, yarıiletken gaz tüp bağlantılarında, diş düzeltme komponentlerinde, otomotivde radyatör pervanelerinde, egzoz çıkış kontrollerinde, uydularında, termostatik cihazlarda kullanılmaktadır.



Şekil 5. Şekil Hafızalı Metal kullanılarak yapılan bir mekanik parmak [12]

3. MATERYAL VE METOD

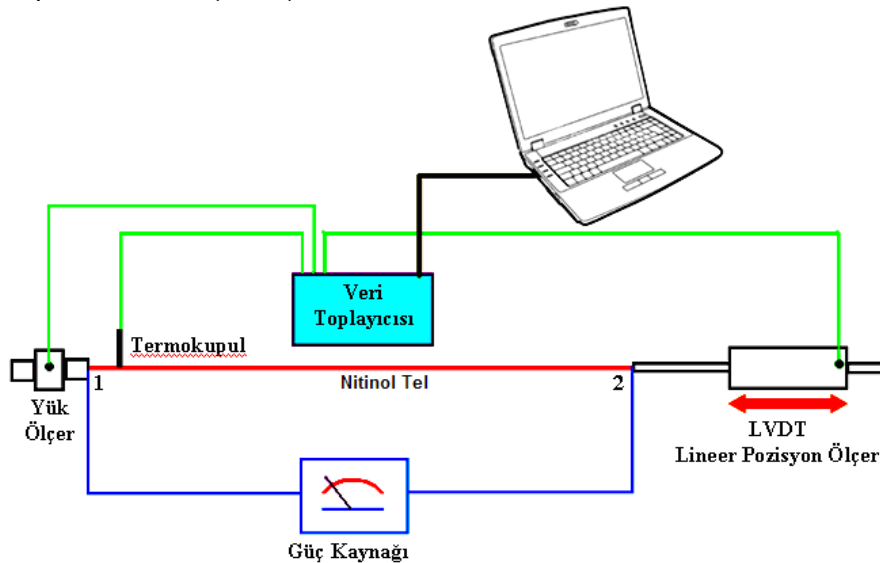
ŞHA'lı malzemeler artık hayatımızın içerisine girerek aktüatör uygulamalarında rol almaktadır. Uygulamalar içerisinde malzemenin büyük birim şekil değiştirmesi, faz dönüşümleri neticesinde ürettiği güç ve bu ürettiği güce karşılık sahip olduğu hacim veya ağırlığının küçük olmasıdır. ŞHA olan NiTi alaşımları, sahip oldukları üstün özellikler sayesinde özellikle biyomedikal uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu alaşımlar korozyona karşı son derece dayanıklı olup mükemmel bir biyoyuymululuk gösterir. Bu araştırmada NiTi alaşımı olan nitinol tel kullanılmıştır. Bu tel Ø0.3mm çapında ve 1200 mm uzunluğunda olup malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Nitinol Telin Malzeme Özellikleri [12]

Özellik		Değer
Erime sıcaklığı (°C)		1300
Yoğunluk (g/cm ³)		6,45
Elektrik direnci (micro-ohm*cm)	Ostenit	82
	Martenzit	76
Isıl genleşme (°C)	Ostenit	11*10 ⁻⁶
	Martenzit	6,6*10 ⁻⁶
Isıl iletkenlik (W/cm*°C)	Ostenit	0,18
	Martenzit	0,85
Isı kapasitesi (cal/g*°C)		0.077
Elastik modülü (GPa)	Ostenit	75 ~ 83
	Martenzit	28 ~ 41
Akma dayanımı (MPa)	Ostenit	195 ~ 690
	Martenzit	70 ~ 140
Maksimum çekme dayanımı (MPa)		754 ~ 960
Dönüşüm sıcaklığı (°C)		-100~110
Dönüşüm sırasındaki gizli ısı (kJ/kg*atom)		167
Şekil hafıza gerinimi (%)		Maksimum 8.5%

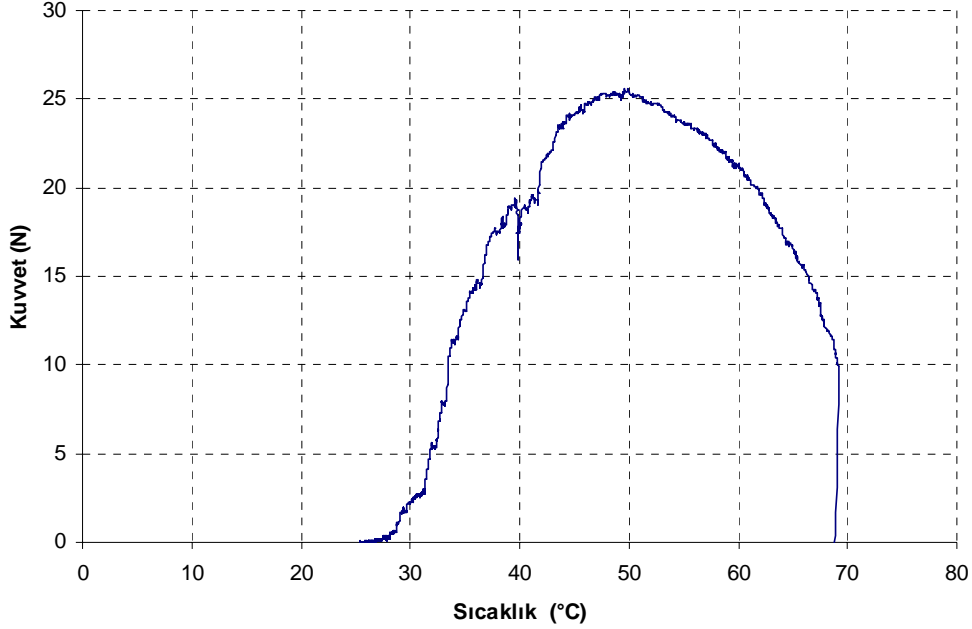
Deneyde amaç telin uygulanan elektrik akımı altındaki davranışların gözlemlenmesidir. Bu deneyde elektrik akımıyla ısınacak olan nitinol tel yapısındaki faz dönüşümleri etkisiyle uzama ve kısalma olacaktır. Bu sebeple Şekil 8'de görüldüğü gibi hazırlanan düzende telin yer değiştirmesi ölçümü için LVDT (Linear Variable Displacement Transducers), kuvvet ölçer, termokupul, güç kaynağı ve bu verilerin işlenerek depolandığı kısım olan veri toplayıcı ve bilgisayardan oluşmaktadır.

Deney üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşaması telin artan akım altındaki ürettiği kuvvet ve direnç değişimi. İkinci aşamada telin artan akımlar altındaki deplasman sonuçları. Son aşamada ise uygulanan sabit akımlar altındaki telin davranışlarının tespit edilmesi amaçlanmıştır.



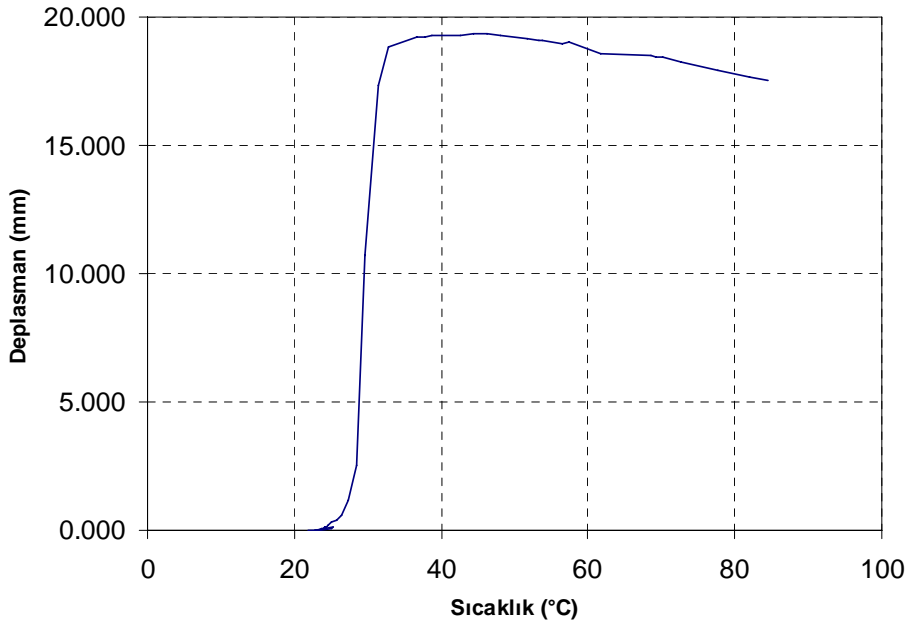
Şekil 6. Nitinol Telin Ölçümü Hazırlanan Deney Düzeneği

Deneyde ilk aşamasında nitinol telin hareketi kısıtlanarak telin artan akım ile ısıtılması sağlanmıştır. Deneyde 0 A'den başlayarak 1,5 A'e kadar uygulanan elektrik akımı nitinol telde meydana gelen sıcaklık ile oluşan kuvvet gözlemlenmiştir (Şekil 6). Elde edilen veride görüldüğü gibi küçük ebatları böyle bir telin aktüatör uygulamalarında göz ardı edilemeyecek bir kuvveti üretebildiği gözlenmiştir.

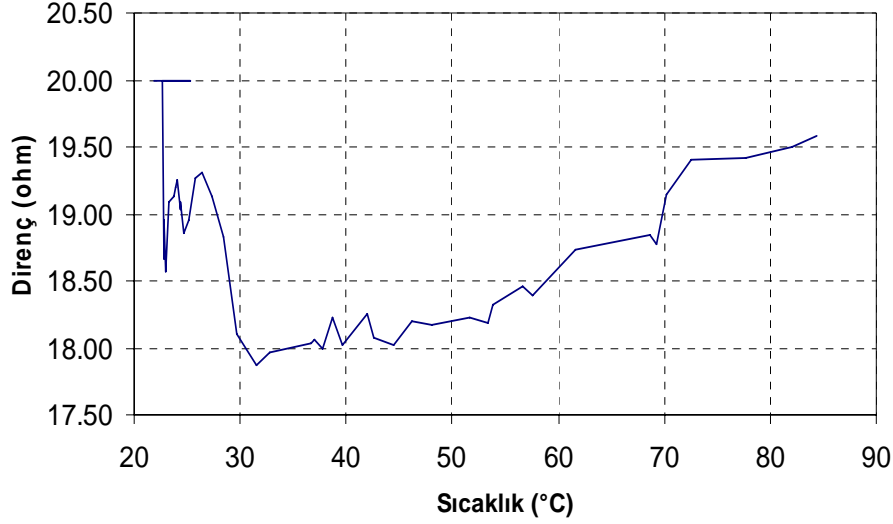


Şekil 7. Nitinol Telin Sıcaklığa Bağlı Olarak Ürettiği Kuvvet

Deneyin ikinci aşamasında uygulanan akım değerleri altında telde meydana gelen direnç değişimleri ve deplasman sonuçları gözlemlenmiştir. Bu deneyde de 0 A'den başlayarak 1,5 A'e kadar uygulanan elektrik akımı neticesinde telde meydana gelen sıcaklığa bağlı olarak deplasman ve direnç değişimleri elde edilmiştir (Şekil 7 ve Şekil 8). Şekillerde görüldüğü gibi şekil hafızalı alaşımlı malzemelerde ostenit faz dönüşümün 25 °C başlayıp telde büyük deplasmanın başladığı ve bu esnada direncin düşüşü gözlenmiştir.

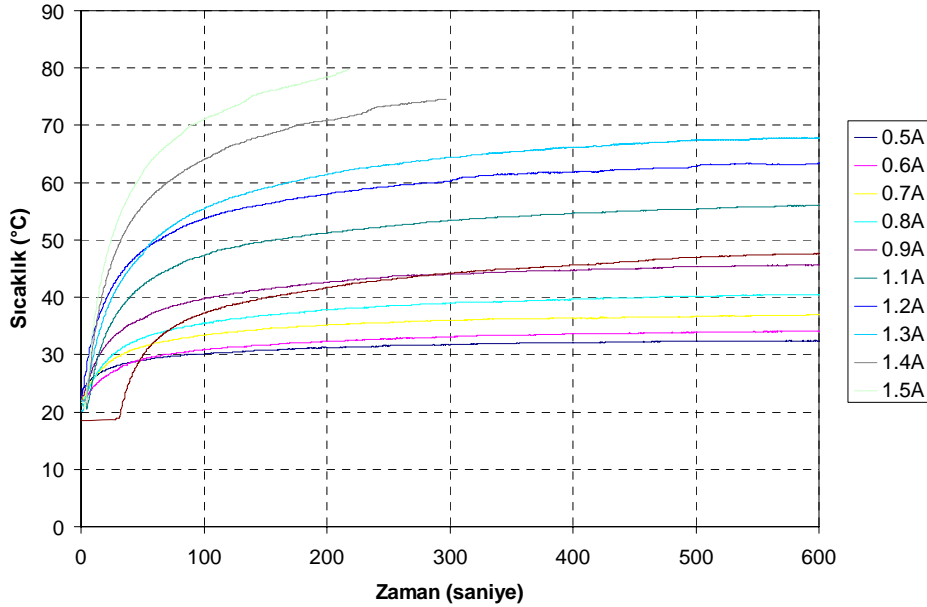


Şekil 8. Nitinol Telin Sıcaklığa Bağlı Olarak Deplasman Değişimi

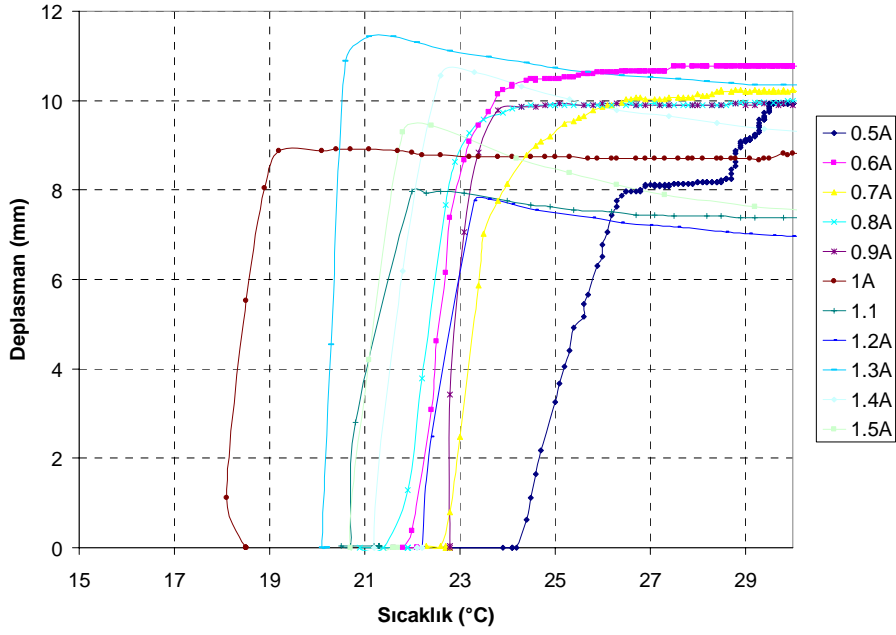


Şekil 9. Nitinol Telin Sıcaklığa Bağlı Olarak Direnç Değişimi

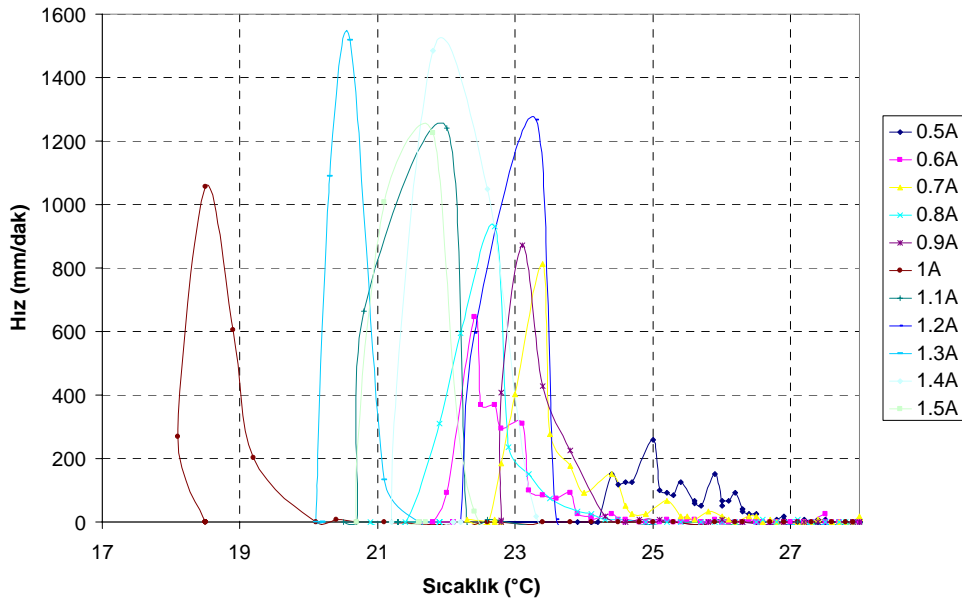
Deneyin son aşamasında 0.5 – 1.5 Amper arasında tele sabit akımlar uygulanarak telde meydana gelen hız, konum ve sıcaklık verileri elde edilerek birbirleri arasındaki ilişkileri gözlemlenmiştir. Bu deney sonuçlarında uygulanan değişik sabit akımlar altında telde meydana gelen sıcaklık değerleri ölçülmüştür (Şekil 9). Bu uygulanan akımlar sonucunda meydana gelen sıcaklığa bağlı olarak telde meydana gelen yer değiştirme miktarı ve hız değerleri elde edilmiştir (Şekil 10-11-12). Bu veriler ışığında böyle bir telin istenilen konuma istenilen hızda gitmesi istendiğinde uygulanacak sıcaklık değerine ulaşılabilmesi için gerekli akım değeri hakkında bize bilgi vermektedir.



Şekil 10. Nitinol Telin Sabit Akımlar Altındaki Meydana Gelen Sıcaklık Değişimleri



Şekil 11. Nitinol Telin Sabit Akımlar Altındaki Deplasman-Sıcaklık İlişkisi



Şekil 12. Nitinol Telin Sabit Akımlar Altındaki Deplasman-Sıcaklık İlişkisi

SONUÇ

Bu çalışmada şekil hafıza alaşımli nitinol telin elektrik akımı altında davranışı kurulan deney düzeneği ile incelenmiştir. Bu malzemeler orijinal şekline dönmelerini aktifleştiren etken sıcaklıktır. Malzeme A_S (Ostenit başlangıç sıcaklığı) sıcaklığına ulaştığı anda içyapısında faz dönüşümleri gerçekleşerek orijinal şekline dönmeye çalışmaktadır. Yaptığımız çalışmada da görüldüğü üzere tel belli bir sıcaklıkta aktif duruma gelmektedir. Deneyimizde telin sıcaklık artışı için değişik değerlerde elektrik akımları uygulanmıştır. Bu uygulanan akım değeri arttıkça sıcaklık değerindeki artış hızına bağlı olarak telin deplasman ve hız değerleri de artmaktadır. Fakat telin düşük değerlerdeki akımlarda tel A_S sıcaklığına ulaşana kadar tepki vermemekte ve ısınan telin martenzit fazına kadar geçen soğuma süresi aktüatör uygulamalarında dezavantajını ortaya çıkarmaktadır.

Bu malzemelerin içyapıları kontrol altına alınabilirse birçok uygulamada aktüatör olarak kullanılması, performans kriterleri olarak diğeri sistemlere göre avantaj sağlayacaktır. Çalışmamızda görüldü gibi telin ürettiği kuvvet ve deplasman verileri birçok aktüatör uygulaması için yeterli düzeydedir. Yapay kaslar, robotik uygulamalar ve sistemin sıcaklık kontrolleri gibi uygulamalarda bu malzemenin sıkça kullanım yeri bulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Akdoğan, A., 2004, "Akıllı Malzemeler" MakinaTek, Sayı 85, İstanbul
2. Vizyon 2023 Projesi Malzeme Teknolojileri Strateji Grubu, 2004, "Malzeme Teknolojileri Stratejisi" Tubitak, Ankara
3. Hodgson,D.E., 2002, "Shape Memory Applications", Inc., Wu, M.H., Memory Technologies, and Biermann R.J., Harrison Alloys, Inc.,
4. Mihalcz,I. 2001, "Fundamental Characteristics And Design Method For Nickel-Titanium Shape Memory Alloy", Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng.,Vol. 45, No 1, pp. 75-86,
5. Gorbet, R. 1996, "A Study of the Stability and Design of Shape Memory Alloy Actuators", Doktora Tezi, University of Waterloo , Canada
6. Texas A&M University, 2006, <http://smart.tamu.edu>.
7. Otsuka, K.,Kakeshita, T., 2002 "Science and Technology of Shape-Memory Alloys:New Developments", MRS Bulletin
8. Akdoğan A., Nurveren K., 2003, "Şekil Hafızalı Alaşımlar", Mühendis ve Makine Dergisi, Ankara
9. Funakubo, H., 1987, "Shape Memory Alloys",Translated by J.B. Kennedy, Gordon and Breach Science Publishers, New York
10. Sivakumar, S., Kumar, K., Rao, L., Rao, M., 2005 "A Review of the Constitutive Models for Shape Memory Alloys", International Conference on Smart Materials Structures and Systems, Bangalore, India
11. Huang, W., 1998, "Shape Memory Alloys and their Application to Actuators for Deployable Structures", Doktora Tezi, University of Cambridge , Peterhouse
12. Hyoung Yoll Jun, "Development Of a Fuel-Powered Compact SMA"Actuator System, 2004.