



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIM İLE ÇOK AMAÇLI AKTÜATÖR TASARIMI VE UYGULAMASI

GÖZDE KONUK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

İSTANBUL, 2014



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIM İLE ÇOK AMAÇLI AKTÜATÖR TASARIMI VE UYGULAMASI

GÖZDE KONUK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mekatronik Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

İSTANBUL, 2014



MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES



**UNIVERSAL ACTUATOR DESIGN AND
IMPLEMENTATION USING WITH SHAPE
MEMORY ALLOY**

GÖZDE KONUK

MASTER THESIS
Department of Mechatronics

Thesis Supervisor
Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

ISTANBUL, 2014

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Gözde KONUK'un "Şekil Hafızalı Alışım ile Çok Amaçlı Aktüatör Tasarımı ve Uygulaması" başlıklı tez çalışması, 26.08.2014 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Nihat AKKUŞ (Danışman)

Marmara Üniversitesi (İMZA) 

Doç.Dr. Caner AKÜNER (Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA) 

Yrd.Doç.Dr. İsmail TEMİZ (Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA) 

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01-07-2015 tarih ve 2014/10-03 sayılı karar ile Gözde KONUK'un Mekatronik Anabilim Dalı Mekatronik Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Uğur YAHŞİ
Müdür



TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen, destek ve teşviklerini her zaman minnet ile anacağım çok değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Nihat AKKUŞ' a en içten dileklerle teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam süresince destek ve yardımları için aileme, arkadaşlarıma ve Gedik Üniversitesi Gedik Meslek Yüksekokulu ailesine en içten duygularıyla teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz, 2014

Gözde KONUK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	1
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
SEMBOLLER	xvii
KISALTMALAR	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
TABLO LİSTESİ	xxv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1. Yeni Endüstriyel Malzemeler	2
1.1.1. Magnetostriktif malzemeler	2
1.1.2. Piezoelektrik malzemeler	2
1.1.3. Şekil hafızalı alaşımlar	3
1.2. Şekil Hafızalı Alaşımlar	4
1.3. Şekil Hafıza Etkisi Nedir?	7
1.3.1. Medikal uygulamalar	12
1.3.2. Endüstriyel uygulamalar	17
BÖLÜM 2 AKTÜATÖR DÜZENEĞİ TASARIMI	27
2.1. Deney Düzenegi	27
2.1.1. Kontrol ünitesi	29
2.1.2. Modül-1	30
2.1.3. Modül-2	32
2.2. Mekanik Hesaplamalar	33
2.2.1. Modül-1 mekanik hesaplamalar	37
2.2.2. Modül-2 mekanik hesaplamalar	39

2.2.3.	SMA Yay Tasarımı	43
BÖLÜM 3	DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	45
3.1.	Yapılan Deneysel Çalışmaları.....	45
3.1.1.	Modül-1	45
3.1.2.	Modül-2	60
BÖLÜM 4	SONUÇ	65
KAYNAKÇA		67
ÖZGEÇMİŞ		71

ÖZET

ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIM İLE ÇOK AMAÇLI AKTÜATÖR TASARIMI VE UYGULAMASI

Bu çalışmada Şekil Hafızalı Metal (SMA) malzemenin süperelastik mekanik özelliklerinden yararlanarak çok amaçlı aktuatör tasarımı yapılmıştır, geliştirilmiştir ve sonuçları incelenmiştir. Elektrik akımıyla tahrik edilebilen motorsuz aktüatörler özellikle ağırlık ve hacim problemi olan yerlerde başarıyla kullanılabilir. Bu bağlamda SMA malzeme esaslı aktüatörlere önemli bir örnek olacak deney düzeneği hazırlanmıştır ve farklı akım değerlerinde SMA yayın uzama miktarı, hız ve hız değişimi gibi mekanik davranış verileri sunulmuştur.

Deney düzeneği, SMA yayın kuvvet üzerindeki hız değişim verilerini karşılaştıracak nitelikte bir mekanizma ve SMA yayın deplasman, hız, zaman etkilerinin ölçülebileceği bir silindir mekanizması olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. Mekanizmaların çalışma hızları Şekil Hafızalı Metal' e uygulanan akıma göre değişiklik göstermektedir. Deney düzeneği ile Şekil Hafızalı Metalden yapılmış yayların çeşitli akımlarda gösterdikleri davranış değişimleri, tasarlanan her iki mekanizma ile araştırılmıştır. Malzemenin ısınma ve soğuma işlemleri esnasında süperelastik özelliklerinden doğan deplasman, hız, süre, kuvvet vb. gibi fiziksel etkileri ölçülmüştür ve bu etkiler arasında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Malzemenin aktif çalışma aralığı tespit edilerek, aktif çalışma aralığı dışında elde edilen hareketten verim elde edilemeyeceği görülmüştür. Elde edilen veriler SMA malzemenin kullanım alanını belirlemekte önem teşkil etmektedir. Düzenekte kullanılan yayların mekaniksel hesaplamaları yapılmıştır. Yağılan hesaplamalar neticesinde yayların mekaniksel özellikleri tanımlanmıştır. Yay tasarımını etkileyecek veriler belirlenmiştir ve bu verilerin etkileri incelenmiştir. Yay tasarımı için gerekli bir yöntem belirlenmiştir.

ABSTRACT

UNIVERSAL ACTUATOR DESIGN AND IMPLEMENTATION USING SHAPE MEMORY ALLOY

In this study, universal actuator design has been investigated, benefit from the Shape Memory Alloy (SMA) advantage of superelastic mechanical properties. Non-motorized actuators can be driven by an electric current can be used successfully, especially in places where are the weight and volume problems. In this regard, a testing arrangement design which is based on Shape Memory Alloy (SMA) and it is driven by an electric current.

Testing arrangement is important to define of the Shape Memory Alloy's mechanical treatment and also to ensure the applicability of the actuator in the industrial field. This testing arrangement availing superelastic material properties of a spring made of shape memory alloy (SMA). Obtain appropriate material characteristics for Nickel Titanium based alloy (NiTiNoI) is very important at determination of application areas and performing simulations with analytical and numerical models. With testing arrangement evaluated, in cycle of SMA's deformation and returned initial shape, these materials gain displacement, velocity values. The springs which are used in testing arrangement has been defined mechanical properties by mechanical calculating, in this way performed some experiments to measure SMA coils effects and engineering calculation for design SMA coil.

SEMBOLLER

A	: Akım (amper)
a	: Açılmış Yayın Helis Açısı
°C	: Santigrat Derece
d	: Tel Çapı (mm)
D	: Yay Çapı (mm)
Di	: Yay İç Çapı (mm)
Dm	: Yay Ortalama Çapı (mm)
Ddi	: Yay Dış Çapı (mm)
E	: Elastiklik Modülü
f	: Uzama Miktarı (mm)
f₁	: Bir Sarımdaki Uzama Miktarı (mm)
F	: Kuvvet (N)
G	: Kayma Modülü (MPa)
g	: gram
J	: Joule
K	: Kelvin
K_{burulma}	: Burulma Gerilmesi (N/mm ²)
kg	: Kilogram
K_{kesme}	: Kesme Gerilmesi (N/mm ²)
M_{burulma}	: Burulma Momenti (N.mm)
m	: metre
mm	: milimetre
n	: Aktif Sarım Sayısı
p	: Açılmış Yayın Hatvesi

t	: Saniye (s)
T	: Sıcaklık (°C)
v	: Poisson Oranı
W	: Watt
Ω	: ohm

KISALTMALAR

A_f	: Östenit Faz
CuZnAl	: Bakır-Çinko-Alüminyum Bileşigi
CuAlNi	: Bakır- Alüminyum-Nikel Bileşigi
SMA	: Şekil Hafızalı Alaşım
ŞHE	: Şekil Hafıza Etkisi
M_f	: Martenzit Faz
NiTiNol	: Nikel-Titanyum Alloy
Ni-Ti	: Nikel – Titanyum

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Yay uzunluğu – sıcaklık grafiği [7].	5
Şekil 1.2. Martenzit-Östenit Faz molekül yapısı [7].	6
Şekil 1.3. Hafıza özelliği mekanizması	8
Şekil 1.4. Tek yönlü şekil hatırlama olayının şematik gösterimi	8
Şekil 1.5. Çift yönlü şekil hatırlama olayının şematik gösterimi	9
Şekil 1.6. Şekil bellekli alaşımlarda süperelastik özellik [3]	10
Şekil 1.7. Şekil hatırlatma etkisi ve süperelastiklik etkisinin meydana geldiği gerilme ve sıcaklık alanları [3]	11
Şekil 1.8. SMA ile tasarlanmış aktüatörler için kalite evi	12
Şekil 1.9. Simon NiTiNol filtre	13
Şekil 1.10. NiTiNol stent uygulaması [13]	14
Şekil 1.11. Kardiyak valf	15
Şekil 1.12. NiTi zımba ile yapılan uygulamada zımbanın şekil değiştirmesi [17].	15
Şekil 1.13. NiTi çubuk uygulaması	16
Şekil 1.14. NiTi çubukların vertebral uygulaması	16
Şekil 1.15. Cryofit hidrolik sıvı bağlantı elemanı	17
Şekil 1.16. NiTiNol bağlantı elemanı	18
Şekil 1.17. Çıkış sıcaklığı ayarlanabilir akışkan sıvı valfi	19
Şekil 1.18. Otomobillerde kullanılan şekil bellekli eyleyicilerin potansiyel uygulamaları	20
Şekil 1.19. Otomobillerde kullanılan elektrikli potansiyel şekil bellekli eyleyiciler	20
Şekil 1.20. a) Kapı kilitleme mekanizması b) Ön cam silecek mekanizması	21
Şekil 1.21. Isı motoru	21
Şekil 1.22. Winglet	22

Şekil 1.23. Akıllı kanat	22
Şekil 1.24. Hubble uzay teleskopu (güneş panelleri açık ve kapalı iken)	23
Şekil 1.25. Çeşitli eyleyicilerin güç- ağırlık performansları.....	24
Şekil 2.1. Deney düzeneği	28
Şekil 2.2. Kontrol birimi bağlantı şeması	29
Şekil 2.3. Kontrol birimi bağlantı şeması	30
Şekil 2.4. Deney düzeneği Modül-1 ön görünüş	31
Şekil 2.5. Modül-2 silindir mekanizması şematik gösterim	32
Şekil 2.6. Modül-2 silindir ileri son konumu	33
Şekil 2.7. Modül-2 silindir geri konumunda.....	33
Şekil 2.8. Silindir mekanizması itme ve çekme yayları.....	40
Şekil 2.9. SMA yayın aktif iki sarımı arasındaki mesafe ile yay kuvveti arasındaki ilişki	42
Şekil 2.10. Şekil hafızalı aktüatör için yay tasarım algoritması	43
Şekil 3.1. Modül-1 ile 10 s süresince her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri	46
Şekil 3.2. Modül-1 10 s süreli sağ-sol hareket ortalama hız/akım grafiği	47
Şekil 3.3. Modül-1 15 s süresince her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri	48
Şekil 3.4. Modül-1 15s süreli sağ-sol hareket ortalama hız/akım grafiği	49
Şekil 3.5. Modül-1 20 s süresince her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri	50
Şekil 3.6. Modül-1 20 s süreli sağ-sol hareket ortalama hız/akım grafiği	51
Şekil 3.7. Modül-1 10 s – 15 s – 20 s süreli sağ hareket ortalama hız/akım grafiği	52
Şekil 3.8. Modül-1 10 s – 15 s – 20 s süreli sol hareket ortalama hız/akım grafiği	53
Şekil 3.9. 10 s – 15 s - 20 s süresince sağ ve sol harekette oluşan hız değişimi.....	54
Şekil 3.10. Aktif zaman belirlemesi için her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri	56
Şekil 3.11. Sağ yönlü toplam hareket ile aktif hareket arasındaki hız değişimi	58

Şekil 3.12. Sol yönlü toplam hareket ile aktif hareket arasındaki hız değişimi.....	58
Şekil 3.13. Sağ ve sol yönlü toplam hareket değişim	59
Şekil 3.14. Sağ ve sol yönlü toplam hareket değişimi	59
Şekil 3.15. İleri-geri hareket hız/akım grafiği	61
Şekil 3.16. İleri – geri harekette meydana gelen hız değişim grafiği	62

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Yeni nesil endüstriyel malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması	5
Tablo 2.1. NiTi ve bakır esaslı alaşımların karşılaştırılması	34
Tablo 2.2. NiTiNol alaşımı ve bazı malzemelerin termofiziksel özellikleri [24].....	35
Tablo 2.3. Hesaplamalarda kullanılan birimler	36
Tablo 2.4. SMA yayın fiziksel ve mekanik özellikleri	36
Tablo 2.5. SMA yayın termal özellikleri ve kimyasal kompozisyonu [24]	37
Tablo 2.6. Modül-1 tasarımı için hesaplanan SMA yayın özellikleri.....	37
Tablo 2.7. Modül-1 için hesaplanan SMA yayın özellikleri	39
Tablo 2.8. Modül-2 için hesaplanan SMA yay özellikleri.....	40
Tablo 2.9. Modül-2 için hesaplanan SMA çekme yayı özellikleri	40
Tablo 2.10. Modül-2 için hesaplanan SMA itme yayı özellikleri	41
Tablo 2.11. SMA yayın aktif iki sarımı arasındaki mesafenin yay kuvvetine etkisi.....	42
Tablo 3.1. Modül-1 ile 10s süresince sağ hareketten elde edilen ortalama hız verileri..	46
Tablo 3.2. Modül-1 ile 10sn süresince sol hareketten elde edilen ortalama hız verileri	47
Tablo 3.3. Modül-1 15 s süresince sağ hareketten elde edilen ortalama hız verileri.....	48
Tablo 3.4. Modül-1 15s süresince sol hareketten elde edilen ortalama hız verileri	49
Tablo 3.5. Modül-1 20 s süresince sağ hareketten elde edilen ortalama hız verileri.....	50
Tablo 3.6. Modül-1 20 s süresince sol hareketten elde edilen ortalama hız verileri	51
Tablo 3.7. 10 s – 15 s - 20 s süresince sağ ve sol harekette oluşan hız değişimi.....	54
Tablo 3.8. Şekil hafızalı yayın sağ ve sol yönde toplam zamanda sahip olduğu hız verileri.....	56
Tablo 3.9. Şekil hafızalı yayın sağ ve sol yönde aktif zaman aralığında sahip olduğu hız verileri.....	57
Tablo 3.10. Modül-2 ileri hareket ile elde edilen hız verileri	60

Tablo 3.11. Modül-2 geri hareket ile elde edilen hız verileri	61
Tablo 3.12. İleri - geri harekette meydana gelen hız değişimleri	62

BÖLÜM 1 GİRİŞ

Şekil Hafızalı Alaşım (SMA) terimi, ısıya maruz kaldığında önceden belirlenmiş Şekil veya boyuta tekrar dönebilme yeteneğine sahip olan bir grup alaşım sistemine verilen isimdir.

Günümüzde dünya endüstrisinde, akıllı malzemeler hızlı bir biçimde yerini almaktadır. Akıllı malzemeler içerisinde yer alan Şekil Hafızalı Alaşım ise ülkemiz endüstrisinde, endüstriyel uygulama alanları yönünden araştırılmaktadır. Şekil Hafızalı Alaşımın sahip oldukları %8'e varan süperelastik özellikleri endüstrinin ilgisini çekmektedir. Bunun yanında çift fazlı yapı değişimleri ile farklı geometriler arasında gidip gelebilmektedirler. SMA malzeme martenzitik fazda iken yeni bir şekle kolaylıkla deforme edilebilir, alaşım ostenit dönüşüm sıcaklığı üzerine ısıtıldığında ise önceki geometrisine dönebilmektedir. Malzemelerdeki bu özelliğe Şekil hafıza özelliği denir [1].

Bu alaşımın sahip olduğu Şekil hafıza özelliklerinin anlaşılması ve bir değerlendirme yapılarak uygun tasarımların oluşturulabilmesi için malzemenin yapısı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu araştırmaların büyük bir çoğunluğu malzemenin mikro yapısının incelenerek deformasyona uğramış alaşımın uygun ısı prosedürleri ile eski şekline dönmesi esnasında yapısında meydana gelen farklı kristal yapıların durumunun anlaşılması üzerine yoğunlaşmıştır [2]. Bundan sonraki çalışmalarda malzemenin matematiksel olarak modellenmesi ve bunun neticesinde bu alaşımın çok farklı alanlarda ve yerlerde eyleyici tasarımı içerisinde araştırmalar sürmüştür.

Şekil Hafıza Özellikleri ile endüstriyel ürünlerde daha esnek, hafif, modüler, minyatürleşme yönünde üstünlükler sağlamaktadır. Bu yönelme, hareket iletim organlarında da bir gelişim sürecine girilmesine sebep olmuştur. Bu nedenle Şekil hafıza alaşımın deformasyonlar sonucunda alaşımın minimum iş yaparak önceki şekline geri dönebilmesinin yanında faz dönüşümleri sırasında ürettiği güç üretimi ile birlikte güç/ağırlık oranının diğer iletim organlarından büyük olması endüstriye yeni bir bakış açısı sunmuştur [2].

Akıllı metal uygulamalarında yüksek sıcaklıkta ortaya çıkan kuvvet etkili elastik deformasyon durumu poseidon elastisitesi olarak tanımlanır. Bu duruma gözlük, telefon anteni gibi günlük yaşantımızdan uygulamalar örnek olarak verilebilir. Bu malzemeler yüksek sıcaklıkta aldıkları Şekiller oda sıcaklığında muhafaza ederler. Deformasyona uğratılan NiTiNol elektrik akımı ile ısıtıldığında rezistans görevi görürü ve ısınır. Bu ısı ile deforme olmuş şeklinden orijinal hafıza geometrisine dönebilir. Şekil Hafızalı Alaşım, başta sağlık, otomotiv, savunma sanayi olmak üzere, pek çok alana ait uygulamalarda kullanılmaktadır [3].

Bu çalışmada Şekil Hafızalı Alaşım malzemenin süperelastik mekanik özelliklerinden yararlanarak çok amaçlı doğrusal aktuatör tasarımı amaçlanmış, bunun için SMA malzemenin ısınma ve soğuma işlemleri esnasında süperelastik özelliklerinden doğan deplasman, kuvvet, hız vb. gibi fiziksel etkileri gözlemlenebilen bir test sistemi geliştirilmiştir.

1.1. Yeni Endüstriyel Malzemeler

1.1.1. Magnetrostriktif malzemeler

Bu malzemeler manyetik alana tepki vermektedirler. Temel çalışma mantığı magnetrostriktif malzemenin etrafına sarılan bobinden elektrik akımı geçirilerek oluşturulan manyetik alanın iç yapıdaki elektronları yeniden düzenmesi ile istenilen uzamayı vermesi şeklindedir. Halen birçok farklı alaşımdan magnetrostriktif malzemeler geliştirilmeye çalışılmaktadır. Gelecekte güçlü eyleyiciler olarak kullanılacakları öngörülmektedir.

1.1.2. Piezoelektrik malzemeler

Piezoelektrik özelliği, (özellikle kristaller ve belirli kristaller; kemik gibi) bazı malzemelere uygulanan mekanik basınç sonucunda, malzemenin elektrik alan ya da elektrik potansiyel yaratma yeteneğidir. Bu etki, malzemenin içindeki polarizasyon yoğunluğundaki değişimle doğrudan alakalıdır. Eğer malzeme kısa devre değilse, uygulanan stres malzemedeki bir voltaj meydana getirir. Piezoelektrik malzemeler terslenebilir; yani “direkt piezoelektrik etki” sergileyen (stres uygulandığında elektrik potansiyel üreten) malzemeler, ters piezoelektrik etki (uygulanan elektrik alan

sonucunda stress-strain üretimi) de gösterirler. Her ne kadar piezoelektrik voltaj değerleri, hareketleri veya güç değerleri düşük (örneğin tipik bir piezoelektrik seramik diskinin kalınlığı milimetreden çok küçük bir değerde değişmektedir.) olsa da ve genellikle yükselteçlere ihtiyaç duysalar da, piezoelektrik malzemeler günümüzde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Piezoelektrik etki uzanım veya kuvvet sensörleri gibi algılama uygulamalarında kullanılmaktadır.

Piezoelektrik üreteçler, piezoelektrik etki doğrultusunda çalışmaktadır. Bu durum, mekanik değişimlere tepki veren materyallerin mekanik değişimler doğrultusunda elektriksel potansiyel üretmelerini sağlamaktadır. Bu etki tam ters şekilde seramik elemanın şeklinin değiştirilmesi veya bazı uygulanan mekanik baskı sonucunda da oluşması mümkündür. Bu materyaller birçok açıdan kullanışlıdır. Temel bazı piezoelektrik materyaller yüksek voltaj değerlerine çok iyi dayanım göstermektedir ve bu durum sayesinde transformatörlerde ve diğer elektrik elemanlarında kullanışlıdır. Piezoelektrik seramikler ayrıca motor üretiminde, hassas çevresel şartlarda titreşimlerin azaltılmasında ve buna bağlı olarak enerji kolektörü olarak da kullanılmaktadır.

1.1.3. Şekil hafızalı alaşımlar

Şekil hafızalı dönüşüm ilk kez AuCd alaşımlarında 1932 yılında Chang ve Read tarafından anlaşılmış, 1938'de de söz konusu yapısal dönüşüm pirinç malzeme de olduğu görülmüştür [4] [5]. 1958 yılında ilk defa Amerika, Naval Ordnance Laboratory' de Şekil hafıza etkisi gözlemlenmiştir.

Nikel-Titanyum (NiTi) alaşımlarında Şekil hafıza etkisinin keşfi, 1962'de W.J.Buehler ve arkadaşları tarafından A.B.D. Deniz Savaş Araçları Laboratuvarında gerçekleşmiştir. Yüksek mekanik hafıza özelliği gösteren bu malzeme ticari ismiyle NiTiNol (Ni-Ti Naval Ordnance Laboratory) olarak adlandırılmıştır. Ti-Ni esaslı alaşımlar sahip oldukları Şekil bellek etkisi (SME), suni elastiklik (PE) ve yüksek sönümlenme yeteneğinden (High Damping Capacity) dolayı Şekil bellekli alaşımlar önemli bir yere sahiptirler. Ti-Ni alaşımları üzerine yapılan son araştırmalar dönüşüm davranışları, termo-mekanik işlemler, üretim yöntemleri ve endüstriyel uygulamalar üzerine odaklanmıştır. Bu alaşımlar, aynı zamanda mükemmel mekanik özellik, korozyon direnci ve bio uyumluluğa sahip olduklarından dolayı birçok uygulamada kendilerine yer bulurlar. Ti-Ni alaşımlarının mekanik özellikleri ve dönüşüm davranışları soğuk

deformasyon, ısıl çevrim, Ni'ce zengin fazın yaşlandırılması ve üçüncü bir elementin eklenmesi gibi termo-mekanik işlemler sayesinde değiştirilip geliştirilebilirler.

SMA'lar özellikle 1980'den itibaren geniş bir endüstriyel kullanıma sahip oldular. İlk uygulamaları petrol borularında ara bağlama elemanı şeklindedir.

1.2. Şekil Hafızalı Alaşımlar

Şekil Hafızalı Alaşımlar ısıl değişimlere duyarlı Şekil hafıza etkisi (SME) ve süperelastiklik (SE) gibi martenzitik dönüşüm ve tersine dönüşümün gerçekleştiği fonksiyonel malzemelerdir. Temel karakteristikleri, kritik dönüşüm sıcaklığının üzerinde ve altında iki farklı Şekil veya kristal yapısına sahip olmalarıdır.

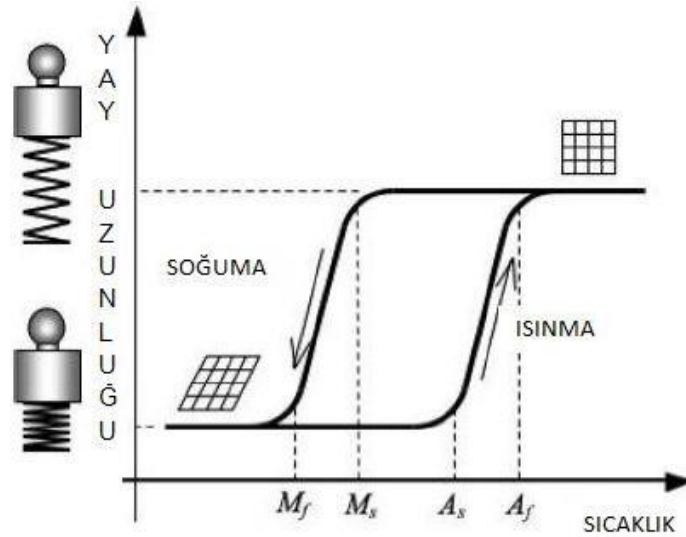
Nispeten düşük sıcaklıklarda deforme edilebilen bu malzemeler, daha yüksek sıcaklıklarda deformasyon öncesi Şekillerine dönebilmektedirler. Bu malzemeler sadece ısıtma halinde "tek yönlü Şekil hafızaya sahip malzemeler" olarak tanımlanırken, yeniden soğutma halinde ise "iki yönlü Şekil hafızalı malzemeler" olarak tanımlanmaktadır [6].

Uygulamada Şekil hafıza etkisi gösteren çok sayıda alaşımların olduğu bilinmekle birlikte bunlar arasında en çok ilgi görenler nikel-titanyum alaşımları ve bakır esaslı alaşımlardır. Yeni nesil endüstriyel malzemelerin özellikleri Tablo 1.1' de görülmektedir.

Tablo 1.1. Yeni nesil endüstriyel malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması

Şekil Hafızalı Alaşımlar	Magnetostriktif Malzemeler	Piezoelektrik Seramikler
Yüksek Enerji Yoğunluğu	Yüksek Çalışma Frekansları	Yüksek Çalışma Frekansları
Yüksek Mukavemet	Düşük Mukavemet	Düşük Mukavemet
Yüksek Esneklik	Yüksek Esneklik	Düşük Güç İhtiyacı
Dar Bant Aralığı	Sınırlı Uzama	Sınırlı Uzama
Dar Çalışma Sıcaklığı Aralığı	Geniş Çalışma Sıcaklığı Aralığı	Dar Çalışma Sıcaklığı Aralığı

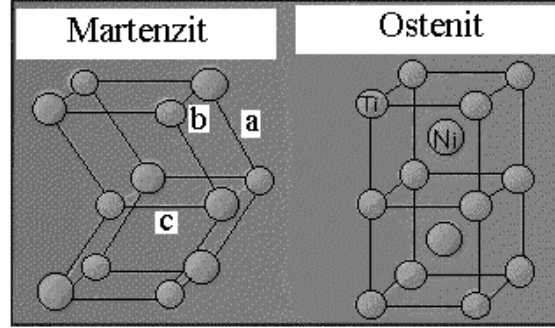
Şekil Hafızalı Alaşımların çoğu termoelastik martenzitik yapı sergileyen malzemelerdir. Martenzitik yapı Şekil Hafızalı Alaşım, dönüşüm sıcaklığının altında ikizlenme ve kayma mekanizmaları ile deforme edilebilir. Ana faza dönüşüm için ısıtma uygulandığı zaman ikizlenmiş olan yapı eski haline döner, dolayısıyla deformasyon yok edilebilmektedir.



Şekil 1.1. Yay uzunluğu – sıcaklık grafiği [7].

Şekil hafıza etkisini anlamak amacıyla bir Şekil Hafızalı Alaşımın kristal yapısını anlamak gerekir. Tüm Şekil Hafızalı Alaşımlar, Şekil 2’de görüldüğü gibi iki çok farklı

kristal yapı veya faza sahiptirler. Düşük sıcaklıklarda martenzit ve yüksek sıcaklıklarda ostenit olarak bilinen bu fazlar, Şekil hafızalı malzemeye uygulanan gerilmenin miktarı ve sıcaklığa bağlıdır.



Şekil 1.2. Martenzit-Östenit Faz molekül yapısı [7]

Bu alaşımların nasıl Şekil değiştirdiğini anlamak için öncelikle faz dönüşümlerine değinmek gerekir. Elektriksel geçişler, manyetik geçişler, süper iletkenlik-normal iletkenlik gibi iletkenlik geçişleri, östenit-martenzit geçişleri gibi yapısal geçişler, katı-sıvı ve sıvı-gaz geçişlerinin hepsi birer faz dönüşümüdür.

Yapısal faz dönüşümleri, yüksek sıcaklık fazında belirli bir kristal yapıda bulunan malzemenin sıcaklık, basınç veya bunların farklı kombinasyonlarının etkisi ile daha düşük enerjili düşük sıcaklık fazındaki farklı bir kristal yapıya dönüşmesidir. Bu yapısal dönüşümler; difüzyonlu ve difüzyonsuz faz dönüşümleri olarak ikiye ayrılır. Her hangi bir metal ya da alaşım atomları fiziksel bir etki ile sistem içinde geliş güzel yer değiştiriyorsa bu dönüşümlere 'difüzyonlu yapısal faz dönüşümleri' denir. Eğer metal veya alaşım sisteminde atomların komşulukları değişmeden sadece kristal yapı değişimi söz konusuysa bu tür dönüşümlere 'difüzyonsuz yapısal faz dönüşümleri' denir.

Bir sistem kararlı olmadığı zaman kararlı duruma yönelmeye başlar. Sistemin kararlılığını termodinamik davranışlar belirler. Sabit sıcaklık ve basınçta kapalı bir sistem Gibbs Serbest Enerjisini en alt seviyede tutarak faz ve faz karışımında kararlı bir durumda olur. Sistemin kararlılığını büyük ölçüde sıcaklık, basınç ve kompozisyona ek olarak boşluk, arayer, dislokasyon ve arafaz yüzeyleri gibi kristal kusurları etkiler.

Alman metalurjist Adolf Martens'in ismi ile anılan martenzitik dönüşümler difüzyonsuz dönüşümlerdir. Martenzitik dönüşüm genel olarak; homojen bir kafes deformasyonu ile meydana gelerek yeni bir kristal yapıya izin veren düzenli bir katı-katı faz

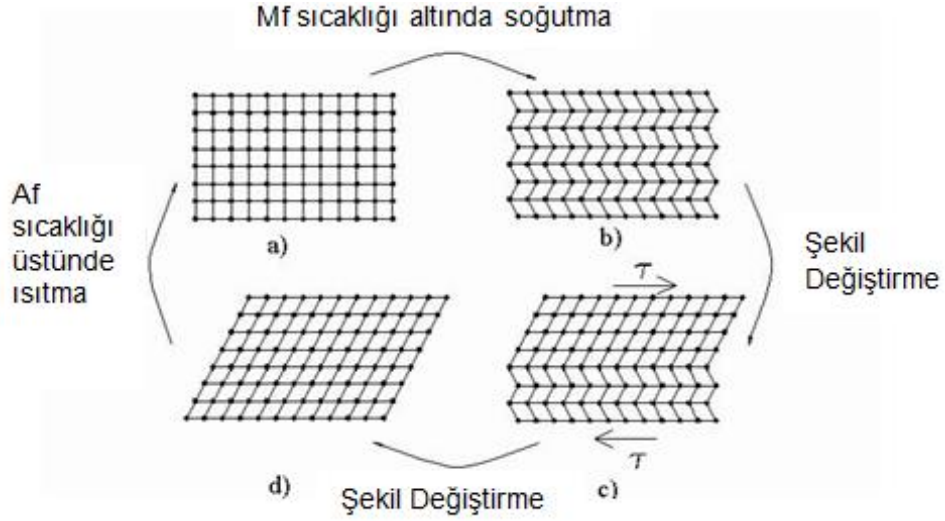
dönüşümüdür. Burada uzun mesafeli atomik yayılım söz konusu değildir, kayma benzeri atomik bir yer değiştirme söz konusudur. Atomların yer değiştirme miktarı çok küçük olmasına rağmen hacimsel olarak toplu hareket etmelerinden dolayı makroskobik bir Şekil değişimi meydana gelmektedir. Bu dönüşümler ana faz olarak adlandırılan ‘yüksek sıcaklık fazı östenit faz’ ve ürün faz olarak adlandırılan ‘düşük sıcaklık martenzitik faz olmak üzere iki faza sahiptirler. Bu fazların Ms ve Mf olarak adlandırılan martenzit başlama ve bitiş sıcaklıkları ile As ve Af olarak adlandırılan östenit başlama ve bitiş sıcaklıkları vardır. Bu dönüşümlerde, östenit faz olarak bilinen ana fazın dönüşüm öncesi kristal yapının dışarıdan sıcaklık, zor veya her ikisinin beraber uygulanmasıyla martenzit faza dönüşmesidir. Şekilde Hs ile gösterilen faz dönüşümlerinde ısıtma ve soğutma hallerinde dönüşüm sıcaklıkları arasındaki farktır ve histeresiz olarak adlandırılır. Bu farkın küçük olması dönüşüm için gerekli enerjinin az ve dönüşüm yüzdesinin de büyük olduğunu gösterir.

Martenzitik dönüşümler termoelastik ve termoelastik olmayan dönüşümler olarak ikiye ayrılır. Termoelastik martenzitik dönüşüm, habit düzlemin (östenit ve martenzit fazları arasında bir düzlemi olarak adlandırılan bir invariyant düzlemi) hareketiyle, aynı kimyasal bileşim ve ana fazdaki atomik düzeni koruyarak atomların küçük uyumlu hareketiyle ilerler ve kristal yapıdaki değişime ilave olarak habit düzleminde bir kesme deformasyonuna sebep olur. Termoelastik martenzitik dönüşümde plastik deformasyon ikiz oluşumu mekanizması ile meydana gelirken, Şekil bellek etkisi göstermeyen alaşımlarda kayma mekanizması ile meydana gelir [8].

Süperelastiklik ise, Af sıcaklığı üzerinde meydana gelen bir suni elastiklik ve yük altında gerilmeden kaynaklanan bir martenzitik dönüşüm ve sonradan yüksüz durumda (yük kaldırıldığında) tersine bir dönüşümü içerir [9].

1.3. Şekil Hafıza Etkisi Nedir?

Ana fazda belirli bir şekle sahip malzemenin martenzitik dönüşüm sıcaklığına kadar soğutulup, dış bir etki ile şeklinin değiştirilmesinden sonra malzemenin sıcaklığının ana faz sıcaklığına çıkarılmasıyla ilk şeklini, almasına Şekil hatırlama olayı denir.

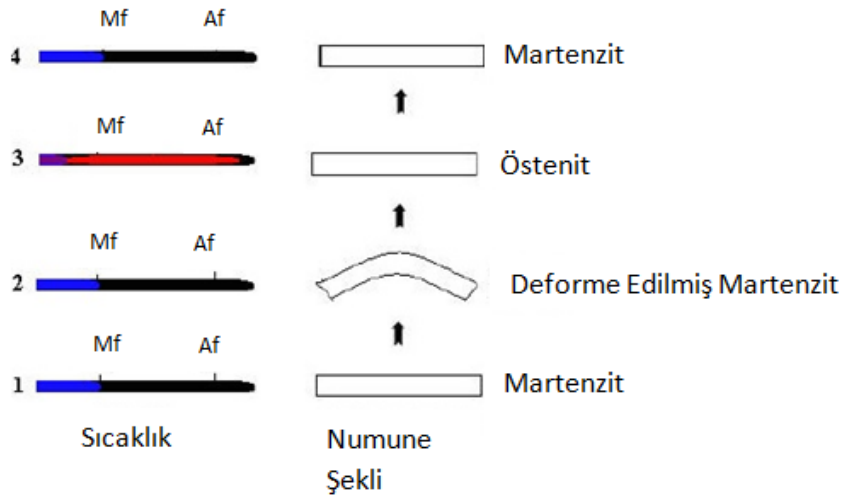


a) Östenit Faz b) Martenzit Faza Dönüşüm c) Şekil Değişimi d) Östenit Faza Dönüşüm

Şekil 1.3. Hafıza özelliği mekanizması

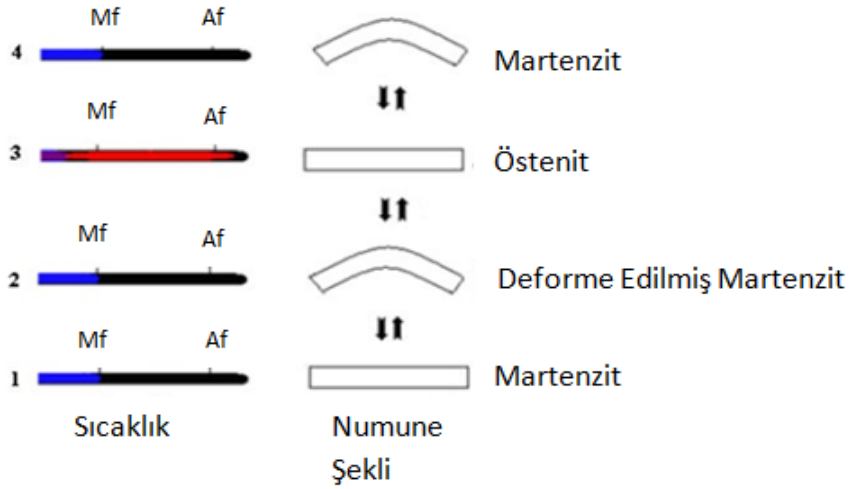
Şekil 1.3 a'da östenit fazdaki alaşım soğutulduğunda, dış şekli değişmeden iç yapısı martenzite (Şekil 1.3 b) dönüşür. Bu sıcaklıkta malzemeye kalıcı şekil değişimi verilir (Şekil 1.3 c). Malzeme ısıtıldığında östenit faza dönüşmektedir. (Şekil 1.3 d).

Martenzit fazda malzeme M_f sıcaklığının altında deforme edilip tekrar ısıtıldığında A_f sıcaklığına eriştiğinde orijinal şeklini almasına tek yönlü şekil bellek etkisi denir.



Şekil 1.4. Tek yönlü şekil hatırlama olayının şematik gösterimi

Mf sıcaklığının altında tamamen martenzit fazdaki bir malzemeye dışarıdan uygulanan zor ile istenilen şekil verilir. Uygulanan zorun kaldırılmasına rağmen malzeme deforme edilmiş şeklini korur. Deforme olmuş malzemenin sıcaklığı Af' nin üzerine çıkarıldığında plastik deformasyon ortadan kalkar ve malzeme deformasyon öncesi şekline ulaşır. Malzemenin sıcaklığı tekrar Mf sıcaklığına düşürülürse daha önceki deforme edilmiş şeklini alır. Bu olaya çift yönlü Şekil hatırlama olayı denir. Bu olayda hem ana fazın şekli hem de martenzitik fazın şekli dışarıdan bir etkiye ihtiyaç duymadan sadece sıcaklık etkisiyle kontrol edilir. [8]



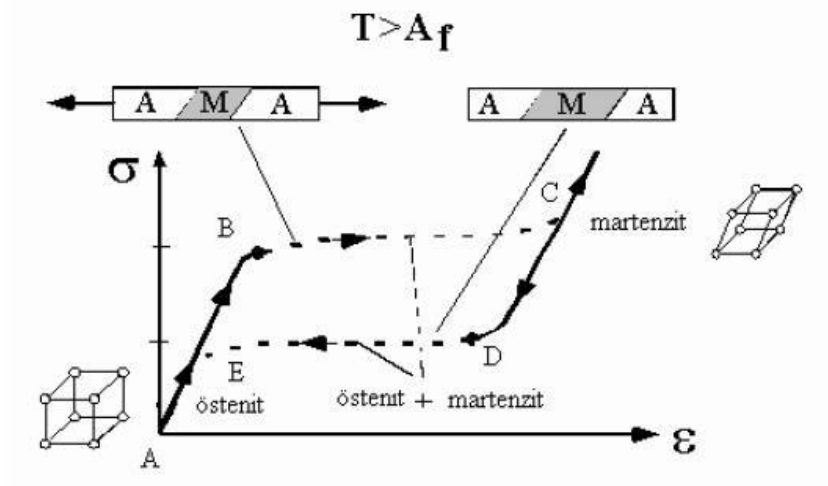
Şekil 1.5. Çift yönlü şekil hatırlama olayının şematik gösterimi

İki yönlü şekil bellek özelliğinin kazandırılması genel olarak iki yolla yapılabilir. Bunları şu şekilde özetleyebiliriz;

Numuneler Mf sıcaklığı aşağısında soğutulur ve istenen şekilde bükülür. Sonra Af üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılır ve östenit şeklini alması için serbest bırakılır. Bu işlem 20-30 defa tekrarlanır. Böylece numune eğitilmiş olur. Bundan sonra numune Mf sıcaklığı altına soğutmayla programlanmış şeklini alır ve Af sıcaklığı üzerine ısıtmayla bir diğer şeklini alır.

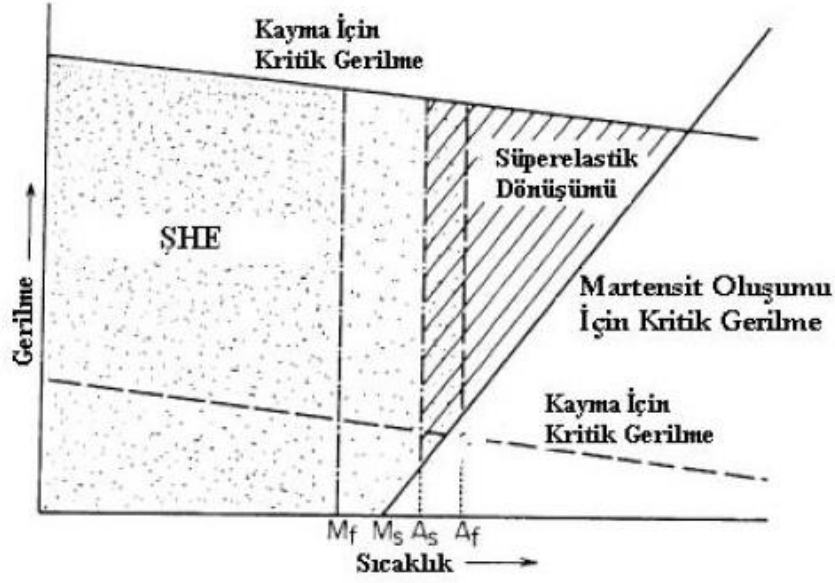
Numuneler gerilim-etkili martenzitin tercihli varyantlarını üretmek için tam Mf sıcaklığı üzerinde deforme edilir. Sonra Af sıcaklığı üzerinde ısıtmayla numune orijinal şeklini alır. Bu işlem 20-30 defa tekrarlanır. Malzeme böylelikle hem yüksek sıcaklık hem de düşük sıcaklık fazındaki şeklini öğrenmiş olur.

Östenit bitiş sıcaklığının A_f üzerinde malzemeye bir yük uygulandığında, uygulanan bu gerilim elastik deformasyon enerjisini düşürür ve martenzitik dönüşüm meydana gelir. Uygulanan martenzitik fazı tarafından absorbe edilir, yük kaldırıldığında sıcaklık hala A_f 'nin üzerinde olduğundan sıcaklıkta bir değişme olmaksızın malzeme orijinal şekline geri döner.



Şekil 1.6. Şekil bellekli alaşımlarda süperelastik özellik [3]

Bu olayı daha iyi anlayabilmek için Şekil.6' daki diyagramdan faydalanabiliriz. Alaşıma A_f sıcaklığı üzerinde sabit bir T sıcaklığında belirli bir gerilme uygulandığında Şekil 1.6' da gerilme-birim Şekil değiştirme diyagramında görüldüğü gibi bir eğri elde edilir. Şekil 1.6' da ki A-B arasındaki bölge elastik deformasyona aittir. B noktasından itibaren ilk martenzit plakalar oluşmaya başlar. B-C arasında alaşımda martenzite dönüşmüş oran artarak devam eder. C noktasına varıldığında martenzitik dönüşüm tamamlanmıştır. Bu noktadan itibaren gerilme artırıldığında düşük oranda bir elastik deformasyondan sonra, martenzit plastik akma noktasına ulaşır ve numune kopma gerçekleşinceye kadar plastik deformasyona uğrar. Alaşım C noktası üzerinde plastik deformasyona uğramadan gerilme bırakılırsa şekil değişimi geri dönüşümlü olarak telafi edilir. C-D arasındaki bölgede elastik geri dönüşüm gerçekleşir. D-E arasında ise martenzitik yapı oranı giderek azalarak ana faz oluşumu başlar. E-A arasında ana faza ait elastik geri dönüşümün olmasıyla toplam şekil değişimi giderilmiş olur.



Şekil 1.7. Şekil hatırlatma etkisi ve süperelastiklik etkisinin meydana geldiği gerilme ve sıcaklık alanları [3]

Bir numunede hem süperelastiklik hem de ŞHE sıcaklığa bağlı olarak oluşabilir. Bu durum Şekil 1.7’de gösterildiği gibi açıklanabilir. Şekilde, X-eksenine yaklaşık paralel olarak çizilen çizgiler kayma için gerekli olabilecek olası kritik gerilmeleri temsil etmektedir. Eğer kritik gerilme alt kesikli çizgideki gibi çok düşük olursa süperelastiklik tamamlanamaz. Çünkü kayma, zor-etkili dönüşüm için gerekli olan kritik gerilmenin aşağısında gerçekleşir. Şekil 1.7’ de belirtildiği gibi Af sıcaklığı ve kayma için kritik gerilmenin üzerinde bir zor uygulanırsa, zor-etkili dönüşüm oluşur. Buna rağmen oluşan martenzit, Af sıcaklığı üzerinde zor kaldırıldığı zaman tamamen kararsız olacağından ters dönüşüm gerçekleşir. Böylece ters dönüşüm kristalografik olarak tersinir olduğu sürece süper elastiklik elde edilir. Benzer olarak As sıcaklığı altında deforme edilen martenzit kararlıdır ve yük kaldırıldıktan sonrada martenzit deforme edildiği gibi kalır. Deformasyon, sadece ters bir dönüşümle giderilebilir. As ve Af arasındaki sıcaklıkta martenzit kısmen kararlıdır. Bu bölgede hem süperelastiklik hem de Şekil hafıza etkisi bir arada var olur.

Kalite Fonksiyon Yayılımı tarafından müşteri ihtiyaçları, ürün özellikleri ve çalışma performansları “House of Quality” kalite evi ile düzenlenmektedir. Böylece kalite evleri ürün geliştirirken göz önünde bulundurulması gereken etmenleri tek çatı altında sunmaktadır.

Şekil 1.8’ de SMA ile tasarlanmış aktüatörler için kalite evi gösterilmiştir.

Sol kolonda müşterinin yeni bir üründen olan beklentileri listelenmiştir. Sağ iki kolonda pnömatrik ve elektromekanik aktüatörlerin müşteri yeterlilikleri verilmiştir. “-” ürünün yetersiz olduğunu, “~” ürünün yeterli olduğunu ve “+” ürünün tatmin edici olduğunu gösterir. [10]

	SMA Teknolojisi Kullanımı	Çalışma Gerilimi	Kalkış Süresi	Çıkış Kuvveti (Dış Strok)	Çıkış Kuvveti (İç Strok)	Strok	Yorulma Zamanı	Çalışma Sıcaklığı/Aralığı	Üretim Maliyeti	Ölçü (ØxL)	Toplam Ağırlık	Gürültü Seviyesi	Pnömatik Eyleyici	Elektromekanik Eyleyici
SMA Teknolojisi Kullanımı	●												-	-
Düşük Enerji Tüketimi		●											~	~
Hız			●										+	~
Güvenirlilik				●	●	●	○						~	~
Süreklilik							●	●					~	+
Ucuzluk									●				~	~
Hafiflik										○	●		~	-
Sessiz Çalışma												●	~	-
Ünite	Bin	V	s	N	N	mm	Cyc	°C	£	mm	g	dB		
Hedef Değerler	Yes	=12	≤0.5	≥5	≥5	≥10	≥2x106	-40/+100	≤5	70x200	≤300	≤55		

Şekil 1.8. SMA ile tasarlanmış aktüatörler için kalite evi

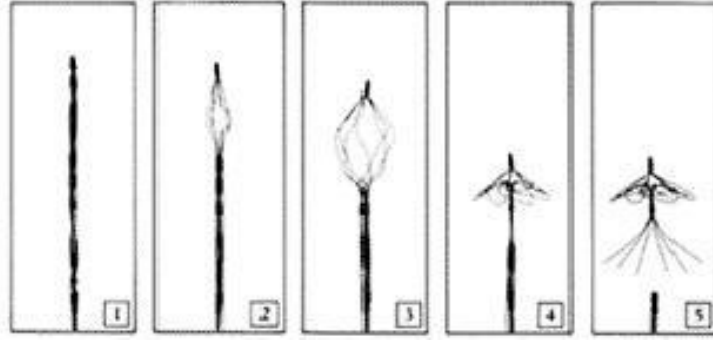
Şekil Hafızalı Alaşım lar, başta sağlık, otomotiv, savunma sanayi olmak üzere, pek çok alana ait uygulamalarda kullanılmaktadır [11].

1.3.1. Medikal uygulamalar

1970’lerin başında NiTiNol malzeme ile ortodontik tellerde başlayan medikal uygulamalar bugün gastroenteroloji, radyoloji ve kardivasküler cerrahi uygulamalarında

kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek elastikiyete sahip olması dolayısıyla birçok uygulamayı domine eder.

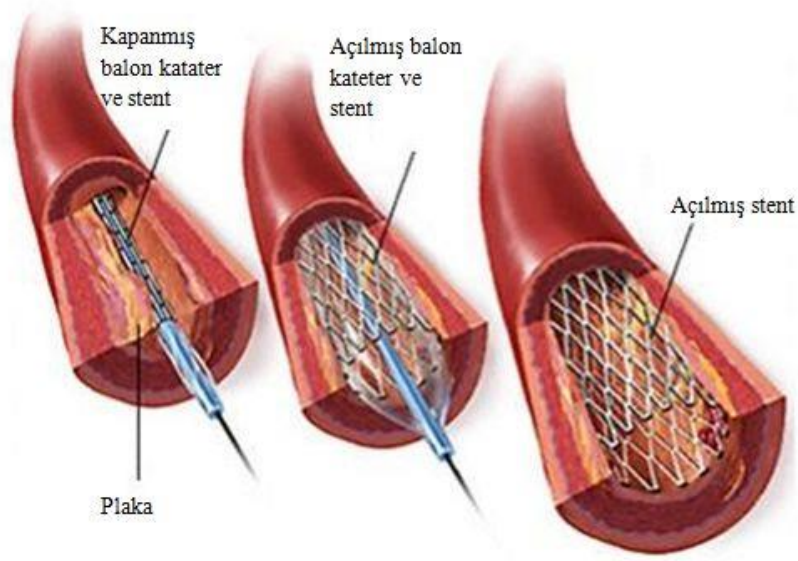
İlk vasküler NiTi aracı olan Simon NiTiNol filtre pulmoner emboli tedavisinde kullanıldı. Şekil 1.9'da Simon NiTiNol Filtre görülmektedir. Bu filtre anjiyografik görüntüleme yardımıyla kasıktan bir kateter kullanılarak inferior vena cava denilen artere yerleştirilir.



Şekil 1.9. Simon NiTiNol filtre

Şekil 1.9' da vücuda yerleştirilmiş Simon NiTiNol Filtre (SNF) anteriposterior x-ray filminde görülmektedir. Vena cava'ya erişen ve vücut ısısına erişen SNF ilk şekli olan kompleks yapıya dönüşerek bulunduğu bölge kalıcı olarak kilitlebilir ve alt bacaklardan ve pelvis bölgesinden gelen trombolileri tutarak bir süzgeç vazifesi görür [12].

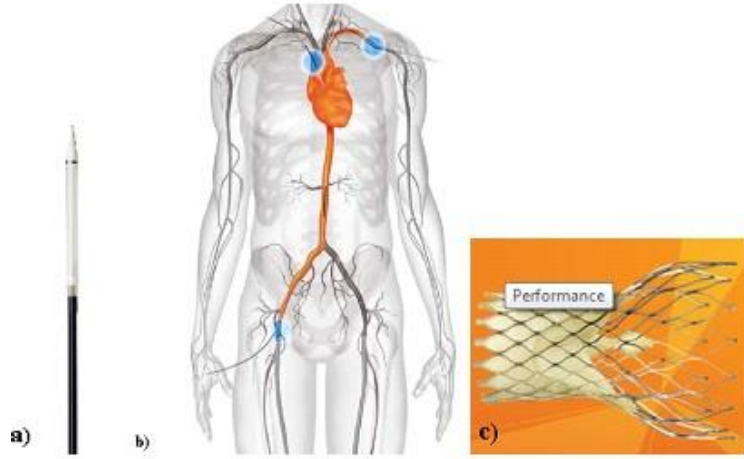
Diğer bir başarılı NiTiNol uygulaması abdominal aort anevrizmalarının (AAA) tedavilerinde kullanılan stent naklidir.



Şekil 1.10. NiTiNol stent uygulaması [13]

Şekil 1.10’ da gösterildiği gibi NiTi alaşımı ile üretilen stent, damar tıkanıklıklarında kullanılmaktadır. Şekil 1.10’ da balon kateter yardımıyla plaklar tarafından daraltılmış artere yerleştirilmiş NiTi stenti görülmektedir. NiTi alaşımlı telden yapılmış stent damar içine yerleştirilmeden önce düz bir tel haline getirilir. Yerleştirme esnasında martenzitik formda olan bu malzeme vücut vücut ısı ile harekete geçerek östenit formdaki şeklini almak üzere damarın tıkanan yerinde orijinal şeklini alır ve damardaki tıkanıklığın açılmasını sağlar [14].

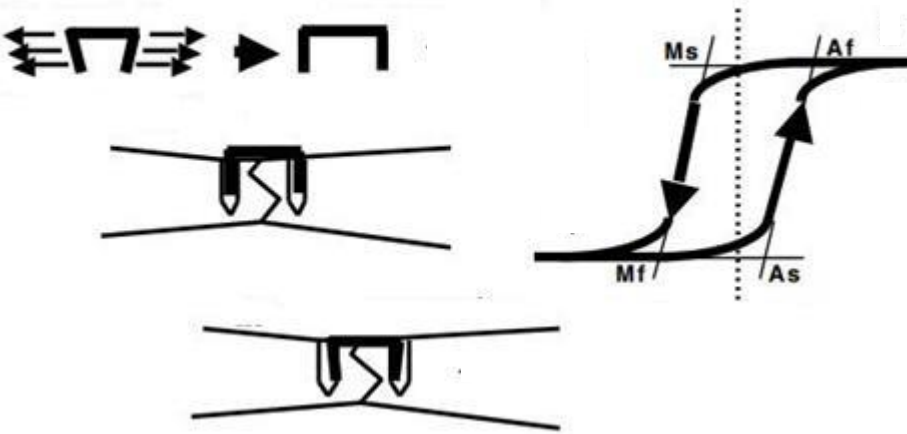
NiTiNol başka bir uygulaması da stenotik ve regürjitan kardiyak valflerdir. Bu valfler mitral, pulmoner, and aortik kapak hastalıklarını tedavi etmekte kullanılır. Şekil 1.11 c’de görüldüğü gibi tam orta bölgeye bovine perikardium bir protez yerleştirilmiştir. Bu valf’de diğerlerinde olduğu gibi ilk şekli martenzitik sıcaklıkta ince bir tüp gibidir ve Şekil 1.11 a’da görülen bir kateter yardımıyla kardiyak bölgeye Şekil 1.11b ‘de mavi ile gösterilen bölgelerden girilerek yerleştirilir. Östenit sıcaklığına ulaşan valf Şekil 1.11c’deki gibi açılır ve ortasındaki protez pompalanan kan akımını regüle eder.



a) Kateter, b) Uygulama Noktaları, c) NiTi Kardiyak Valf

Şekil 1.11. Kardiyak valf

NiTi alaşımlarının bir diğer uygulaması da ortopedik uygulamalardır. Ortopedik uygulamalarda en çok öne çıkan uygulamalar plakalar ve zımbalardır. Açık kırıkları bir araya getirmek amacıyla uygulanır. Şekil 1.12 'de kemiği bir arada tutmak için kullanılan zımbanın şematik gösterimi verilmiştir [13].



Şekil 1.12. NiTi zımba ile yapılan uygulamada zımbanın şekil değişimi [17].

- 1) Zımba ısı işleme tabii tutulur. (Östenik şekil)
- 2) Zımba soğutulur ve gerilir.

3) Zimba kemiğe uygulanır.

4) Zimba östenit fazdaki şeklini alır ve o şekilde kalır.

Ortopedik uygulamalarda en ilginç uygulamalardan bir tanesi de konjenital kolumna vertabralis ve tibia-fibula gibi uzun kemik bozukluklarının NiTi çubuklarla düzeltilmesidir. Bununla ilgili bir uygulama Şekil 1.13’de görülmektedir. Şekil 1.13a’da uygulanan NiTi çubuk düz olan ilk şeklini almak için uzun kemiği 1.13c’de gösterilen şekline zorlar [17].



Şekil 1.13. NiTi çubuk uygulaması



Şekil 1.14. NiTi çubukların vertebral uygulaması

Şekil 1.14’te uzun kemiklere uygulanan yöntemin benzer bir şeklinin kolumna vertabralise uygulaması görülmektedir. Vertebral skolyoz sabitlenen NiTi çubuklar vasıtasıyla anatomik şekline geri döndürülmeye çalışılmaktadır.

Sonuç olarak, NiTiNol alaşımlar diğer malzemelerde bulunmayan özelliklerini bünyelerinde toplarlar ve özellikler bu aletleri medikal uygulamalarda özel kılar. Bu özellikleri,

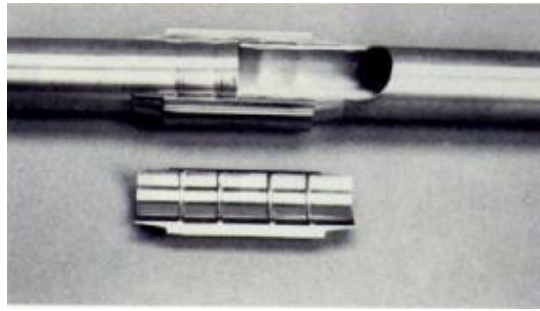
- Şekil bellek kazanımı (termalvemekanik)

- Aşırı elastikiyet
- Düşük deformasyon kuvveti/gerilimi
- Geniş gerilim aralığı boyunca sabit kuvvet
- Yüksek dayanım
- İyi süneklik
- Korozyon dayanımı
- Biyouyumluluk
- Yeterli radyo opasite
- Mükemmel MRI görüntüsü imkânı gibi sıralayabiliriz.

1.3.2. Endüstriyel uygulamalar

Endüstride NiTi alaşımları geniş bir kullanım alanı bulurlar ve bu uygulamalar medikal uygulamalarda olduğu gibi süperelastite ve kalıcı şekil değiştirme özelliklerinden faydalanılır.

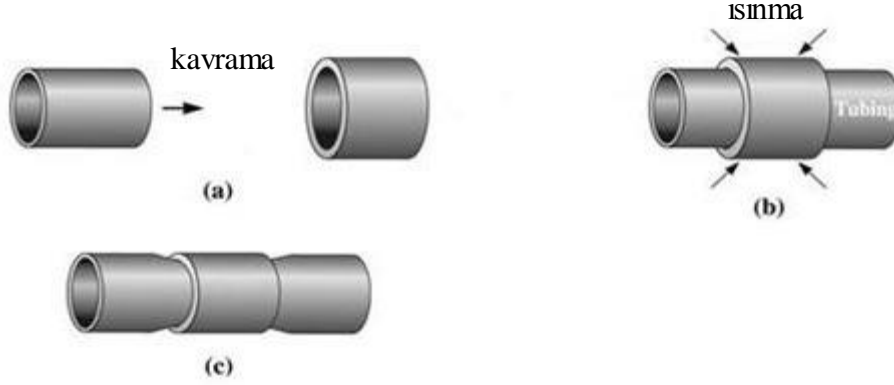
Süperelastik uygulamaların dışında zorlamalı diye adlandırabileceğimiz uygulamalar vardır. Bunlardan en klasığı kaynak yapılmasının zor ya da riskli olduğu bölgelerde uygulanan bağlantı elemanlarıdır. Şekil 1.15'te Cryofit hidrolik sıvı bağlantı görülmektedir.



Şekil 1.15. Cryofit hidrolik sıvı bağlantı elemanı

Bağlantı elemanı olarak kullanılan bilezik, bağlantı yapılacak tüplerin çapından biraz daha küçük olacak şekilde imal edilir. Sıvı nitrojen içerisinde martenzit fazda bunların çapı büyütülür, buradan çıkartılıp hidrolik boru üzerine takıldığında ortam sıcaklığına ulaşmasıyla birlikte bilezik östenit sıcaklıkta sahip olacağı çapa küçülerek hidrolik boru

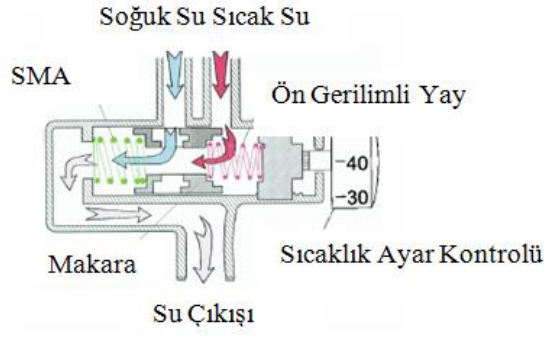
üzerine sıkı bir şekilde oturur. Bağlama bileziği, sıvı nitrojen içerisindeki çok düşük sıcaklığa artık normal koşullarda ulaşamayacağından, her zaman boru üzerinde sıkı bir şekilde takılı olarak kalacaktır.



Şekil 1.16. NiTiNol bağlantı elemanı

NiTi alaşımların yay olarak kullanıldığı endüstriyel uygulamalardan biri de Şekil 1.17’de görülen çıkış sıcaklığı ayarlanabilir akışkan sıvı valfidir. Yangın durumunda yanıcı ve zehirli gazların çıkışını kapatacak şekilde tasarlanmış CuZnAl malzeme kullanılarak tasarlanmış ve imal edilmiş yangın güvenlik valfi görülmektedir [9].

Sistemin çalışma prensibi içerisinde bulunan yayların soğuk ve sıcak su girişlerini kayan bir parça vasıtasıyla açıp kapatarak istenilen sıcaklıkta sıvı çıkışını sağlamaktır. Sistemdeki suyun sıcaklığı arttığında Şekil bellekli yay termoelastik faz dönüşümü ile ostenit sıcaklığına doğru çıkarken uzayarak kayan parçayı ileri doğru hareket ettirerek sıcak su girişini azaltmaktadır. Sistemdeki suyun sıcaklığı düştüğünde ise biraz önceki durumun tam tersi olarak Şekil bellekli yay kısalarak diğer yayın baskısıyla kayan parça soğuk su girişini azaltmaktadır. Sonuçta uygun yay oranları seçilerek istenilen sıcaklıkta sıvı çıkışı sağlanabilmektedir. Alaşımın duyarlı olması istenilen sıcaklık ise manuel ayarlanır.



a) Karıştırma valfi iç yapısı

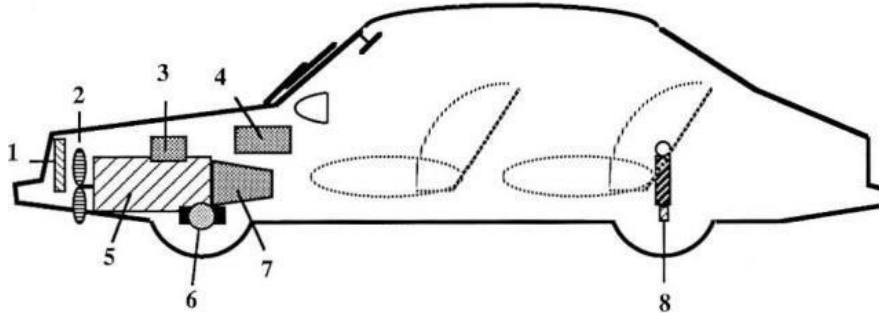


b) Karıştırma valfi dış görünüş

Şekil 1.17. Çıkış sıcaklığı ayarlanabilir akışkan sıvı valfi

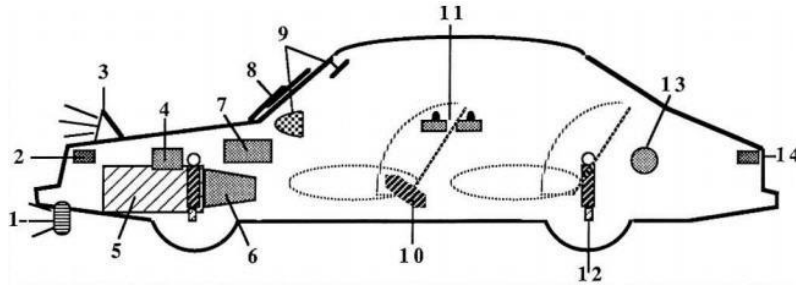
1.3.2.1. Şekil hafızalı eyleyiciler

Endüstriyel NiTi uygulamalarında kendine en çok uygulama alanı bulan yerlerden birisi de eyleyicilerdir. Tel, sıkıştırma yayı, gerilim yayı manivela gibi SMA eyleyiciler hem elektrik hem de termal tahrik sistemlerinde kullanılmaktadır. Uygulamaların en yoğunlaştığı alanlarda birisi de otomotiv sektörüdür. Şekil 1.18’de otomobillerde kullanılan termal eyleyicilere yer verilmiştir [21].



(1) Radyatör panjuru (2)Fan clutch (3) yakıt yönetimi (4) klima kontrol (5) motor kontrol (6) fren havalandırma (7) şanzıman kontrol/gürültü azaltma (8) süspansiyon ayarlama

Şekil 1.18. Otomobillerde kullanılan şekil bellekli eyleyicilerin potansiyel uygulamaları

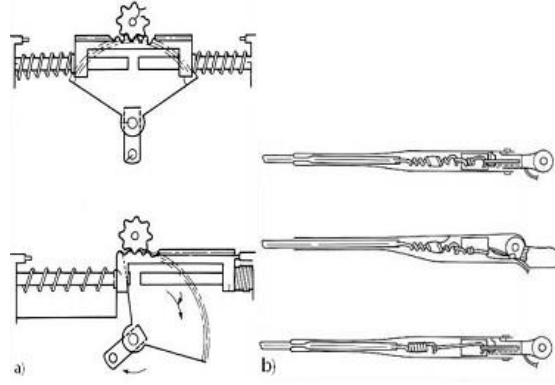


(1) Sis lambası koruyucusu, (2) motor kaput kilidi, (3) geri kapanabilir ön far, (4) yakıt yönetimi (5) motor kontrol, (6) şanzıman kontrol, (7) klima kontrol, (8) silecek basıncı kontrol,(9) geri görüş aynası ayarı, (10) emniyet kemeri ayarı, (11) merkezi kilit sistemi, (12) şok emici ayarı, (13) benzin deposu kilit, (14) bagaj kilit.

Şekil 1.19. Otomobillerde kullanılan elektrikli potansiyel şekil bellekli eyleyiciler

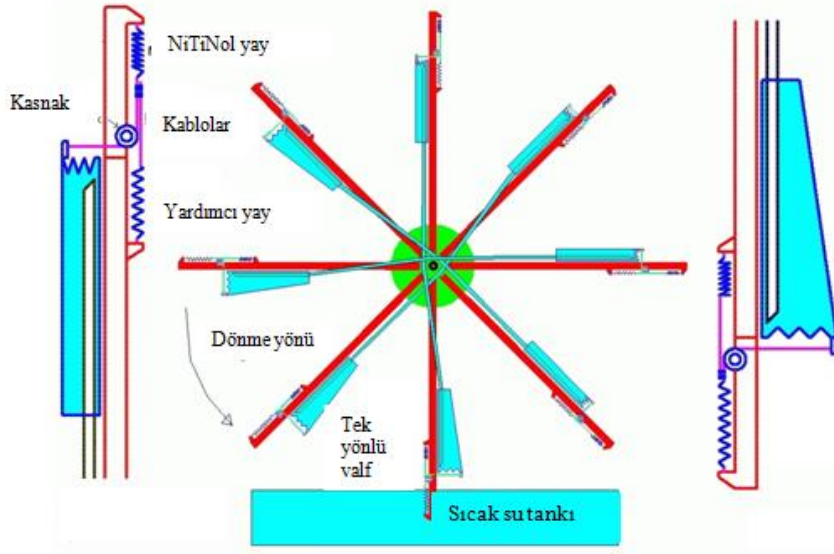
Şekil 1.19’da görüldüğü gibi elektrikli Şekil bellekli eyleyiciler de otomotiv sektöründe oldukça fazla kullanım alanı bulur [21].

Aşağıdaki Şekil 1.20’ de kapı kilitleme ve ön cam sileceklerinde Şekil bellekli yaylar kullanılan mekanizmalar görülmektedir [21].



Şekil 1.20. a) Kapı kilitleme mekanizması b) Ön cam silecek mekanizması

Şekil bellekli eyleyiciler çeşitli alanlarda geleneksel aletlere karşı önemli avantajlar sağlasa da otomotiv marketlerine çok yavaş girmektedir. Bunun temel sebebi olarak Şekil bellekli alaşımlara yetersiz mühendislik yaklaşımlarının olmasıdır. Bununla birlikte, daha iyi bir metalurjik anlayış ve bilimsel topluluklarda daha fazla tartışma bu tahrik elemanlarının otomotiv sektöründe popülerliklerinin artmasını sağlayacaktır.



Şekil 1.21. Isı motoru

Şekil 1.21'de görülen düzenek bir takım NiTiNol yay düzeneklerinden imal edilmiş bir ısı motorudur. Buna benzer patenti alınmış yüzlerce düzenek vardır. Prensip olarak sıcak suya dalan NiTiNol yayın östenit sıcaklığa ulaşip ilk şeklini almasıyla yapılan iş prensibine dayanmaktadır [22].

Şekil 1.22’ de görülen adaptif winglet Şekil hafızalı teller ile kontrol edilir ve gelen hava akışına en uygun Şekilde tutulur. Rijit wingletler uçakların performansını düzlemsel kanatlarla karşılaştırıldığında %5 ile 11 oranlarında artırır. Wingletin etkisi kanadın arkasında üretilen serbest girdapların akış alanına dağılımının bir avantajıdır. Bu girdaplar kalıntı dirençler oluşturur.



Şekil 1.22. Winglet

Adaptif wingletlerin kullanımıyla bu direnç otomatik olarak uçuş durumuna uygun olarak ayarlanabilecektir. Optimal Şekil geniş bir eyleyici gerginliği gereklidir. Minimum gerilme östenitik fazda, maksimum gerilme martenzitik fazda meydana gelir. Bu aralık içinde tüm deformasyonlar aktuatörlerin elektirik ısıtması ile ısıtılıp, kuşatılan hava ile soğutulmasıyla sağlanabilir. Hidrolik, pnömatik veya elektrik eyleyici sistemlerine kıyasla Şekil hafıza sistemleri küçük ağırlık, küçük alan gereksinimi, basit yapısı ve düşük fiyat ile sivrilir. [23]

Yine yukarıda bahsedilen wingletlerin mantığıyla çalışan bir akıllı kanat yapmak için bilim adamları çalışmaktadır. Deneysel olarak çalışılan model Şekil 1.23’te görülmektedir. [24]



Şekil 1.23. Akıllı kanat

Hubble uzay teleskopu uzaya eriştiğinde otomatik olarak güneş panellerinin serbest kalabilmesi için Şekil bellekli alaşımdan yapılmış kollara sahiptir. Fırlatılma esnasında nispeten düşük sıcaklıkta uzay mekiği içine paketlenmişti, onun için güneş panelleri içe doğru bükülmüştür ve paneller güvenli Şekilde katlı kalmıştır. Uzayda güneş işımları hızlıca mekiği ısıtınca, ısınan Şekil bellekli kollar kritik sıcaklığın üstüne ıktında (yaklaşık 115°C), otomatik olarak orijinal Şekline açılır. Şekil 1.24'te Hubble uzay teleskopu görülmektedir [25].



Şekil 1.24. Hubble uzay teleskopu (güneş panelleri açık ve kapalı iken)

Şekil hafızalı metallerin valf, aktuatör, mekanik kas vb. endüstriyel uygulamalarının yapılabilmesi ve yeni endüstriyel uygulamalarının araştırılabilmesi için mekanik davranışlarının çok iyi bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır [26]. Bu ihtiyaç sadece mekanik davranışlarla sınırlı olmayıp, mekanik davranışı kontrol eden kontrol seviye kartı ile davranışa neden olan güç seviyesi kontrolünün de belirlenmesi endüstriyel uygulamalar bakımında vazgeçilmez olarak nitelenmektedir.

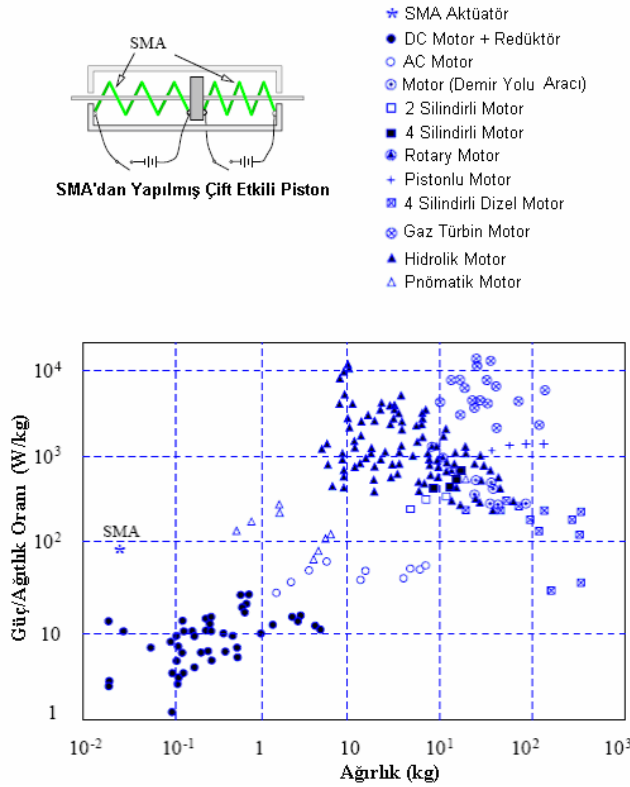
Eyleyiciler sistemler içerisinde en basit olarak eyleme geçirici olarak tanımlanırlar. Eyleyiciler aldıkları analog girişler ile aktif olabilmektedirler. Şekil Hafızalı Alaşımlar ile tasarlanan eyleyiciler ise ısı ile Şekil değiştirerek görevlerini yere getirirler yani aktif olurlar. Bu ısı direk ısı kaynağı ile ya da elektrikselsel olarak oluşabilir. Sistemler içerisinde kullanılan eyleyici tasarımları yapılırken önemli kıstaslar vardır. Bunlar sistem içerisinde kaplamış oldukları hacim ve sisteme oluşturdukları ek ağırlıktır. Bu durum daha çok uçak ve uzay araçlarında ortaya çıkmaktadır.

Şekil Hafızalı Alaşımlar, yapılmış eyleyicilerin sistem içerisindeki sessiz ve düzgün çalışmasının yanı sıra yüksek güç/ağırlık değerinin arzu edilen değerlerde olma özelliklerine sahiptir. Bu alaşımlar genellikle kullanımının kolay olmasının yanında sahip olduğu özellikleri ve kararlılıklarını korurlar [27].

Şekil Hafızalı Alaşımardan yapılmış eyleyicilerin, aynı işi yapan diğer eyleyicilere göre avantajları;

- Sistem içerisinde sessiz ve düzgün çalışması,
- Yüksek güç/ağırlık değerinin arzu edilen değerlerde olması,
- Kararlı çalışması,
- Düşük enerji ile tahrik edilebilmesi olarak sayılabilir.

Ersin Toptaş yapmış olduğu çalışmada 70 MPa değerinde maksimum gerilme sonucunda %1' lik maksimum deformasyon ile 100000+ çevrim sayısında çalışmanın sağladığı açıklamaktadır. Bu veriler Şekil Hafızalı Alaşımın kararlılığını göstermektedir.



Şekil 1.25. Çeşitli eyleyicilerin güç- ağırlık performansları [27]

Eyleyicilerin performanslarının sınıflandırılmasında güç ve ağırlık değerleri baz alınmaktadır. Eyleyici tasarımında amaç asgari ağırlıkta en fazla gücü sağlayan eyleyici elde etmektir. Bu kriterlere göre eyleyicilerin performansları Şekil 26'da verilmiş

grafikte gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde SMA' dan imal edilmiş eyleyicilerin Güç/Ağırlık performansının iyi olması ve ağırlığının düşük olması, ürünün endüstride çekiciliğini arttırmaktadır. Bu durum özellikle, uçak ve uzay sanayide yüksek önem teşkil etmektedir [28].

BÖLÜM 2 AKTÜATÖR DÜZENEĞİ TASARIMI

Şekil Hafızalı Alaşım ile üretilmiş endüstriyel ürünlerin ülkemiz sanayine kazandırılması için Şekil Hafızalı Alaşımdan oluşan yayların mekanik davranışları hakkında bilgi sahibi olabilmek adına mekaniksel bulgular elde edilecek iki adet doğrusal aktüatörden oluşan bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Bu deney düzeneğinin, SMA' dan oluşan yayların mekaniksel davranışlarının belirlenmesinde yol gösterici olması hedeflenmiştir.

Endüstride kısaca NiTiNol olarak isimlendirilen Titanyum ve Nikel esaslı malzeme karakteristiğinin doğru bir şekilde elde edilmesi, bu malzemelerin uygulama alanlarının belirlenmesi ve bu uygulama alanlarının analitik veya nümerik modelleme ile simülasyonlarının yapılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. İlave olarak tahmini çevrim sayısı ile müsaade edilen maksimum stres ve Şekil değiştirme arasındaki ilişkinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir.

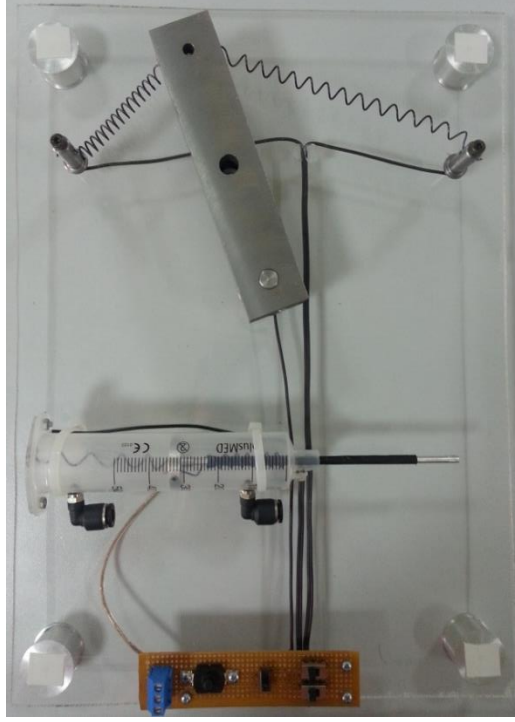
Şekil hafızalı metallerin, valf, aktüatör, mekanik kas vb. endüstriyel uygulamalarının yapılabilmesi ve yeni endüstriyel uygulamalarının araştırılabilmesi için mekanik davranışlarının çok iyi bilinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç sadece mekanik davranışlarla sınırlı olmayıp, mekanik davranışı kontrol eden kontrol seviye kartı ile davranışa neden olan güç seviyesi kontrolünün de belirlenmesi endüstriyel uygulamalar bakımından vazgeçilmez olarak nitelendirilmektedir.

Bu tez çalışmasında Şekil Hafızalı Alaşım ile aktüatör düzeneği tasarlanmıştır, geliştirilmiştir ve yaylar üzerindeki mekaniksel davranış verileri elde edilmiştir. Bu bölümde deney düzeneği bileşenleri ve çalışması hakkında bilgi verilerek yaylara ait mekanik hesaplamalar gösterilmiştir.

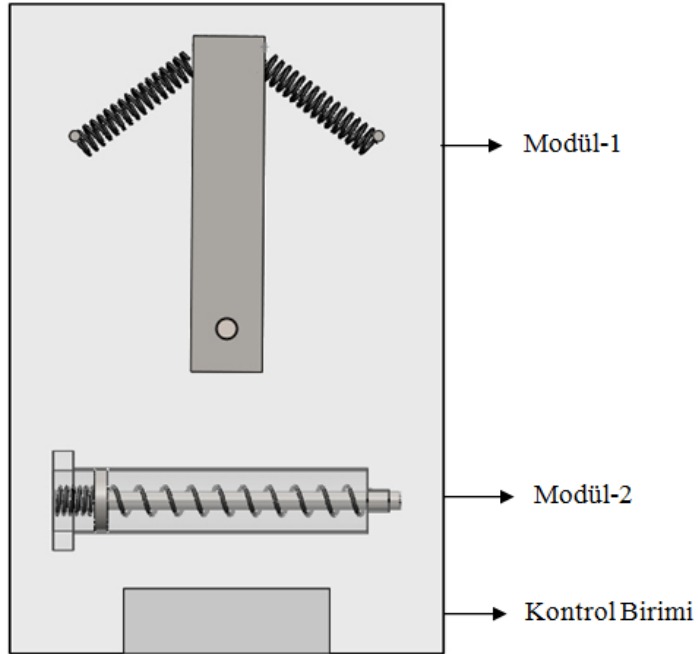
2.1. Deney Düzeneği

Deney düzeneğinde test edilecek olan Şekil Hafızalı Metal davranışları Modül-1 ve Modül-2 olarak isimlendirilmiş aktüatör yapısındaki düzenekler ile ölçülmektedir. Yaylar akım kullanılarak ısıtılmaktadır. Yayların deformasyonu için yüksek akım gerektiğinden SMA yayın temas ettiği bölgelerde yalıtkanlık sağlanmıştır.

Şekil 2.1’de Şekil Hafızalı Metallerin karakteristik yapılarının belirlenmesi için tasarlanan deney düzeneği görülmektedir.



a) Deney düzeneği fotoğraf gösterimi



b) Deney düzeneği şematik gösterimi

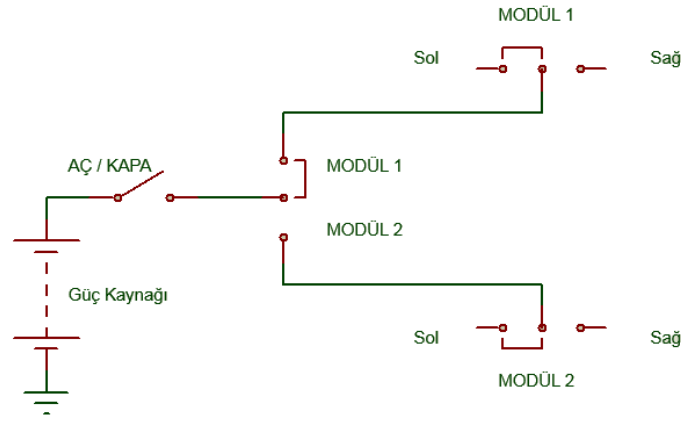
Şekil 2.1. Deney düzeneği

Düzenekte yer alan tüm bileşenler aşağıda sıralanmıştır,

- Modül-1
- Modül-2
- Kontrol Birimi

2.1.1. Kontrol ünitesi

Doğrusal aktüatör prensibine dayalı olarak çalışan deney düzeneğinin beslemesi ayarlanabilir 5A güç kaynağı ile sağlanmaktadır. Güç kaynağı maksimum 5,5A' lik akım vermektedir.

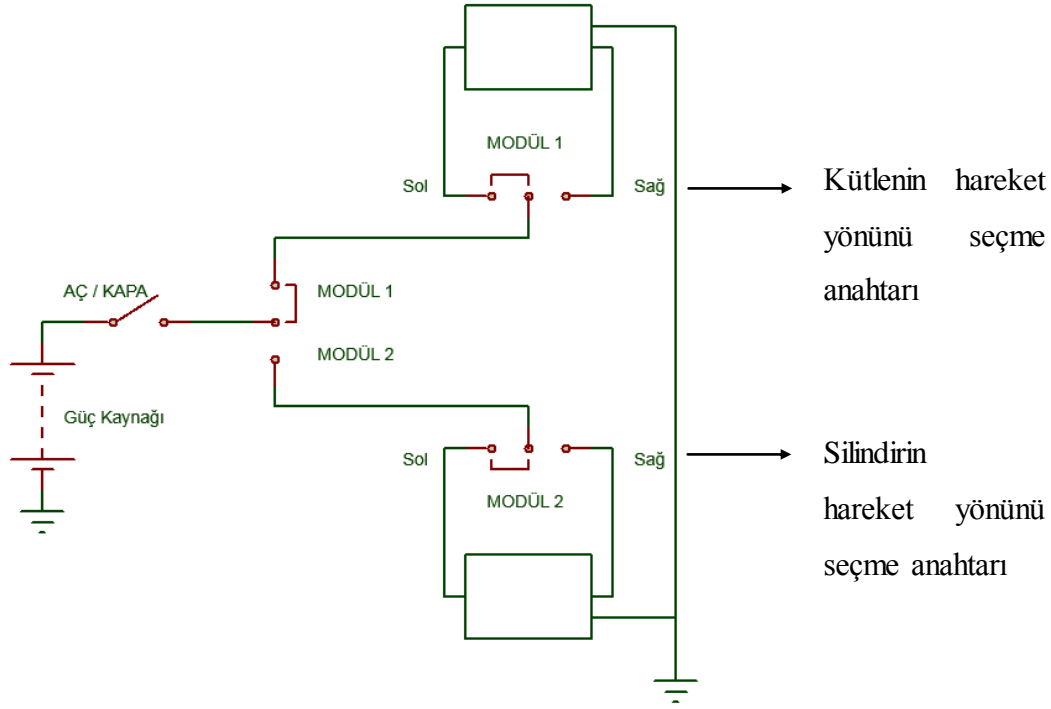


Şekil 2.2. Kontrol birimi bağlantı şeması

Deney düzeneği için tasarlanmış olan kontrol ünitesinin yapısı Şekil 2.4' te, kontrol ünitesi bağlantı şeması ise Şekil 2.5' te gösterilmiştir.

Kontrol ünitesi ile kullanılan anahtarlar yardımıyla akıma yol verilerek kullanılacak Modül'ün çalışması sağlanmaktadır. Aynı zamanda çalışılan modülün çalışma yönü de kullanılan anahtarlar ile seçilmektedir.

Kontrol devresi ünitesinde kullanılan kablolar yüksek akıma dayanıklı olacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 2.3. Kontrol birimi bağlantı şeması

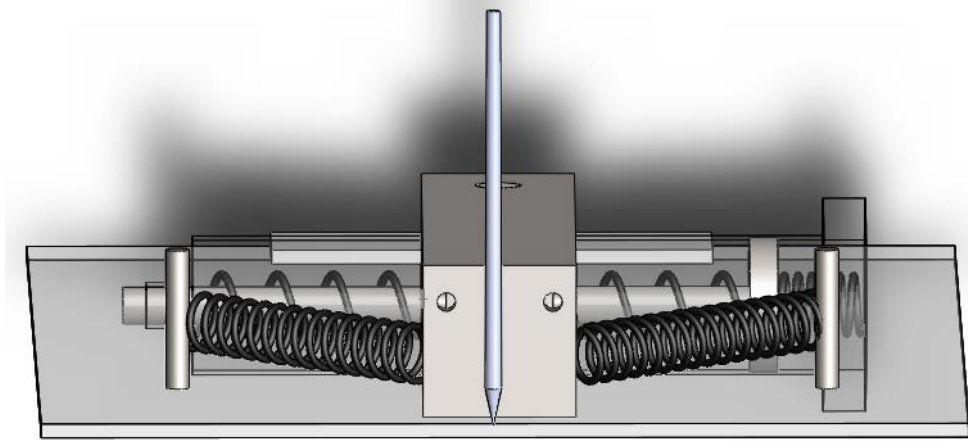
2.1.2. Modül-1

Modül-1 düzeneğinin amacı, 1,2 kg ağırlıklı cismin, sağ ve sol düzlemlerine monte edilmiş Şekil hafızalı yay vasıtasıyla yatay düzlemde parabolik hareketinin incelenmesidir.

Cismin hareket edebilmesi için, cismin sağ ve sol düzlemlerinde bulunan Şekil hafıza etkili yaylara sırası ile 2,5-5,5 A aralığında akım uygulanmaktadır.

2.1.2.1. Modül-1 tasarımı

Modül- 1, SMA yayın 1,2 kg ağırlığında hareketli cisim ile yatay ekseninde çalışabileceği Şekilde tasarlanmıştır. Bu mekanizmada aynı mekaniksel özelliklere sahip, sarım sayıları aynı iki SMA yay kullanılmıştır. Hareketli cisim, düzeneğin yan düzlemlerine göre tam ortaya konumlandırılmıştır. Şekil hafızalı yaylar, cismi konumlandırıldığı pozisyonda tutacak Şekilde deformasyona uğratarak gerdirilmiştir. Hareketli cismin önüne bir kalem eklenmiştir.



Şekil 2.4. Deneý düzeneđi Modül-1 ön görünüş

Modül-1 çalışması

Deneý düzeneği, tasarlanan kontrol paneli yardımıyla enerjilendirilir. Kontrol panelinden Modül-1 seçilerek aktif edilir. Üzerinde Modül-1 yazılı anahtar çalışması istenen konuma göre sağ ya da sol yönünde konumlandırılarak çalışma başlatılır.

Sistem sağ yönde çalıştırıldığında, sistemin sağ tarafına monte edilmiş yay, Şekil hafıza etkisi ile ilk konumuna dönecektir. Aynı durum cismin sol yönde çalışması içinde geçerlidir. Bu sefer sistem sol yönde çalıştırıldığında sistemin sol yönüne monte edilmiş yay, Şekil hafıza etkisi ile ilk konumuna dönecektir.

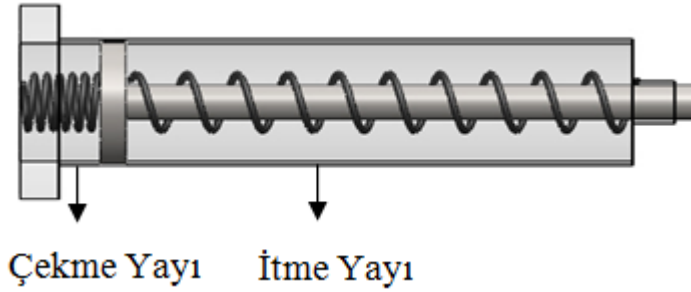
Uygulanan akım ile yayın gerçekleştirdiği parabolik hareketler milimetrik kağıda çizdirilerek ölçülmektedir. Yayın davranışının analizi için sistem 10 s, 15 s ve 20 s' lik zaman aralıklarında sırası ile 5,5 A sağ ve sol yönünde, 5 A sağ ve sol yönünde, 4,5 A sağ ve sol yönünde, 4A sağ ve sol yönünde, 3,5 A sağ ve sol yönünde, 3 A sağ ve sol yönünde, 2,5 A sağ ve sol yönünde akıma maruz bırakılır. Yayların aktif çalışma aralıklarının belirlenmesi için ise sistem yine 5,5 A sağ ve sol yönünde, 5 A sağ ve sol yönünde, 4,5 A sağ ve sol yönünde, 4 A sağ ve sol yönünde, 3,5 A sağ ve sol yönünde, 3 A sağ ve sol yönünde, 2,5 A sağ ve sol yönünde akıma maruz bırakılır. Her bir akımda sistemin hareket süresi ve hareket süresine bağlı olarak hareket miktarı belirlenir.

2.1.3. Modül-2

Modül-2 düzeneğinde Şekil hafızalı yay ile bir silindir mekanizması tasarlanmıştır. Silindir mekanizmasının amacı, aynı mekanik özelliklere sahip, farklı sayım sayılarındaki iki SMA yayın, 2,5 A – 5,5 A akımlık çalışma aralığındaki süredeplasman verileri sonucu elde edilen hız değerlerinin incelenmesidir.

2.1.3.1. Modül-2 tasarımı

Modül-2 silindir mekanizması pnömomatik silindirlere alternatif olacak Şekilde doğrusal aktüatör prensibine dayalı olarak tasarlanmıştır.

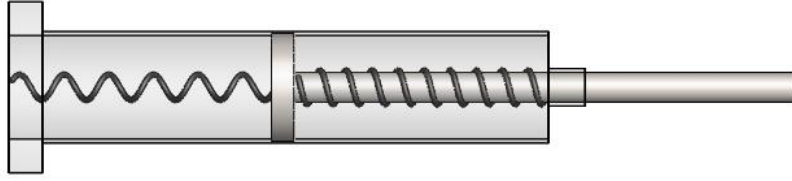


Şekil 2.5. Modül-2 silindir mekanizması şematik gösterim

Sistemde kullanılan SMA yaylar aynı özelliklere sahip farklı sarım sayısında Şekil hafızalı yaylardır. Sistemde bulunan yaylardan bir tanesi çekme diğeri ise itme işlemini yapmaktadır. Kullanılan silindir boyunun sabit olmasından dolayı yayların eşit sarımda seçilmesi pistonun hareketini sınırlayacaktır. Bu nedenle farklı sayım sayısındaki yaylar kullanılarak ölçüm mesafesi arttırılmış ve yayların maksimum düzeyde uzaması sağlanmıştır.

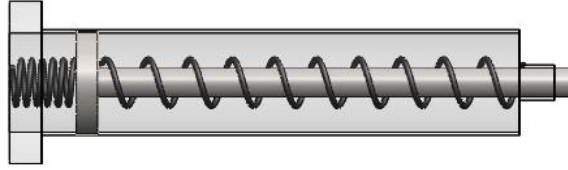
Modül-2 çalışması

Kontrol biriminde bulunan aç/kapa butonuna basarak düzeneğe akım uygulanır. Modül seçme anahtarının konumu Modül-2'yi gösterecek Şekilde değiştirilir. Pistonun ileri hareketi için hareket yönü seçme anahtarı “sağ” konuma getirilir ve piston ileri hareketine başlar.



Şekil 2.6. Modül-2 silindir ileri son konumu

Pistonun geri hareketi için ise hareket yönü seçme anahtarı “sol” konuma getirilir ve piston geri hareketine başlar.



Şekil 2.7. Modül-2 silindir geri konumunda

Yayın davranışının analizi için sistem, 5,5 A sağ ve yönünde, 5 A sağ ve sol yönünde, 4,5 A sağ ve sol yönünde, 4 A sağ ve sol yönünde, 3,5 A sağ ve sol yönünde, 3 A sağ ve sol yönünde, 2,5 A sağ ve sol yönünde akıma maruz bırakılır.

2.2. Mekanik Hesaplamalar

Şekil hafıza etkisi gösteren çok sayıda alaşım vardır ve bunlar arasında en çok ilgi gören ve ticari değere sahip olanlar, Ni-Ti alaşımları ve bakır esaslı alaşımlardır. Bunların yanı sıra demir esaslı alaşımlar da bulunmaktadır. Fakat güç/ağırlık performans oranları Ni-Ti alaşımlar ve bakır esaslı alaşımlar kadar yüksek olmadığından endüstrinin ilgisini yeteri kadar çekememiştir.

Tablo 2.1’ de Nikel-Titanyum (NiTi) ve Bakır (Cu) esaslı alaşımların karşılaştırması yapılmaktadır. Tabloda alaşımların, faz dönüşüm sıcaklık aralığı, histerisis, yorulma dayanımı, yorulma sınırında uygulanabilir gerilme, yorulma ömrü, yoğunluk, elektrik direnci ve korozyon direnci verileri irdelenmektedir.

Tablo 2.1’ de görüldüğü üzere; deformasyon özelliğinin diğerlerinden yüksek olmasıyla, bu çalışma için yapılacak tasarıma Ni-Ti alaşımı en uygundur. Bu alaşımın gözlemlenebilen özellikleri şöyledir;

Ni-Ti alaşımlarındaki Ni miktarı atomik olarak % 1 kadar değiştiğinde, dönüşüm sıcaklığı yaklaşık olarak 10 °C değişir.

NiTi alaşımlarında dönüşüm sıcaklığı oksijen, karbon ve azot gibi kirliliklere karşı çok hassastır. Bu nedenle yapı içerisindeki bu tür kirlilikler sınırlandırılmalıdır.

Tablo 2.1. NiTi ve bakır esaslı alaşımların karşılaştırılması

Özellik	NiTi	CuZnAl	CuAlNi
Dönüşüm Sıcaklık Aralığı (°C)	-50 +100°C	-200 +100 °C	-150 +200°C
Histerisis	30	15	20
Yorulma Dayanımı (N/mm ²)	800-1000	400-700	700-800
Yorulma Sınırlarında Uygulanabilir Gerilme (N/mm ²)	150	75	100
Yorulma Ömrü	>100 000	10 000	5000
Yoğunluk (g.cm ³)	6,45	7,9	7,15
Elektrik Direnci (μ.Ω.cm)	80-100	7-12	10-14
Korozyon Direnci	Çok yüksek	Düşük	Yüksek

Tablo 2.2' de NiTiNi_{0.1}, kobalt, nikel, titanyum ve 304 çelik malzemeye ait termofiziksel özellikler verilmiştir. Tablo incelenerek nikel titanyum esaslı alaşımın diğer malzemelere göre karşılaştırılması yapıldığında ısı iletkenliğinin ve elektrik direncinin çok düşük olduğu görülür.

Tablo 2.2. NiTiNol alaşımı ve bazı malzemelerin termofiziksel zellikleri [24]

Malzeme	Isıl Genleşme Katsayısı 10-6/°C	zgl Isı Kapasitesi J/kg.K	Isı İletkenliği W/m.K	Elektrik Direnci Ω.m
Kobalt	13.1(RT-200 °C)	414(RT-100 °C)	69(RT-100 °C)	6,2x10-8
Nikel	13.9(RT-200 °C)	440(RT-100 °C)	92(RT-100 °C)	8,0x10-8
Titanyum	9.5(RT-300 °C)	519(RT-100 °C)	22(RT-200 °C)	4,2x10-7
304 elik	17(RT-300 °C)	500(0-100 °C)	15.1(RT-100 °C)	7,2x10-7
NiTiNol	11.2(RT-200 °C)	453-504(RT-300 °C)	8.9-13.7(50-300 °C)	1,0x10-6 (50-300 °C)

şekil hafızalı metaller ile aktüatör tasarımı için temel iki veri gerekmektedir. Bunlardan biri tel çapı (d), diğeri ise tel uzunluğudur (l). Tel apı, elde edilecek maksimum yük kazancında, tel uzunluğu ise deformasyon meydana geldiğinde oluşacak maksimum uzama miktarında belirleyicidir.

SMA' lar ile üretilmiş yayların kullanıldığı aktüatörlerde, aktüatör tasarımında tel çapı (d), yay apı (D), aktif sarım sayısı (n) ve adım açısı (α) parametreleri seçilmelidir [31].

Hesaplamalarda kullanılacak olan birimler Tablo 2.3' te verilmiştir.

Tablo 2.3. Hesaplamalarda kullanılan birimler

Birim	Açıklama
d	Tel Çapı (mm)
D	Yay Çapı (mm)
Di	Yay İç Çapı (mm)
Dm	Yay Ortalama Çapı (mm)
Ddi	Yay Dış Çapı (mm)
p	Açılmış Yayın Hatvesi (mm)
a	Açılmış Yayın Helis Açısı
F	Kuvvet (N)
Mburulma	Burulma Momenti (N.mm)
Kburulma	Burulma Gerilmesi (N/mm ²)
Kkesme	Kesme Gerilmesi (N/mm ²)
f	Uzama Miktarı
G	Kayma Modülü (MPa)
f1	Bir Sarımdaki Uzama Miktarı
n	Aktif Sarım Sayısı
E	Elastiklik Modülü
v	Poisson Oranı

Tablo 2.4. SMA yayın fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler	Açıklama	Mekanik Özellikler	Açıklama
Yoğunluk	6,45g/cc	Elastiklik Modülü	2000
		Poisson Oranı	0,33

Tablo 2.5. SMA yayın termal özellikleri ve kimyasal kompozisyonu [24]

Termal Özellikler	Açıklama	Element Oranları	Açıklama
Özgül Isı	0,320 J/g-°C	Nikel	%55
Isı İletkenliği	10.0 W/m-K	Titanyum	%45
Erime Noktası	1240-1310 °C		

2.2.1. Modül-1 mekanik hesaplamalar

1,2 kg ağırlığındaki kütlenin hareket ettirilebilmesi için kullanılan yayın hesaplamalarında aşağıda belirtilen yöntem izlenmiştir.

- 1) Yayın sahip olduğu kuvvetin hesabında, tel çapı, yayın ortalama çapı, malzemenin kayma modülü ve yayın sahip olduğu uzama miktarına ihtiyaç duyulur. Bu veriler aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$D_i = D - (2xd) \quad (2.1)$$

$$D_m = D_i + d \quad (2.2)$$

$$D_{di} = D_i + (2xd) \quad (2.3)$$

D_i : Yay iç çapı (mm); D :Yay çapı (mm); d : Tel çapı (mm); D_{di} : Yay dış çapı (mm) verilerini temsil etmektedir.

Yay iç çapı (2.1) numaralı formülde gösterildiği gibi hesaplanır. Yay ortalama çapı ise (2.2) numaralı formülde gösterilmektedir. Modül-1' de kullanılan yaylara ait yay iç çapı, yay dış çapı ve yay ortalama çapı Tablo 2.8' de verilmiştir.

Tablo 2.6. Modül-1 tasarımı için hesaplanan SMA yayın özellikleri

Birim	Verilen Değer	Birim	Hesaplanan Değer
d	1,75 mm	D_i	4,7 mm
D	8,2 mm	D_m	6,45 mm
		D_{di}	8,2 mm

- 2) Yayın açılmış haldeki helis açısı hesabı (a), (2.4) numaralı formülde verilmiştir. Burada (p) açılmış yayın hatvesi ve D_m yayın ortalama çapıdır. Yayda oluşacak büyük deformasyonlarda, yaya F kuvveti bindiğinde yay uzama miktarının bilinmesi gerekir. Yaya etkileyen kuvvet hesabında, kayma modülüne (G) ve her bir sarımdaki uzama miktarına ihtiyaç duyulur. Kayma modülünde elastiklik modülü (E) ve poisson oranı (ν) önemlidir. Kayma modülü ile elastiklik modülü arasındaki ilişki (2.5)' te verilmiştir. Sarım başına düşen uzama miktarı ise formül (2.6) ile bulunmaktadır.
- 3) Burulma momenti, burulma gerilmesi ve kesme gerilmesi hesabında yaya etkileyen kuvvetin bilinmesi gerekir. Bu bağlamda, burulma momenti (2.8), burulma gerilmesi (2.9) ve kayma gerilmesi (2.10) numaralı formüller ile hesaplanır.

Doğrusal sistemlerde yay dış çapında meydana gelen kesme gerilmesi, enine kesitte gerinim anında oluşan aksenal kuvvet değerleri ile hesaplanabilir.

Kesme gerilmesi ve uygulanacağı varsayılan tüm kuvvetlerin hesaplanmasıyla elde edilen değerler, yay malzemesinin limit gerilme değerleri ile karşılaştırılmalıdır.

$$a = \tan^{-1} \left(\frac{p}{p \times D_m} \right) \left(\frac{p}{\pi} \right) \quad (2.4)$$

$$E = 2G(2 + \nu) \quad (2.5)$$

$$f_1 = f/n \quad (2.6)$$

$$F = \frac{f_1 \times G \times d}{8 \times D_m} \quad (2.7)$$

$$M_{\text{burulma}} = \frac{F \times D_m}{2} \quad (2.8)$$

$$K_{\text{burulma}} = \frac{M_{\text{burulma}}}{(p \times d^3)/16} \quad (2.9)$$

$$K_{\text{kesme}} = \frac{F}{(p \times d)^2} \quad (2.10)$$

a: Açılmış yayın helis açısı; p: Açılmış yayın hatvesi; D_m: Yay ortalama çapı; E: Elastiklik modülü; G: Kayma modülü; F: Kuvvet; f₁: Bir sarımdaki uzama miktarı, f: Uzama miktarı, n: Aktif sarım sayısı; M_{burulma}: Burulma momenti; K_{burulma}: Burulma gerilmesi; K_{kesme}: Kesme gerilmesi terimlerini ifade etmektedir.

Yukarıda verilen formüller doğrultusunda elde edilen sonuçlar Tablo 2.7' de gösterilmektedir.

Tablo 2.7. Modül-1 için hesaplanan SMA yayın özellikleri

Birim	Verilen Değer	Birim	Hesaplanan Değer
p	10 mm	a	0,45°
f	160 mm	G	751 MPa
n	16 adet	f ₁	10 mm
D _m	6,45 mm	F	15,96 N
E	2000 MPa	M _{burulma}	51,49 N.mm
v	0,33	K _{burulma}	15,37 N/mm ²
		K _{kesme}	0,834 N/mm ²

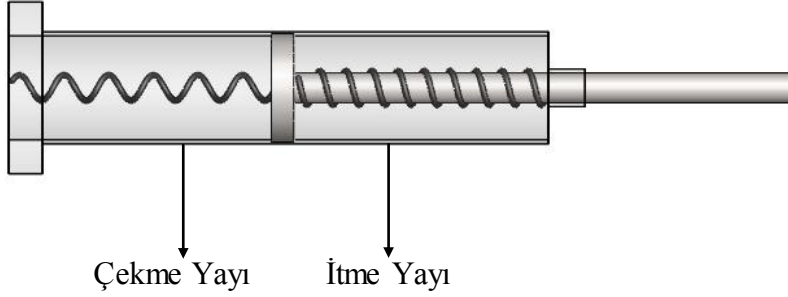
2.2.2. Modül-2 mekanik hesaplamalar

Modül-2' de tasarlanmış olan piston mekanizmasında iki adet SMA yay kullanılmıştır. Kullanılan SMA yayların özellikleri Modül-1' deki yaylarla aynı olup sadece sarım sayısı farklılık göstermektedir. SMA yayların mekaniksel hesaplamalarında denklem 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 kullanılarak aşağıdaki değerler hesaplanmıştır.

Tablo 2.10' da silindir mekanizmasında kullanılmakta olan iki yaya ait çap (D) ve yarıçap (d) bilgileri yer almaktadır.

Tablo 2.8. Modül-2 için hesaplanan SMA yay özellikleri

Birim	Verilen Değer	Birim	Hesaplanan Değer
D	1,75 mm	D_i	4,7 mm
D	8,2 mm	D_m	6,45 mm
		D_{di}	8,2 mm



Şekil 2.8. Silindir mekanizması itme ve çekme yayları

Çekme yayına ait hesaplamalarda kullanılacak veriler Tablo 2.10’ da verilmiştir.

Tablo 2.9. Modül-2 için hesaplanan SMA çekme yayı özellikleri

Birim	Verilen Değer	Birim	Hesaplanan Değer
P	10 mm	a	0,45°
F	75 mm	G	751 MPa
N	5 adet	f_1	15 mm
D_m	6,45 mm	F	23,95 N
E	2000 MPa	$M_{burulma}$	77,24 N.mm
ν	0,33	$K_{burulma}$	23,06 N/mm ²
		K_{kesme}	1,25 N/mm ²

Tablo 2.10. Modül-2 için hesaplanan SMA itme yayı özellikleri

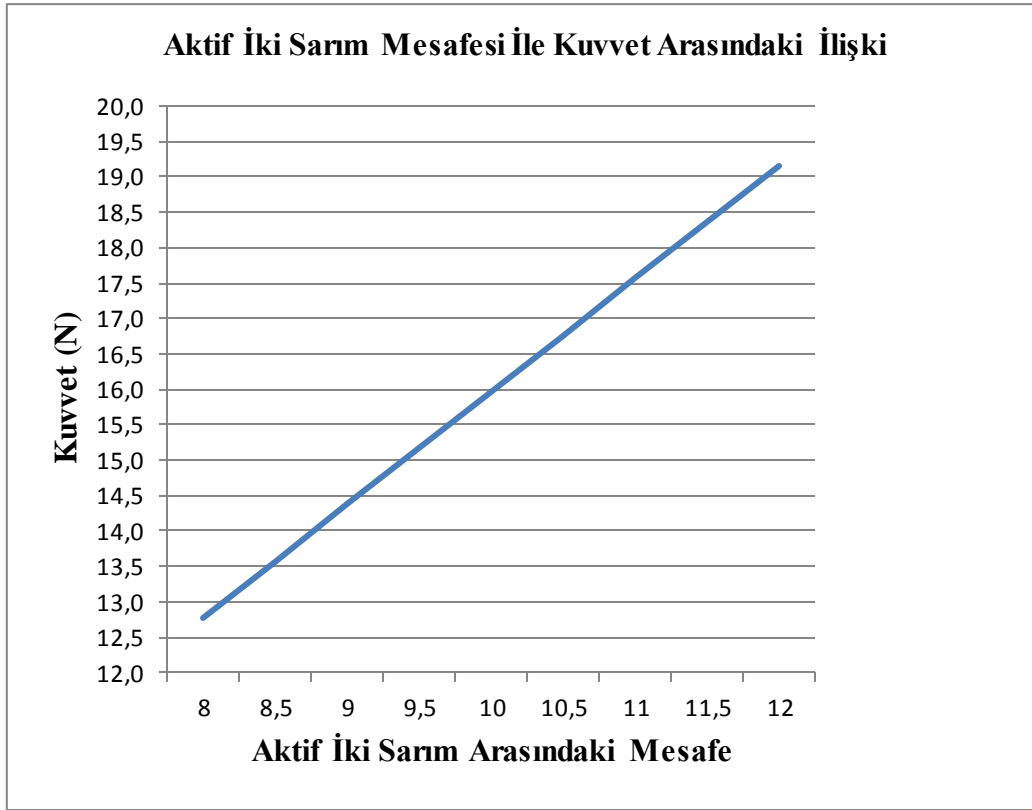
Birim	Verilen Değer	Birim	Hesaplanan Değer
P	10 mm	a	0,45°
F	75 mm	G	751 MPa
N	9 adet	f_1	8,33 mm
D_m	6,45 mm	F	13,30 N
E	2000 MPa	$M_{burulma}$	42,91 N.mm
ν	0,33	$K_{burulma}$	12,81 N/mm ²
		K_{kesme}	0,69 N/mm ²

Yapılan mekanik hesaplamalar incelendiğinde SMA yayın sahip olacağı maksimum kuvvet miktarının belirlenmesinde, tel çapı (d), yay çapı (D), aktif iki sarım arasındaki mesafe (f_1) ve kayma modülü (G)' nin etken olduğu görülür. Böylece denilebilir ki, yayların çalışma sonucu uğrayacağı deformasyon ile aktif iki sarım arasındaki mesafe miktarında sapmalar oluşabilir. Bu sapmalar aşağıda verilmiş Tablo 2.11 ve Şekil 2.9 ile görülmektedir.

Şekil 2.9 ve Tablo 2.11 incelendiğinde, zamanla meydana gelen yorulmalar sonucu oluşabilecek deformasyonlar sebebiyle aktif iki sarım arasındaki uzama miktarında meydana gelecek değişimler yayın kuvvetini doğrudan etkileyecektir.

Tablo 2.11. SMA yayın aktif iki sarımı arasındaki mesafenin yay kuvvetine etkisi

Açılmış Yayın Hatvesi (mm)	Aktif Sarım Sayısı (adet)	Aktif İki Sarım Arasındaki Mesafe (mm)	Kuvvet (N)
160	16	8	12,77
160	16	8,5	13,57
160	16	9	14,37
160	16	9,5	15,17
160	16	10	15,97
160	16	10,5	16,77
160	16	11	17,57
160	16	11,5	18,36
160	16	12	19,16

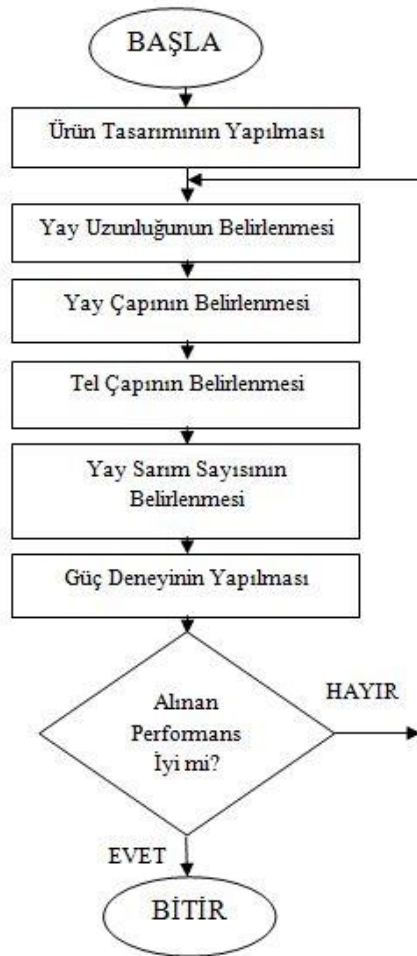


Şekil 2.9. SMA yayın aktif iki sarımı arasındaki mesafe ile yay kuvveti arasındaki ilişki

2.2.3. SMA Yay Tasarımı

Deney düzeneğinde kullanılan yayların sahip olduğu malzeme özelliklerine dayanarak yayların mekaniksel hesaplamaları yapılmıştır ve kuvvet, kayma modülü, burulma momenti, kesme gerilmesi, helis açısı değerleri hesaplanmıştır. Böylece malzemenin mekanik davranışları irdelenmiştir.

Yapılan çalışmalar göz önüne alınarak ileri çalışmalarda Şekil hafızalı yay ile tasarlanacak endüstriyel bir aktüatörün tasarımında Şekil 2.9'da verilmiş akış diyagramı yol gösterici olacaktır.



Şekil 2.10. Şekil hafızalı aktüatör için yay tasarım algoritması

Akış diyagramına göre sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmelidir.

1. Yapılmış olan ürün tasarımına göre kullanılacak olan Şekil hafızalı yayın çalışma alanı belirlidir. Yayın deforme edilmiş haldeki maksimum uzunluğu ürün

tasarımında yay için ayrılmış maksimum çalışma aralığıdır. Ayrıca yayda oluşacak büyük deformasyonlarda, yaya F kuvveti bindiğinde yay uzama miktarının bilinmesi gerekir. Bu durumda ilk olarak yayın deforme edilmiş yay uzunluğu (f_1) belirlenmelidir.

2. Yaya etkiyen kuvvet ve yayın sahip olduğu uzama miktarının kesme gerilmesi ve kesme geriliminde dönüşümüne ihtiyaç duyulur. (bkz. Denklem 2.5)

$$f_1 = \frac{8xFxD_m^3}{Gxd^4} \quad (2.11)$$

3. Yukarıda verilmiş 2.11 no' lu denklemde kuvvet, uzama miktarı ve kesme gerilmesi arasındaki ilişki tanımlanmaktadır. Doğrusal sistemlerde yay dış çapında meydana gelen kesme gerilmesi, enine kesitte gerinim anında oluşan aksenal kuvvet değerleri ile hesaplanabilir. Bu hesaplamalar için yay çapı ve tel çapı belirlenmelidir.
4. Kuvvet değeri baz alınarak burulma momenti, burulma gerilmesi ve kesme gerilmesi denklem 2.8, 2.9, 2.10 ile hesaplanır.
5. Yay çapı ve tel çapının belirlenmesi ile 2.1, 2.2 ve 2.3 denklemleri kullanılarak yay ortalama çapı (D_m), yay dış çapı (D_{d1}) ve yay iç çapı (D_i) hesaplanır.
6. Yay sarım sayısı denklem 2.6 ile bulunur.
7. Elde edilen değer, yay malzemesinin limit gerilme değerleri ile karşılaştırılmalıdır. Hesaplanan veriler doğrultusunda performans testleri yapılır. Elde edilen performans istenilen gücü karşılıyorsa süreç tamamlanır. Aksi takdirde adımlar düzenlenerek tekrar yapılır.

BÖLÜM 3 DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Sıcaklık-uzama miktarı arasındaki ilişki Şekil hafızalı yay ile üretilmiş aktüatörün davranışlarını tanımlar. Mekaniksel özellikleri Bölüm-2’de hesaplanmış yayların hız değişim parametrelerini bulmak üzere bir deney düzeneği tasarımı yapılmıştır. Şekil hafızalı yaylar ile gerçekleştirilen aktüatör deney düzeneğinde Modül-1 ve Modül-2 ile çalışılmıştır. Çeşitli akım değerleri aralığında akım uygulanarak her iki modülde bulunan hareketli kısımların süreye bağlı olarak deplasman verileri alınmıştır. Bu veriler kullanılarak yayların hızları hesaplanmıştır. Elde edilen hız verileri kullanılarak, uygulanan akıma karşılık elde edilen hız ve hız değişim verileri irdelenmiştir.

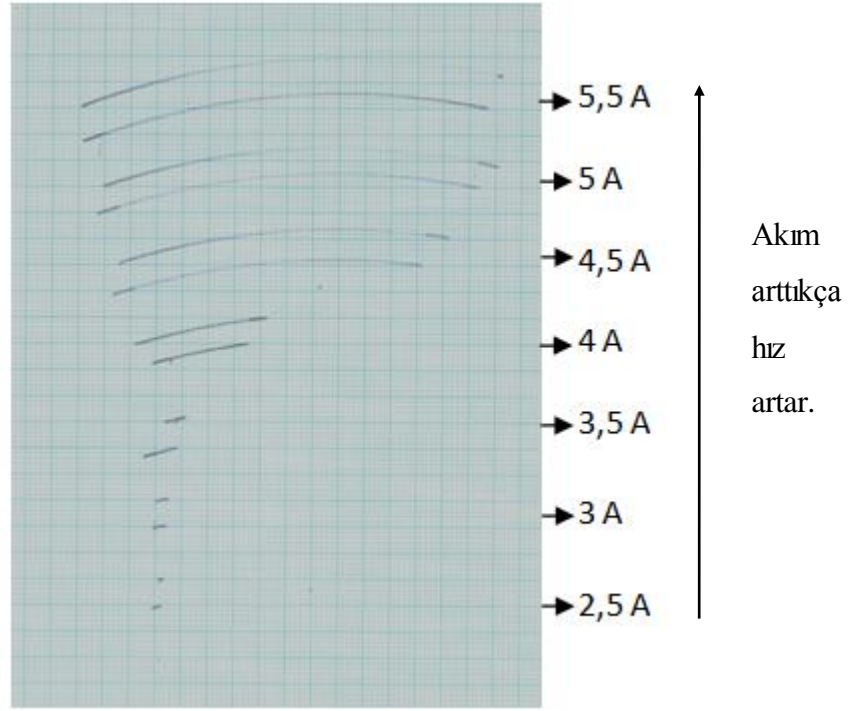
3.1. Yapılan Deney Çalışmaları

Deney çalışmaları için ayarlanabilir 12V - 5A güç kaynağı kullanılmıştır. Modüllere 2,5 A ile 5,5 A aralığında akım uygulanarak Modül-1’de bulunan kütle ile Modül-2’de bulunan pistonun hareket miktarları ölçülmüştür.

3.1.1. Modül-1

Sistem, 10 s, 15 s ve 20 s’ lik periyotlar ile 5,5 A sağ ve sol yönünde, 5 A sağ ve sol yönünde, 4,5 A sağ ve sol yönünde, 4 A sağ ve sol yönünde, 3,5 A sağ ve sol yönünde, 3 A sağ ve sol yönünde, 2,5 A sağ ve sol yönünde akıma maruz bırakılmıştır. Her bir akım değerinde cismin sağ ve sol yönünde oluşan parabolik hareketler, cismin önünde bulunan kalem ile milimetrik kağıda çizdirilmiştir. Elde edilen deplasman değişiminin doğrusal olduğu kabul edilerek ortalama hız değerleri hesaplanmıştır.

Modül-1’e 10 s’ lik aralıklarla akım uygulanarak Şekil 39’ da verilmiş eğriler elde edilmiştir. Her bir eğrinin yanında uygulanan akım belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Modül-1 ile 10 s süresince her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri
 Cismin Şekil 3.1' de verilmiş hareketi ölçülerek her bir akım için ortalama hız değerleri hesaplanmıştır. Ortalama hız verileri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2' de görülmektedir.

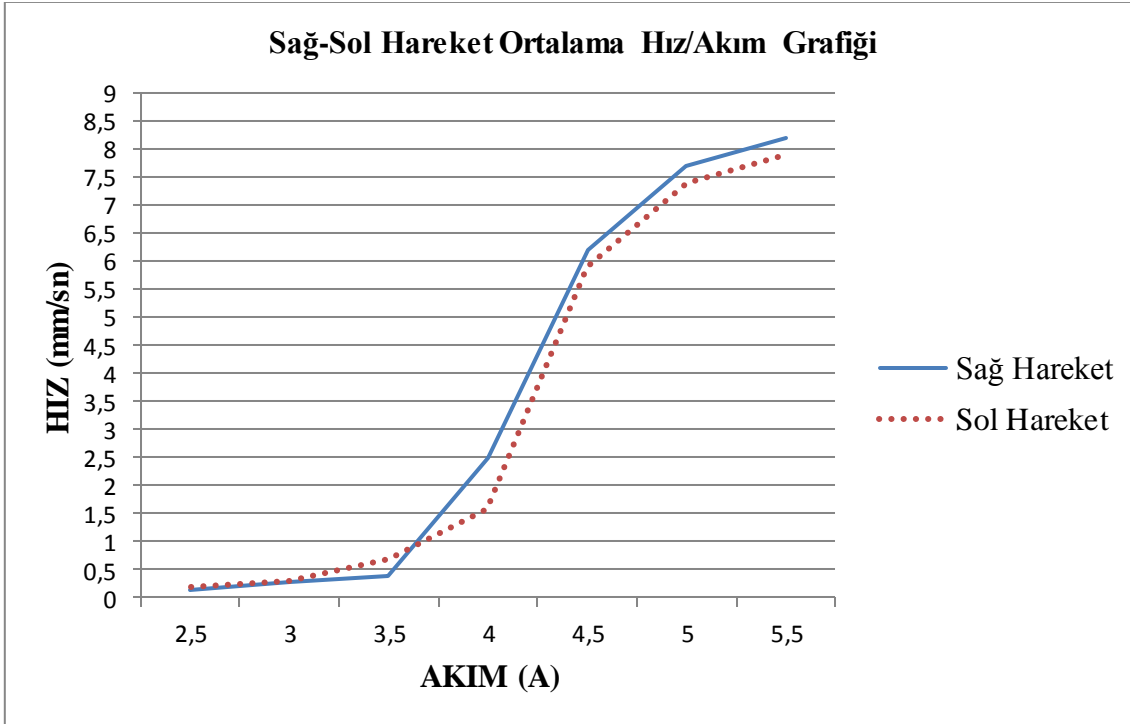
Tablo 3.1. Modül-1 ile 10s süresince sağ hareketten elde edilen ortalama hız verileri

Akım (A)	Süre (s)	Deplasman (mm)	Hız (mm/s)
2,5	10	1,5	0,15
3	10	3	0,3
3,5	10	4	0,4
4	10	25	2,5
4,5	10	62	6,2
5	10	77	7,7
5,5	10	82	8,2

Tablo 3.2. Modül-1 ile 10sn süresince sol hareketten elde edilen ortalama hız verileri

Akım (A)	Süre (s)	Deplasman (mm)	Hız (mm/s)
2,5	10	2	0,2
3	10	3	0,3
3,5	10	7	0,7
4	10	16	1,6
4,5	10	59	5,9
5	10	74	7,4
5,5	10	79	7,9

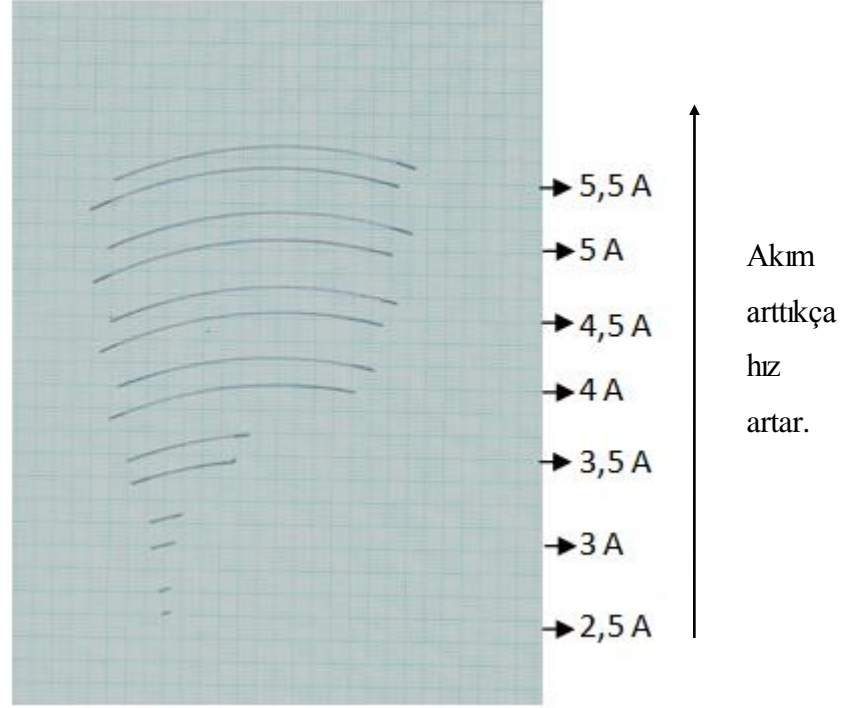
Modül-1' e 10 s süresince uygulanan akımlar sonucu sağa ve sola hareketten elde edilen ortalama hız verilerinin karşılaştırması aşağıda verilen Şekil 40' ta gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Modül-1 10 s süreli sağ-sol hareket ortalama hız/akım grafiği

Grafik incelendiğinde 2,5 A' de elde edilen hız 0,15 mm/s mertebelerinde iken 5,5 A' de elde edilen hızın 8,2 mm/s mertebelerine ulaştığı görülür.

Cismin 15 s' de ki hareket verileri Şekil 3.3'te görülmektedir. Her bir eğrinin yanında uygulanan akım belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Modül-1 15 s süresince her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri
Cismin Şekil 3.3' te verilmiş hareketi ölçülerek her bir akım için ortalama hız değerleri hesaplanmıştır. Ortalama hız verileri Tablo 3.3' te ve Tablo 3.4' de görülmektedir.

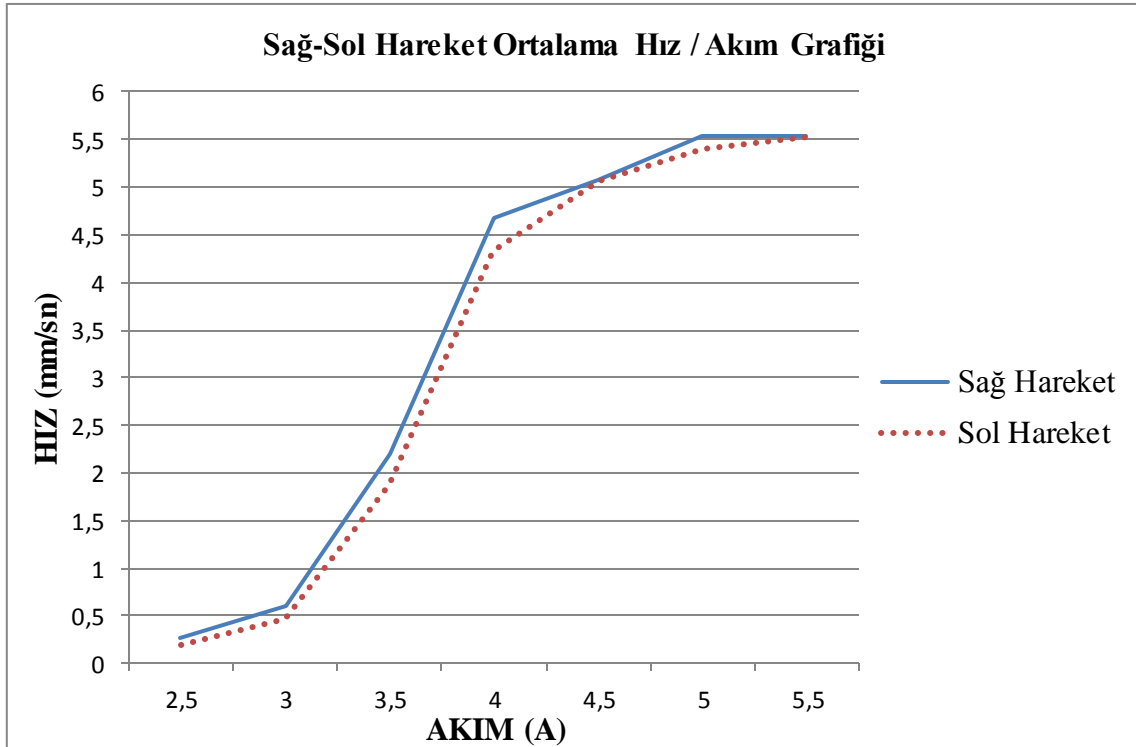
Tablo 3.3. Modül-1 15 s süresince sağ hareketten elde edilen ortalama hız verileri

Akım (A)	Süre (s)	Deplasman (mm)	Hız (mm/s)
2,5	15	4	0,27
3	15	9	0,60
3,5	15	33	2,20
4	15	70	4,67
4,5	15	76	5,07
5	15	83	5,53
5,5	15	83	5,53

Tablo 3.4. Modül-1 15s süresince sol hareketten elde edilen ortalama hız verileri

Akım (A)	Süre (sn)	Deplasman (mm)	Hız (mm/s)
2,5	15	3	0,20
3	15	7	0,47
3,5	15	28	1,87
4	15	65	4,33
4,5	15	76	5,07
5	15	81	5,40
5,5	15	83	5,53

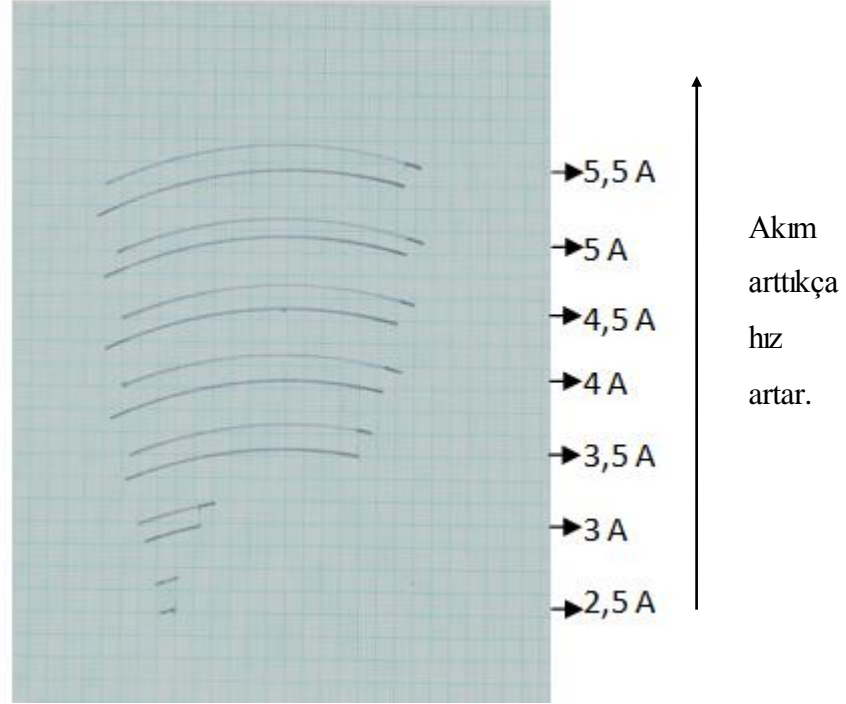
Modül-1' e 15 s süresince uygulanan akımlar sonucu sağa ve sola hareketten elde edilen ortalama hız verilerinin karşılaştırması aşağıda verilen Şekil 3.4' de gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Modül-1 15s süreli sağ-sol hareket ortalama hız/akım grafiği

Grafik incelendiğinde 2,5 A' de elde edilen hız 0,27 mm/s mertebelerinde iken 5,5 A' de elde edilen hızın 5,53 mm/s mertebelerine ulaştığı görülür.

Cismin 20 s' de ki hareket verileri Şekil 3.5' te görülmektedir. Her bir eğrinin yanında uygulanan akım belirtilmiştir.



Şekil 3.5. Modül-1 20 s süresince her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri

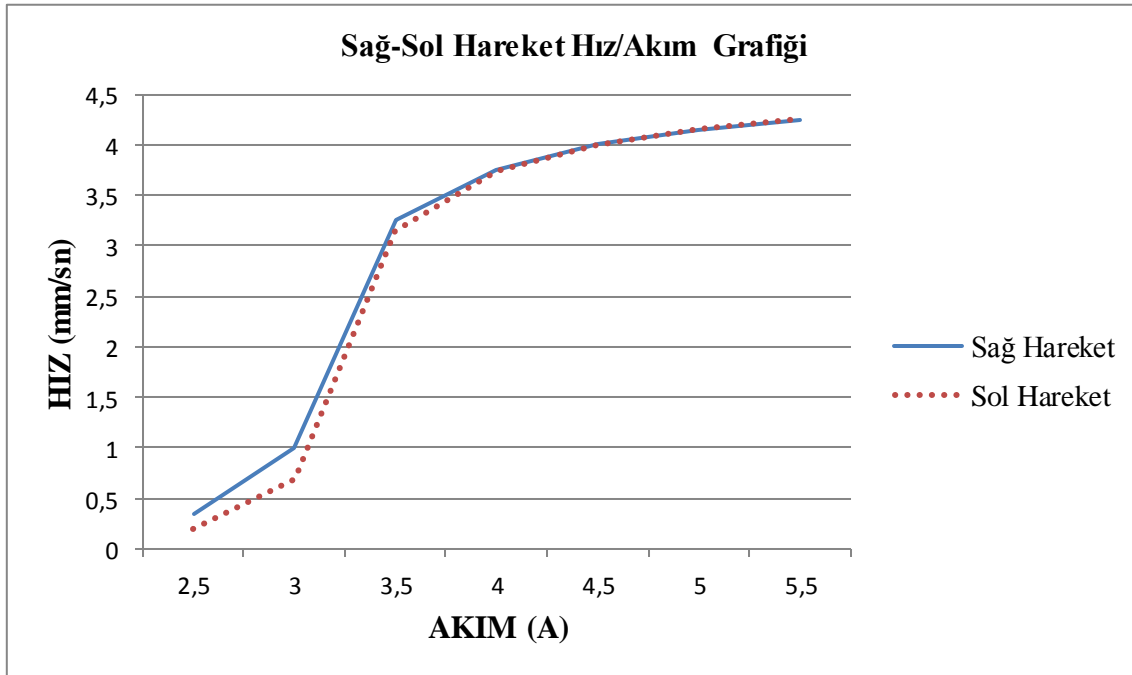
Cismin Şekil 43' te verilmiş hareketi ölçülerek her bir akım için ortalama hız değerleri hesaplanmıştır. Ortalama hız verileri Tablo 3.5' te ve 3.6' da görülmektedir.

Tablo 3.5. Modül-1 20 s süresince sağ hareketten elde edilen ortalama hız verileri

Akım (A)	Süre (s)	Deplasman (mm)	Hız (mm/sn)
2,5	20	7	0,35
3	20	20	1
3,5	20	65	3,25
4	20	75	3,75
4,5	20	80	4
5	20	83	4,15
5,5	20	85	4,25

Tablo 3.6. Modül-1 20 s süresince sol hareketten elde edilen ortalama hız verileri

Akım (A)	Süre (s)	Deplasman (mm)	Hız (mm/s)
2,5	20	4	0,2
3	20	14	0,7
3,5	20	63	3,15
4	20	75	3,75
4,5	20	80	4
5	20	83	4,15
5,5	20	85	4,25



Şekil 3.6. Modül-1 20 s süreli sağ-sol hareket ortalama hız/akım grafiği

Yukarıda verilen grafik incelendiğinde 2,5 A' de elde edilen hız 0,3 mm/s mertebelerinde iken 5,5 A' de elde edilen hızın 4,25 mm/s mertebelerine ulaştığı görülür.

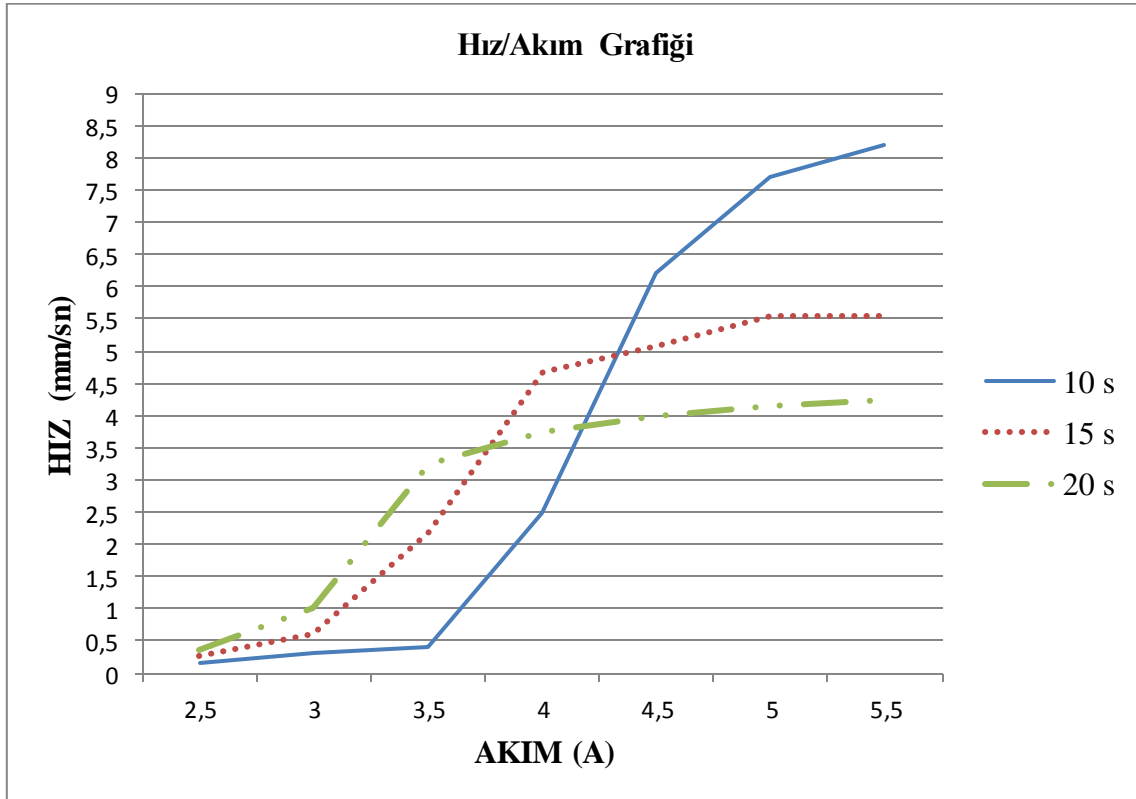
Sistemin çalıştığı sürelerde elde edilen ortalama hız eğrileri yukarıda verilmiş Şekil 3.2, Şekil 3.4 ve Şekil 3.6'da görülmektedir. Bu eğriler ve Tablo 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6

incelendiğinde, aynı mekanik özelliklere sahip, eşit sarım sayılarına sahip yayların sağ ve sol yönünde yapmış olduğu hareketler sonucunda aynı ortalama hız verilerinin elde edilmesi beklenirken ortalama %1’lik bir farklılık göze çarpmaktadır. Bu farklılığın sebepleri şöyle açıklanabilir,

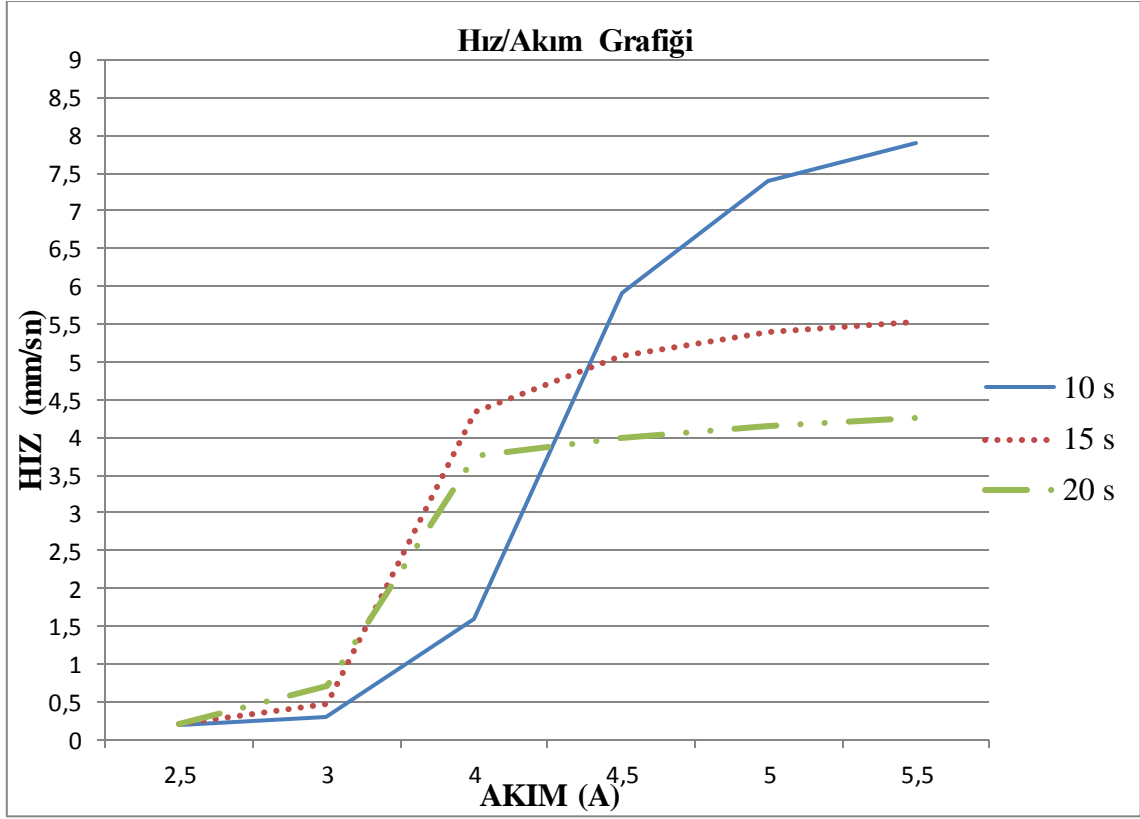
Şekil hafızalı yayların mekaniksel özelliklerinin aynı olmasına rağmen, kullanım şartlarına bağlı olarak malzeme yorulmaları farklı olabilmektedir. Aynı zamanda Bölüm 2’ de verilmiş olan denklemler incelendiğinde yay sarım sayısının yay uzamasında ve yayın sahip olduğu kuvvet miktarında belirleyici unsur olduğu göze çarpmaktadır. Bu bağlamda her iki sarım arasındaki mesafe farklılığı yayın toplamda alacağı mesafe miktarını etkileyeceğinden ortalama hız değerlerindeki farklılık kaçınılmazdır.

Cismin aynı akımda, farklı sürelerde almış oldukları mesafelerin eşit olmadığı yukarıda verilmiş Şekil 3.2, Şekil 3.4 ve Şekil 3.6 ve Tablo 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6 ile görülmektedir.

Cismin 10 s, 15 s ve 20 s’ lik çalışma aralıklarında sahip oldukları ortalama hızlarının karşılaştırması Şekil 45’te ve Şekil 46’da te verilmiştir.



Şekil 3.7. Modül-1 10 s – 15 s – 20 s süreli sağ hareket ortalama hız/akım grafiği



Şekil 3.8. Modül-1 10 s – 15 s – 20 s süreli sol hareket ortalama hız/akım grafiği

10 s' lik hareket incelendiğinde, akımın artmasıyla hız miktarları doğrusal bir artış sergilemiştir ancak 3 A' den 4A'e çıkan hızın ivmesi ile 4 A' den 4,5 A' e çıkan hızın ivmesi aynı değildir. Akım arttıkça ivmenin de artmakta olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır.

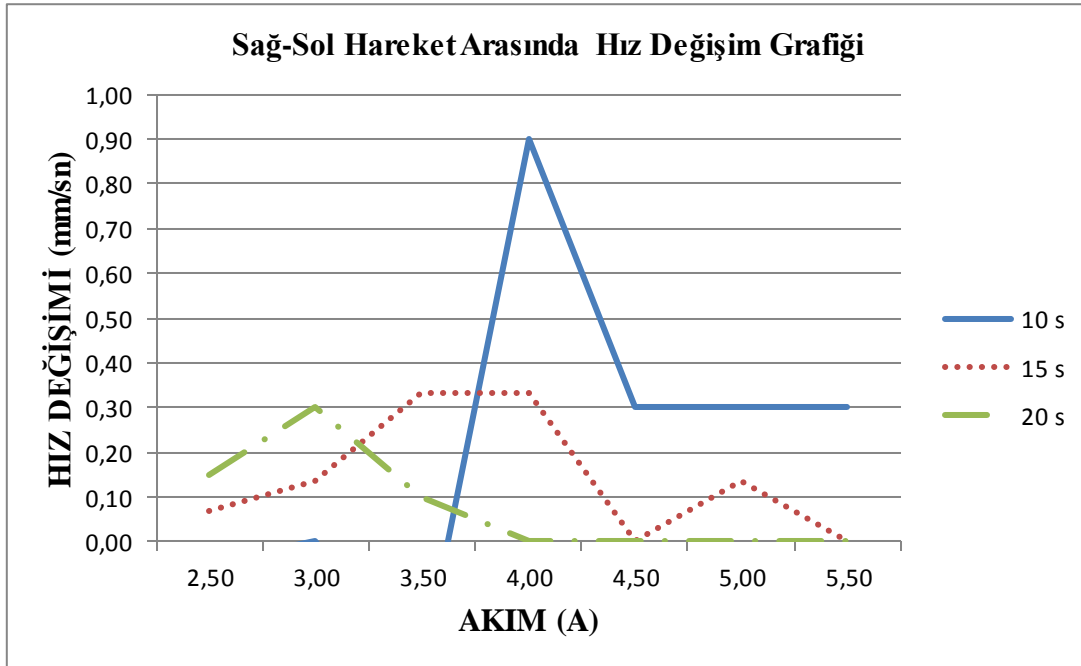
15 s' lik incelendiğinde, akımın artmasıyla hız miktarında da doğrusal olarak arttığı görülmektedir ancak ivme 4 A itibariyle düşmektedir. Şekil hafızalı yay 5,5 A' de 5,5 mm/sn hıza ulaşmışken 5,5 A 10 s uygulandığında Şekil hafızalı yay 8 mm/s hız kazanmıştır.

20 s' lik hareket incelendiğinde artan akım ile hız da doğrusal artış mevcuttur ancak bu artış daha da azalmaktadır. Şekil hafızalı yayın sergilemiş olduğu davranış 15 s ile aynı olmakla birlikte yay daha düşük bir ivmeye sahiptir.

Cismin her bir çalışma periyodunda, sağ ve sol hareketlerinden doğan hızlarının değişim miktarları Tablo 3,7 ve Şekil 3,9' da gösterilmektedir.

Tablo 3.7. 10 s – 15 s - 20 s süresince sağ ve sol harekette oluşan hız değişimi

Akım (A)	10s Değişim Miktarı	15s Değişim Miktarı	20s Değişim Miktarı
2,50	-0,05	0,07	0,15
3,00	0,00	0,13	0,30
3,50	-0,30	0,33	0,10
4,00	0,90	0,33	0,00
4,50	0,30	0,00	0,00
5,00	0,30	0,13	0,00
5,50	0,30	0,00	0,00



Şekil 3.9. 10 s – 15 s - 20 s süresince sağ ve sol harekette oluşan hız değişimi

10s' lik çalışma periyodu incelendiğinde, sağ ve sol harekete bağlı ortalama hız değerlerinde, 5,5A ile 4,5A'lik çalışma akımında %3'lük bir değişim vardır ancak 4A ile 3,5A' lik çalışma akımında doğrusal bir değişim görülmemektedir. 15s' lik çalışma

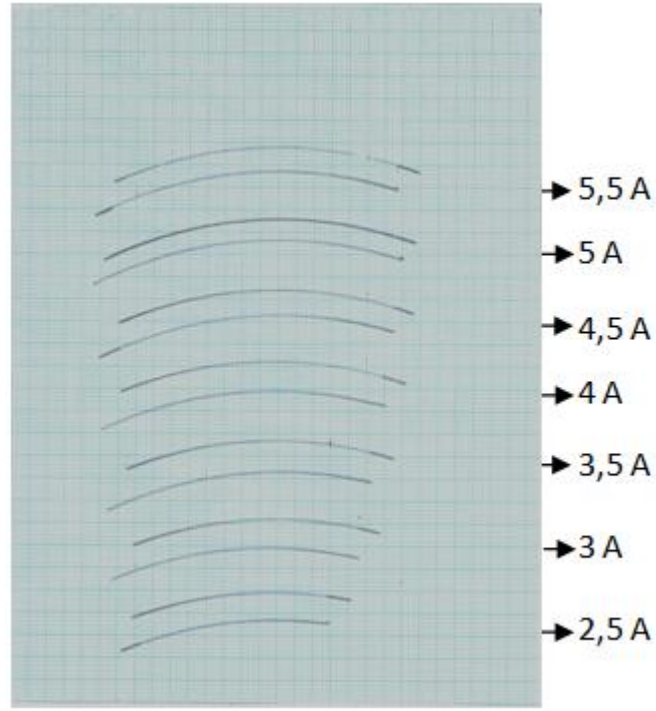
periyodunda doğrusal olmayan değişiklikler var iken 20s' lik çalışma periyodunda ise 5,5A ile 4A' lik çalışma akımında değişim yoktur ancak 2,5 ile 3,5A' lik çalışma akımında doğrusal olmayan bir değişim mevcuttur.

Hız değişim gözlemleri ile “aktif zaman”, “ölü zaman” kavramları ortaya çıkmıştır. Bilinmektedir ki yaylara enerji uygulandığında yaylarda elastik potansiyel enerji depolanmaktadır. Bu depolanan enerji sayesinde yay absorbe ettiği enerji miktarınca uzama gösterir. Aynı durum Şekil hafızalı yaylarda da söz konusudur. Hangi akım değerinde olursa olsun mekanizma akıma maruz kaldığında gerçekleşen ısınma ile yay ısınmayla doğru orantılı olarak elastik potansiyel enerji depolanmaktadır. Depolanan enerji ile yay hareketine başlamaktadır. Yayın depolanmış olduğu enerji maksimumunda iken yay hızı maksimumda olmaktadır, enerjinin azalması ile yayın hızı da azalmaktadır ve hız azalarak sıfırlanmaktadır. 5,5 A 10 s süresince uygulandığında hız 8 mm/s iken 5,5 A 15 s ve 20 s süresince uygulandığında hızın düşüş göstermesi bu sebeptendir. Depolanan potansiyel enerji düştükçe yayın aldığı mesafe azalmakta dolayısıyla bu azalış yayın ortalama hızını doğru orantılı olarak etkilemektedir.

Bu bağlamda yayın depolayabileceği maksimum elastik potansiyel enerji miktarına ulaşana kadar geçen süre ile yayın hızının yavaşladığı süre “ölü zaman” olarak, ölü zaman dışında kalan süre yani yayın maksimum hıza sahip olduğu süre “aktif zaman” olarak kabul edilmiştir. Endüstriyel bir ürün olarak tasarlanacak aktüatörden maksimum verim elde edebilmek için yayın aktif zamanının belirlenerek aktif zaman aralığındaki hız değişimlerinin incelenmesi gerekmektedir. Tasarlanan aktüatörde ölü zaman aralığında yapılan işten elde edilecek verim sınırlıdır.

Aktif zaman tespiti için Modül-1, 5,5 A sağ ve sol yönünde, 5 A sağ ve sol yönünde, 4,5 A sağ ve sol yönünde, 4 A sağ ve sol yönünde, 3,5 A sağ ve sol yönünde, 3 A sağ ve sol yönünde, 2,5 A sağ ve sol yönünde akıma maruz bırakılmıştır. Ancak bu çalışmada süre tutulmamış, cisim durana kadar geçen süre ölçülmüştür. Yapılan çalışma ile Şekil 3.10' da gösterilen hareket eğrileri elde edilmiştir.

Bu hareket eğrileri ile cismin her bir akımda kazandığı hız hesaplanmıştır. Milimetrik kağıda alınan eğriler sayesinde cismin doğrusal hızla ilerlediği zaman aralığı tespit edilerek aktif zaman olarak kaydedilmiştir. Aktif zaman dışında kalan süre ölü zaman olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.10. Aktif zaman belirlemesi için her bir akımda elde edilen mesafe eğrileri

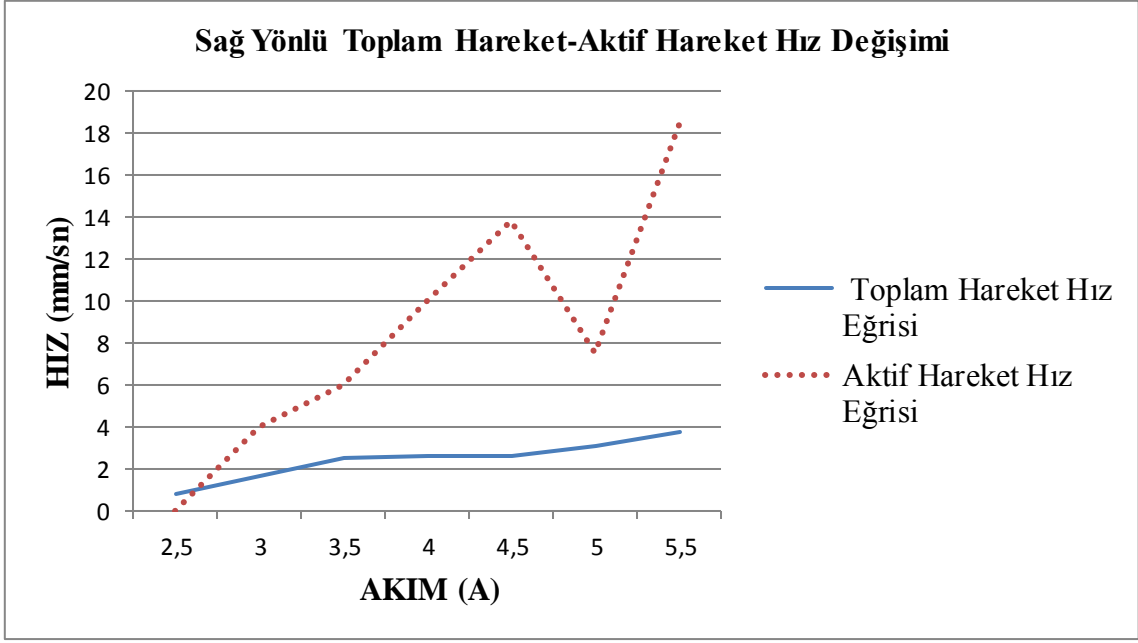
Tablo 3.8. Şekil hafızalı yayın sağ ve sol yönde toplam zamanda sahip olduğu hız verileri

Akım (A)	Sağ Hareket			Sol Hareket		
	Süre (s)	Mesafe (mm)	Hız (mm/s)	Süre (s)	Mesafe (mm)	Hız (mm/s)
2,5	78	60	0,77	78	60	0,77
3	42	70	1,67	42	70	1,67
3,5	30	75	2,50	30	75	2,50
4	31	80	2,58	30	80	2,67
4,5	32	84	2,63	26	84	3,23
5	28	87	3,11	28	87	3,11
5,5	24	90	3,75	24	90	3,75

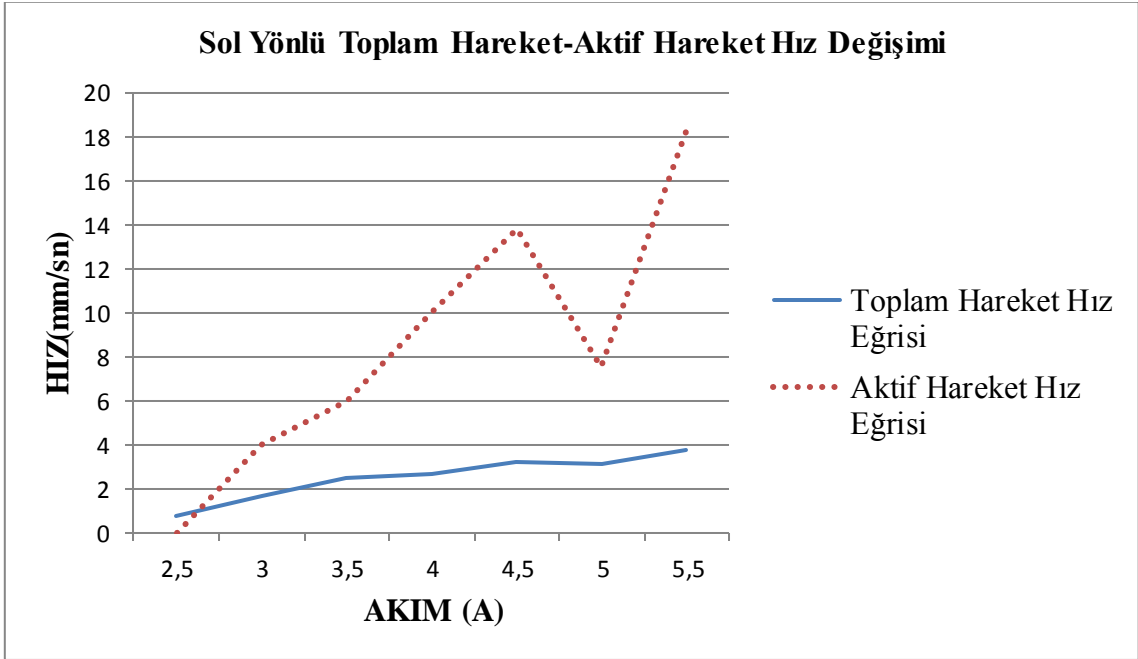
Tablo 3.9. Şekil hafızalı yayın sağ ve sol yönde aktif zaman aralığında sahip olduğu hız verileri

Akım (A)	Sağ Hareket			Sol Hareket		
	Süre (s)	Mesafe (mm)	Hız (mm/s)	Süre (s)	Mesafe (mm)	Hız(mm/s)
2,5			0			0
3	5	20	4,00	5	20	4,00
3,5	5	30	6,00	5	30	6,00
4	5	50	10,00	5	50	10,00
4,5	4	55	13,75	4	55	13,75
5	8	60	7,50	8	60	7,50
5,5	3	55	18,33	3	55	18,33

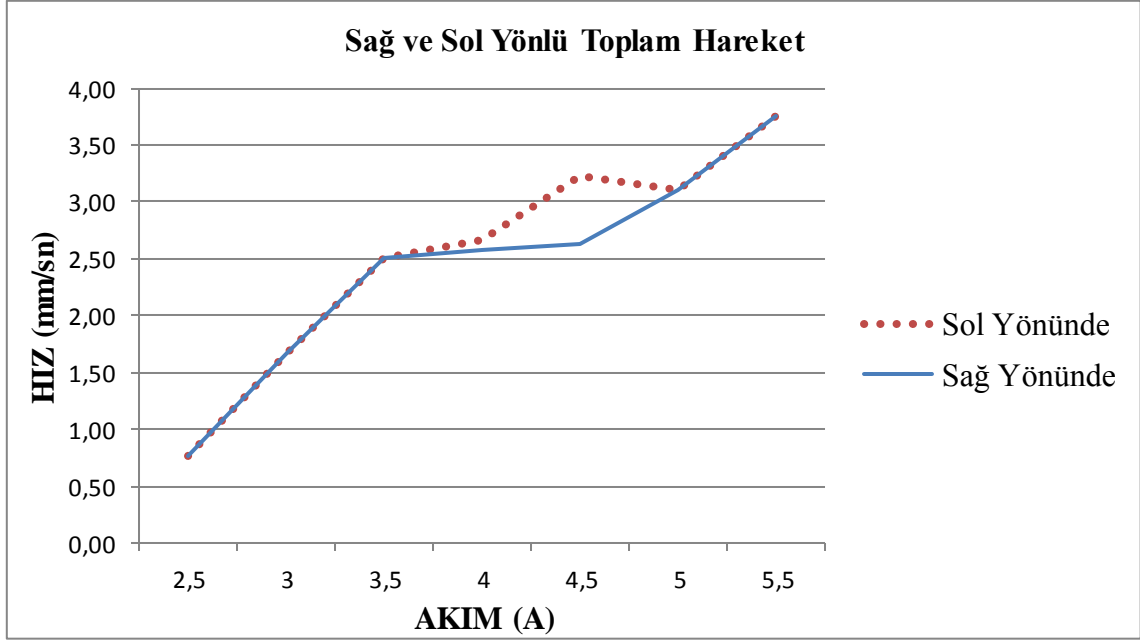
Tablo 3.8 ve Tablo 3.9 incelendiğinde 5,5 A' de şekil hafızalı yayların sahip oldukları hız miktarlarının farklı olduğu görülür. Toplam sürede kazanılan hız 3,75 mm/s iken aktif zamanda yayın sahip olduğu hız 18,33 mm/s' dir.



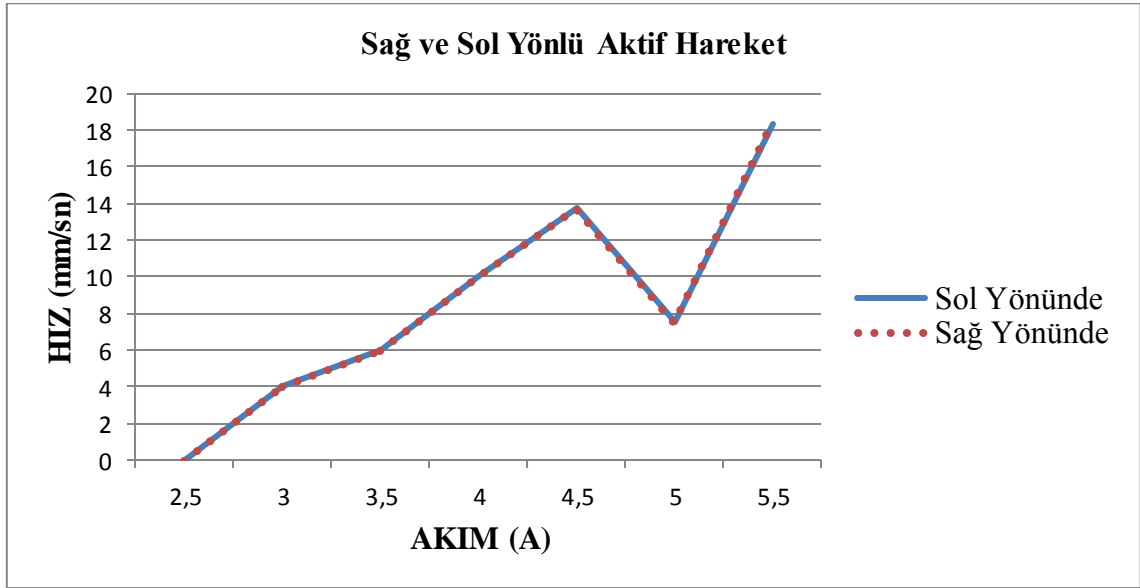
Şekil 3.11. Sağ yönlü toplam hareket ile aktif hareket arasındaki hız değişimi



Şekil 3.12. Sol yönlü toplam hareket ile aktif hareket arasındaki hız değişimi



Şekil 3.13. Sağ ve sol yönlü toplam hareket değişim



Şekil 3.14. Sağ ve sol yönlü toplam hareket değişimi

Sağ ve sol yönlü toplam hareket değişimleri Şekil 3.13 ve Şekil 3.14' te verilen grafiklerde incelendiğinde toplam harekette kazanılan hız değişimi sağ ve sol yönde yapılan hareketlerde farklılık göstermiştir. Ancak bu farklılık aktif harekette yoktur. Aktüatör tasarımında aktif hareketin gerçekleştiği sürenin önemi burada da görülmüştür.

3.1.2. Modül-2

Silindir mekanizması, 5,5A, 5A, 4,5A, 4A, 3,5A, 3A ve 2,5A akıma maruz bırakılmıştır. Her bir akım değerinde cismin ileri-geri hareketlerinden doğan doğrusal hız miktarları hesaplanmıştır.

Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’ de, silindir mekanizmasına uygulanan akım değerleri karşılığında ileri ve geri harekette ölçülen süre ve deplasman verileri hesaplanarak hız verileri bulunmaktadır.

Tablo 3.10. Modül-2 ileri hareket ile elde edilen hız verileri

Akım (A)	Süre (s)	Deplasman (mm)	Hız (mm/s)
2,5	180	23	0,13
3	132	35	0,27
3,5	46	39	0,85
4	38	40	1,05
4,5	26	47	1,81
5	24	40	1,67
5,5	17	45	2,65

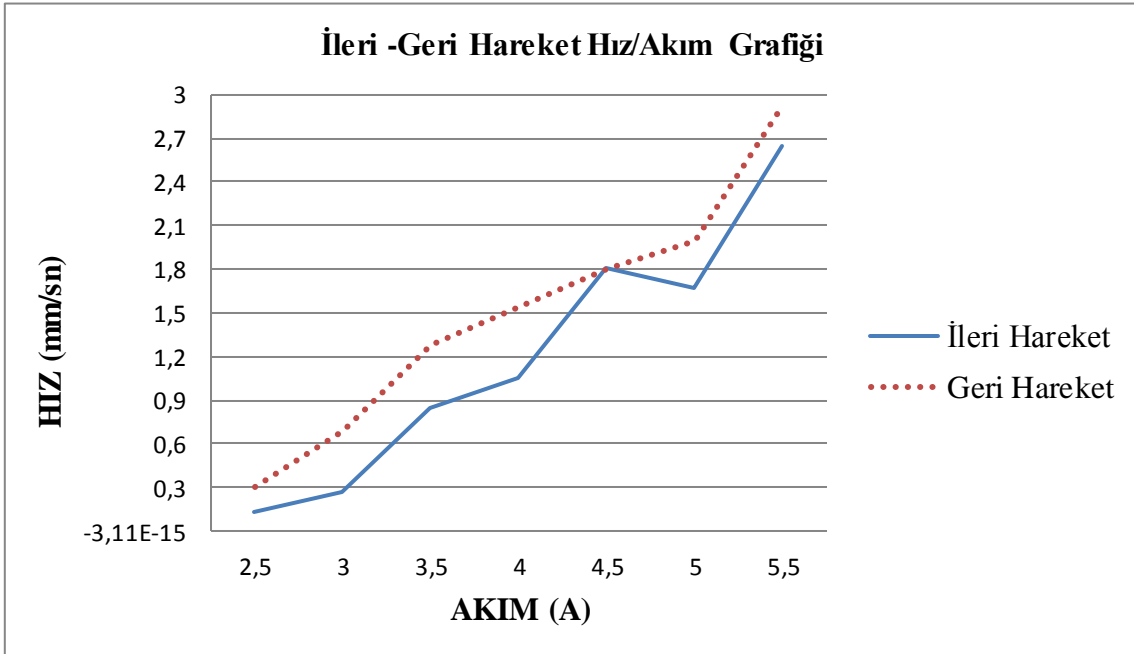
Tablo 3.10 incelendiğinde, akım değeri arttıkça SMA yayın hareket mesafesinin ve hareket süresinin azaldığı, hızının arttığı görülmektedir.

Tablo 3.11 ile pistonun geri hareketinde elde edilen deplasman verileri sonucu hesaplanan hız verileri görülmektedir.

Tablo 3.11. Modül-2 geri hareket ile elde edilen hız verileri

Akım (A)	Süre (s)	Deplasman (mm)	Hız (mm/s)
2,5	103	32	0,31
3	52	36	0,69
3,5	33	42	1,27
4	26	40	1,54
4,5	20	36	1,80
5	20	40	2,00
5,5	14	41	2,93

Tablo 3.10 ve Tablo 3.11 incelendiğinde akım değeri arttıkça SMA yayın hareket edebildiği mesafe ve hareket süresinin arttığı görülmektedir. Bu artışla beraber ileri hareket ile geri hareketi karşılaştırdığımızda 4A'lık akım değerinde eşit miktarda bir hareket elde edilmiş olup geri hareket süresi ile ileri hareket süresi arasında 12 s'lik bir fark vardır.

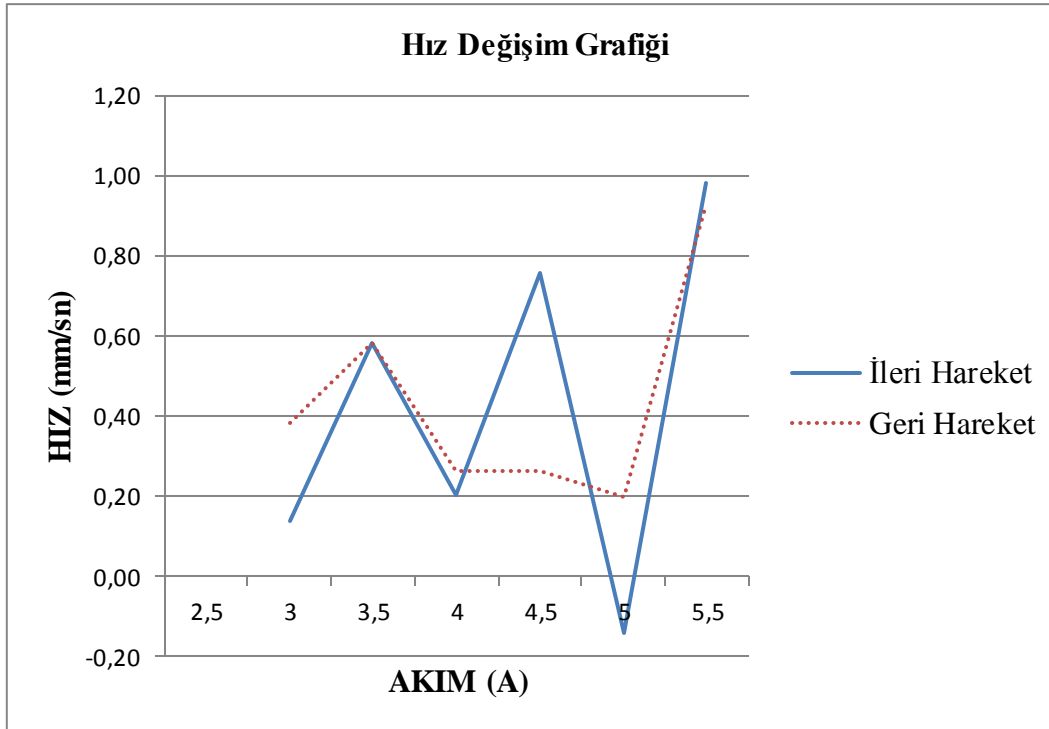


Şekil 3.15. İleri-geri hareket hız/akım grafiği

İleri – geri harekette ortaya çıkan hız artış miktarları Tablo 3.12 ve Şekil 3.16’ da görülmektedir.

Tablo 3.12. İleri - geri harekette meydana gelen hız değişimleri

Akım (A)	Hız (mm/s)	Artış Miktarı	Hız (mm/s)	Artış Miktarı
2,5	0,13	---	0,31	---
3	0,27	0,14	0,69	0,38
3,5	0,85	0,58	1,27	0,58
4	1,05	0,20	1,54	0,27
4,5	1,81	0,76	1,80	0,26
5	1,67	-0,14	2,00	0,20
5,5	2,65	0,98	2,93	0,93

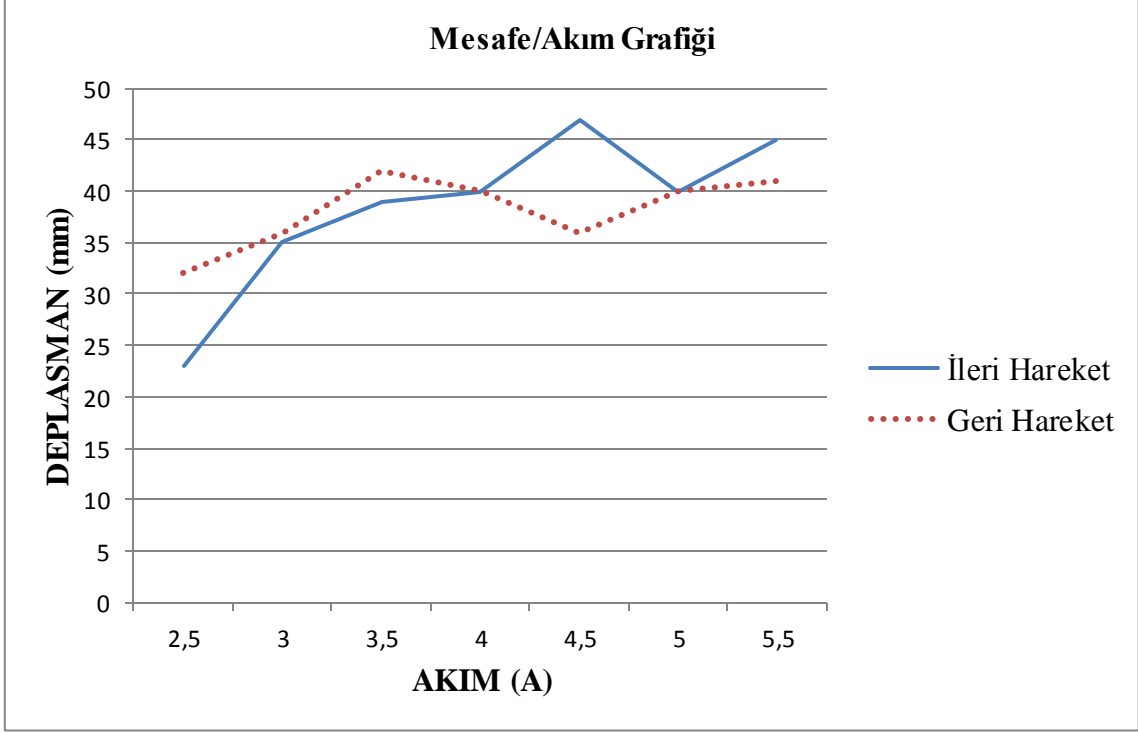


Şekil 3.16. İleri – geri harekette meydana gelen hız değişim grafiği

Akım 4A'den 4,5A' e çıktığında 0,75mm/s' lik bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Bununla birlikte 4,5A' den 5A'e akımı yükselttiğimizde hız miktarında 0,14mm/s' lik

bir düşüş olmaktadır. Yine akım 0,5 amperlik bir artış gösterdiğinde hız 0,98 mm/s' lik ileri yönde maksimum artışını yapmaktadır.

Silindir geri hareketi incelendiğinde hız değişimlerinde büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yay malzeme özellikleri aynı olmasına rağmen sarım sayılarının farklı olmasıdır.



Şekil 3.17. Pistonun ileri – geri hareketindeki mesafe değişimi

Şekil 3.17' de silindirin uygulanan akımlarda ki hareket sürelerine bağlı mesafe değişimi gösterilmektedir. İleri hareket incelendiğinde akımın her 0,5 A' lik artışında ivmenin de arttığı görülmektedir.

BÖLÜM 4 SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Şekil Hafızalı Alaşımından üretilmiş yay kullanılarak iki tip aktüatörden oluşan bir düzenek tasarlanmıştır. Düzenek ile aynı malzeme özelliklerine sahip sarım sayıları farklı yayların farklı akım değerlerinde göstermiş olduğu davranışlar incelenmiştir.

Deney düzeneğinde kullanılan Şekil hafızalı yaylar üzerine uygulanan akım arttırıldıkça deplasman da artmıştır. Artan akım hızın artışı sağlamaktadır. Şekil hafızalı metallerin sahip oldukları hız verileri ve farklı akım değerlerinde sergiledikleri hız değişimlerinde yayların mekaniksel özellikleri belirleyici unsurdur. Yapılan çalışmalarda Şekil hafızalı yayın sahip olduğu hız ile uygulanan akımın doğru orantılı olduğu görülmüştür ayrıca aktüatör tasarımında aktif zaman aralığının önemi saptanmıştır. Artan ısı yayın daha hızlı bir Şekilde orijinal şekline dönmesini sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Schetky, Ming H. Wu, L. Mcd., (2000). Industrial Applications For Shape Memory Alloys, California.
- [2] Huang. W.(1998). Shape Memory Alloys and Their Application to Actuators for Deployable Structures.
- [3] Xu, G. W., Lagoudas, D. C., Hughes, D., Wen, J., T., (1997). Journal of Intelligent Materials and Structures.
- [4] Buehler, W. J. (17.07.2013). Re-Shaping-the-Future-with-Shape-Memory-Alloys
<http://www.bio-medicine.org/biology-technology-1/Re-Shaping-the-Future-with-Shape-Memory-Alloys---SMA-Starter-Kit-10282-1/>.
- [5] WangF. (04.08.2013).
<http://www.prudentpressagency.com/modules/news/article.php?storyid=8180>
- [6] Akdoğan. A., Nurveren K., (2002). Akıllı Malzemeler ve Uygulamaları, Machinery MakinaTek, no. 57, p. 35, Ankara, TÜRKİYE.
- [7] Onur. N. Kurt B., (2002). Şekil Hafızalı Alaşımların Kullanım Alanları Üzerine Son Gelişmeler, 9. Denizli Malzeme Sempozyumu PAÜ-Mühendislik Fakültesi, Denizli, TÜRKİYE.
- [8] Yurtsever, Ö., (2013) <http://ozguryurtsever.com/NiTiNo1-2>. (09.03.2014).
- [9] Otsuka K., Kakeshita, T., (2002). Science and Technology of Shape – Memory Alloys: New Developments, MRS Bulletin.
- [10] Clausing, D., (1994) Total Quality Development, ASME Press, New YORK, USA.
- [11] Philippe P. Poncet, (2013), NiTiNo1 Medical Device Design Considerations, Memry Corporations,
http://www.memry.com/sites/default/files/documents/NiTiNo1_Medical_Device_Considerations_SMST00.pdf (11/07/2013).

- [12] <http://www.ing.unitn.it/~colombo/NITI/html> (09.03.2014).
- [13] Poncet, P., P., NiTiNol Medical Device Design Considerations, Memry Corporations, http://www.memry.com/sites/default/files/documents/NiTiNol_Medical_Device_Considerations_SMST00.pdf (11/07/2013).
- [14] Tremblay, M., Les Implants Medicaus en Alliage a Memorie de Forme, Memry http://www.memry.com/sites/default/files/documents/NiTiNol_Industrial_Applications_SMST00.pdf (11/07/2013).
- [15] <http://www.medtronic.com/core/valve/ous/system.html> (11.07.2013)
- [16] Pandis, N., BouraueI, C., Nickel-Titanium (NiTi) Arch Wires The Clinical Significance of Super Elasticity
- [17] Muhonen, V., Kujala, S., Vuotikka, A., Ääritalo V., Peltola, T., Areva, S., Närhi, T., Tuukkanen J., (2008) Biocompatibility of sol-gel-derived titania-silica coated NiTi intermedular nails
- [18] Tremblay, M., Les Implants Medicaus en Alliage a Memorie de Forme, Memry http://www.memry.com/sites/default/files/documents/NiTiNol_Industrial_Applications_SMST00.pdf (11/07/2013).
- [19] Ming H. Wu and L. Mcd. Schetky. (2000), "Industrial Applications For Shape Memory Alloys", Proceedings of the International Conferance on Shape Memory and Superelastic Technologies, P.171-182, Pacific Grove, California, USA.
- [20] An. Sung-Min, Ryu. J, Cho. Maenghyo, Cho. Kyu-Jin (2012) Engineering Design Frsamework for a Shape Memory Alloy Coil Spring Actuator Using a Static Two-State Model, Smart Material and Structures, IOP Publishing, UK and USA.
- [21] Duering, M. K., (1999) Shape Memory Actuators for Automotive Applications.
- [22] <http://www.packratworkshop.com/hotwater7.html> (23.03.2014)
- [23] <http://www.packratworkshop.com/hotwater7.html> (23.03.2014).

- [24] <http://www.smaterial.com/SMA/wing/wing.html> (23.03.2014).
- [25] <http://www.explainthatstuff.com/how-shape-memory-works.html>. (23.03.2014)
- [26] Şafak, K.K., Adams, G.G.,(2002), Modeling and Simulation of an Artificial Muscle and its Application to Biomimetic Robot Posture Control, Robotics and Autonomous Systems, V. 41, n. 4, pp. 225-243.
- [27] Toptaş, E. (2006), Şekil Hafızalı Metaller ile Aktüatör Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, TÜRKİYE
- [28] Hyoung Yoll Jun. (2004), Development Of a Fuel-Powered Compact SMA (Shape Memory Alloy) Actuator System.
- [29] Clausing, D., (1994) Total Quality Development, ASME Press, New YORK, USA.
- [30] Wolf A., Steinmann R., Schunk H., Grippers in Motion the Fascination of Automated Handling Tasks Wolf
- [31] Sung-Min An., Cho Ryu. J., Maenghyo, Cho. Kyu-Jin: (2012), Engineering Design Framework for a Shape Memory Alloy Coil Spring Actuator Using a Static Two-State Model, Smart Material and Structures, IOP Publishing, UK and USA
- [32] <http://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=44afc7d3c6eb4829bc2df27884fd2d6c&ckck=1>
(24.03.2014).

ÖZGEÇMİŞ

20 Mayıs 1988 tarihinde Ankara’ da doğdu. Lise öğrenimini 2006 yılında, Ankara Türk Telekom Anadolu Teknik Lisesi Elektronik bölümünde tamamladı. 2011 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mekatronik Eğitimi bölümünden bölüm birincisi olarak mezun oldu. Mezuniyetinin akabinde, bir yıl süresince, Ankara AKANA Mühendislik firması AR-GE biriminde Tasarım Mühendisi olarak görev yaptı. 2012 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2013 yılında ELKON Beton Santralleri firması, İnovasyon biriminde Makine Mühendisi olarak, altı ay süresince görev yaptı. Şu anda Gedik Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Mekatronik Bölümü’ nde Öğretim Görevlisi olarak görev almaktadır.