MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELDEKİ KAS HASTALIKLARININ TEDAVİSİ İÇİN TEKSTİL TABANLI YUMUŞAK AKTÜATÖR GELİŞTİRİLMESİ

ELİF DEDE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Polimer Bilimi ve
Teknolojisi Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Emine Dilara KOÇAK

EŞ-DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Aslı TUNÇAY ATALAY

İSTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELDEKİ KAS HASTALIKLARININ TEDAVİSİ İÇİN TEKSTİL TABANLI YUMUŞAK AKTÜATÖR GELİŞTİRİLMESİ

ELİF DEDE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Polimer Bilimi ve
Teknolojisi Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Emine Dilara KOÇAK

EŞ-DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Aslı TUNÇAY ATALAY

İSTANBUL, 2021

MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES

DEVELOPMENT OF TEXTILE-BASED SOFT ACTUATOR FOR THE TREATMENT OF MUSCLE DISEASES AT HAND

ELİF DEDE

MASTER THESIS
Department of Polymer Science and Technology

Thesis Supervisor
Prof. Dr. Emine Dilara KOÇAK

Thesis CO- Supervisor
Asts. Prof. Aslı TUNÇAY ATALAY

ISTANBUL, 2021

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum tez çalışmasında, öncelikle, bilgisini, tecrübesini, anlayışını ve anaç yapısını gördüğümden beri kendisi ile çalışmak istediğimi belirttiğim an itibari ile çalışacağım konuyu bulmamda bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Emine Dilara KOÇAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla beni dinleyip yol gösteren eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Aslı TUNÇAY ATALAY'a teşekkür ederim ve yine otomasyon sistemi gerektiren deneylerim için yardımını esirgemeyen, sabırla, yılmadan, bıkmadan destek olan Arş. Gr. Mehmet Fatih ÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

Yüksek Lisans uygulama çalışmalarım sırasında gerek fikir ihtiyacımı gerekse kimyasal malzeme ihtiyacımı tereddüt etmeden gideren, kapılarını çaldığım zaman beni asla geri döndürmeyen hocalarım Prof.Dr.Memet Vezir KAHRAMAN ve Doç.Dr. Seyfullah MADAKBAŞ hocalarıma da teşekkürü borç bilirim.

Ve tabii ki canım ailem, hayatımın her safhasında bana olan inancınız ve maddi-manevi her türlü desteğiniz için size minnettarım.

Bu çalışma, 845683 sözleşme numaralı RoboTexTherapy projesi kapsamında Maria Sklodowska-Curie Bireysel Burs Programı ile Avrupa Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

RoboTexTherapy Marmara ekibi 22-27 Eylül 2020 tarihlerinde Gaziantep'de düzenlenen TEKNOFEST 2020 Havacılık ve Teknoloji Festivali kapsamında, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK MAM) tarafından düzenlenen Biyoteknoloji ve İnovasyon Projeleri Yarışması'nda ikincilik ödülü kazanmıştır.

MART,2021 **ELİF DEDE**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET v
ABSTRACT vi
SEMBOLLER vii
KISALTMALAR viii
ŞEKİL LİSTESİ x
TABLO LİSTESİ xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ 1
2.GENEL BİLGİLER 3
2.1. Mekanoterapi Nedir? 3
2.1.1. Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarında Mekanoterapi Uygulamaları 3
2.2. Robotik Nedir? 6
2.2.1.Robotik Sistemler 6
2.2.1.1.Robotik Sistemlerde Aktüatörler 7
2.2.1.2.Robotik Sistemlerde Sensörler 8
2.2.2. Robotik Çeşitleri 9
2.2.2.1.Yumuşak Robotikler 9
2.3. Polimer Filmler 10
2.3.1. Polimer Filmlerin Kullanım Alanları 11
2.4.Sıvılarda Kaynama Noktası 14
2.4.1. Sıvılarda Kaynama Noktasını Etkileyen Faktörler 14
2.4.1.1. Sıcaklık 14
2.4.1.2. Atmosfer Basıncı 14
2.4.1.3. Buhar Basıncı 15
2.4.2. Aktüatörleri İşlevselleştirmek İçin Kullanılan Düşük Kaynama Noktalı Sıvılar 15
2.4.2.1. Aseton 15
2.4.2.2.Etanol 16
2.5. Elektro-iletken ve Isıtmalı Tekstiller 16
2.6. Literatür Taraması 17
3. MATERYAL ve METOT 25
3.1. Materyaller 25
3.1.1. Elektro-İletken Kumaş 25
3.1.2. LM35 Sıcaklık Sensörü 25

3.1.3. Termal Yapıştırıcı 26
3.1.4. Aktüatör 27
3.1.4.1. Membran Film 27
3.1.4.2. Aktüatörleri İşlevselleştiren Sıvılar 27
3.1.4.2.1. 3M™ Novec™ 7100 28
3.1.4.2.2. 3M™ Novec™ 7000 28
3.2. Test Cihazları 31
3.2.1. Isıtıcılar 31
3.2.1.1. Isı Pedi 32
3.2.1.2. Isı Pres Makinesi 32
3.2.2. Güç Kaynağı 33
3.2.3. Multimetre 34
3.2.4. Termal Kamera 35
3.2.5. Yük Hücreli Terazi 36
3.3. Testler 36
3.3.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması 37
3.3.1.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Aktüatör Üretimi 40
3.3.1.2. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Basınç-Zaman Performans Testi 41
3.3.1.3. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Maksimum Güç Testi 42
3.3.1.4. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Sıcaklık/Aktüatör Testi 43
3.3.1.5. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Uzun Dönem Dayanım Testi 44
3.4. Metot 44
3.4.1. Eldiven Prototipinin Üretimi 44
4. SONUÇLAR 46
4.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Sonuçları 46
4.1.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Basınç-Zaman Performans Testi Sonuçları 47
4.1.2. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Maksimum Güç Testi Sonuçları 48
4.1.3. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Sıcaklık/Aktüatör Testi Sonuçları 49
4.1.4. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Uzun Dönem Dayanım Testi Sonuçları 51

5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....54
6.ÖNERİLER.....56
KAYNAKLAR.....57
ÖZGEÇMİŞ.....63

ÖZET

ELDEKİ KAS HASTALIKLARININ TEDAVİSİ İÇİN TEKSTİL TABANLI YUMUŞAK AKTÜATÖR GELİŞTİRİLMESİ

Bilim ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak akıllı ve ısıtan tekstillerle ilgili olarak son yıllarda yoğun bir şekilde araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapılmaktadır. Bu yenilikçi tekstil ürünleri giyilebilir elektronikler, medikal, spor ve askeri alanlar gibi birçok farklı alanda inovatif ürünlerin geliştirilmesi noktasında kullanılmaktadırlar. Medikal anlamda genellikle sağlık durumunu izleme, teşhis-tanı ve tedavi gibi ana başlıklar altına alabileceğimiz giyilebilir teknolojiler farklı uygulamalar ile karşımıza çıkmaktadır. Bu ürünler, medikal tedavi başlığı altındaki fizik tedavide ise mekanoterapi yönteminde yumuşak doku manipülasyonu amacı ile kullanılmaktadır. Mekanoterapi kemik-eklem, kas veya sinir hastalıklarının, mekanik aletler yardımıyla yaptırılan hareketlere dayalı bir fizik tedavi şeklidir. Mekanoterapinin amacı vücudun tümünü veya belli bölgelerini ve çeşitli eklemleri dış etkilerle hareketlendirip tedavilerini gerçekleştirmektir. Jean Martin Charcot'un Parkinson hastaları için geliştirdiği ve yine Marx Herz'in geliştirdiği Fauteuil Trepidant tedavisi mekanoterapinin örneklerindendir. Kas rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılan metotlardan biri de mekanoterapi ile tedavi yöntemidir.

Bu çalışmanın amacı kas rahatsızlığına sahip hastaların tedavisinde kolaylık sağlamak adına mekanoterapi uygulaması yapacak yumuşak aktüatörlere sahip bir eldiven üretmektir. Yapılan bu çalışma multidisipliner olup kimya, fizik tedavi, polimer, tekstil, malzeme, mekanik, elektronik ve kontrol bilimlerini yakından ilgilendirmektedir. Tedavilerde aktüatör ve sensör uygulamalı ısıtan tekstiller büyük rol oynamıştır. Çalışmada izlenilen yol literatür taraması, malzeme seçimi, aktüatör tasarımı, tasarımı yapılan aktüatörün tekstil ve sensör ile entegre edilip özelliklerinin kontrol edilmesi ve eldiven formuna dönüştürülmesidir. Daha önce ısıtma özellikli birçok eldiven geliştirilmesine rağmen vücut sıcaklığına yakın düşük kaynama noktasına sahip kimyasal sıvı içerikli masaj yapabilen eldiven üretimi henüz yapılmamıştır. Çalışmamızın özgün yönü, aktüatörün ısı karşısında hareket yeteneğinin arttırılması tasarımında vücut ısısına yakın düşük kaynama sıcaklığına sahip sıvıların membran içerisinde hapsedilerek kullanılması üzerinedir.

MART,2021 **ELİF DEDE**

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF TEXTILE-BASED SOFT ACTUATOR FOR THE TREATMENT OF MUSCLE DISEASES AT HAND

In parallel with the developments in science and technology, intensive research and development activities have been carried out in recent years regarding smart and heating textiles. These innovative textile products are used in the development of innovative products in many different fields such as wearable electronics, medical, sports, and military fields. In the medical sense, wearable technologies that can be classified under main headings such as health monitoring, diagnosis, and treatment are encountered with different applications. These products are used with the purpose of soft tissue manipulation in physical therapy under the heading of medical therapy and in mechanotherapy method. Mechanotherapy is a form of physical therapy for bone-joint, muscle or nerve diseases based on movements made with the help of mechanical devices. It is a fact that the goal of mechanotherapy is to mobilize all or certain parts of the body and various joints with external effects and to perform their treatment. The Fauteuil Trepidant treatment, developed by Jean Martin Charcot for Parkinson's patients and also by Marx Herz for nervous patients, is one of the examples of mechanotherapy. One of the methods used in the treatment of cardiovascular disorders is mechanotherapy.

The aim of this study is to produce gloves with soft tissue manipulation for convenience in the treatment of patients with cardiovascular disease. This study is multidisciplinary and is closely related to chemistry, physical therapy, polymer, textile, materials, mechanics, electronics and control sciences. The route to be followed in the working has been terminated by literature review, material selection, activator design, integrating and controlling of the properties of the actuator with the textile and sensor and converting it into the glove form. Heating textiles applied actuator and sensor have been played a big role in the study. The path followed in the study is the literature review, material selection, actuator design, integrating the designed actuator with textile and sensor, checking its properties, and converting it into glove form. Although many gloves with heating properties have been developed before, the glove which can massage including chemical liquid content with a low boiling point close to body temperature has not been produced yet. The original aspect of our study is about the use of liquids with a low boiling temperature close to body temperature by being confined within the membrane in the design of increasing the motion capability of the actuator against heat.

MARCH,2021 **ELİF DEDE**

SEMBOLLER

A : Amper

Atm : Atmosfer

cc : Santimetreküp

cm : Santimetre

cm^2 : Santimetrekare

cm^3 : Santimetreküp

d : Gün

g : Gram

hr : Saat

in^2 : İnç kare

m^2 : Metreküp

mA : Miliamper

MHz : Megahertz

mg : Miligram

ml : Mililitre

mm : Milimetre

mm^2 : Milimetrekare

mV : Milivolt

N : Newton

s : Saniye

s^2 : Saniyekare

V : Volt

µ : Mikron

µA : Mikroamper

µm : Mikrometre

Ω : Ohm

^oF : Fahrenheit

^oC : Derece santigrat

KISALTMALAR

ABS : Akrilonitril Bütadiyen Stiren

AC : Alternatif Akım

ADC : Analog Dijital Convertör

BN : Bağıl Nem

BOPP : Çift Eksenli Yönlendirilmiş Polipropilen

CPM : Sürekli Pasif Hareket Ettirme Cihazı Uygulamaları

DABA : 4,4'-Diaminobenzanilide

DC : Doğru Akım

DNA : Deoksiribo Nükleik Asit

EMA : Esnek Mikro Aktüatör

ESB : Elektrostatik Boşalma

EVOH : Etilen Vinil Alkol

GAXG : Geniş Açılı X-ışını Kırınım Grafikleri

HDPE : Yüksek Yoğunluklu Polietilen

IPA : İzopropil Alkol

KIP : Küresel Isınma Potansiyeli

LDPE : Düşük Yoğunluklu Polietilen

MDTS : Mikrodalga Destekli Termal Sterilizasyon

MEMO : 3-Metakriloksi Propil Trimetoksisi-şerit

MEMS : Mikro Elektro-Mekanik Sistemler

OGO : Oksijen Geçirgenlik Oranı

OİH : Oksijen İletim Hızının

OPET : Oriente Polyester

OPP : Oriente Polipropilen

OPS : Oriente Polistiren

OTP : Ozon Tüketme Potansiyeli

OTM : Ozon Tüketen Madde

PA : Poliamid

PAN NF : Poliakrilonitril Nano Fiber

PE : Polietilen

PEEK : Polietereterketon

PET : Polietilen Tereftalat

PI : Oransal-İntegral Denetleyici Kontrol Döngüsü Yöntemi

PID : Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici Kontrol Döngüsü Yöntemi

PMDA : Piromellitik Dianhidridin

PTFE : Politetrafloroetilen

PYK : Pnömatik Yapay Kas

PYÖS : Pozitron Yok Olma Ömrü Spektroskopisi

SBGO : Su Buharı geçirgenlik Oranı

SBİH : Su Buharı İletim Hızı

TEOS : Tetraetil Ortosilikat

TGSAA : Termal Olarak Güçlendirilmiş Soft Akışkan Aktüatörler

TPE : Termoplastik Elastomer

TPU : Termoplastik Poliüretan

TPP : Tatlı Patates Püresi

UV : Ultraviyole Işını

VO_2 : Vanadyum Oksit

YDM : Yumuşak Doku Manipülasyonu

2D : İki Boyutlu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Çalışmanın iş akış şeması……..2
Şekil 2.1. Mekanoterapi ile etkileşim döngüsü……..4
Şekil 2.2. Isı, titreşim ve mekanik masajın etkisini birleştiren "Vibroextensor" cihazı……5
Şekil 2.3. Kas kasılmalarını ve eklem bozukluğunu düzelten mekanoterapi cihazı……5
Şekil 2.4. Felç sonrasında rehabilitasyon amaçlı üretilen pnömatik eldiven…….5
Şekil 2.5. Robotik mekanizmalar için esnek bir mikro aktüatör uygulaması……..…17
Şekil 2.6. Ahtapottan esinlenilen yumuşak robot kolu……18
Şekil 2.7. PneuArm şişirilebilir manipülatör prototipi……18
Şekil 2.8. Yumuşak ve Sürekli Deforme Olabilen 2D Robotiğin Tasarımı……19
Şekil 2.9. Yumuşak robotik eldiven ……...20
Şekil 3.1. Statex gümüş kaplamalı örme kumaş……25
Şekil 3.2. LM35 sıcaklık sensörü……...26
Şekil 3.3. PA/PE film yapısı……...27
Şekil 3.4. Aktüatörleri işlevselleştiren sıvılar……28
Şekil 3.5. Isı pedi……32
Şekil 3.6. Isı Pres Makinesi……33
Şekil 3.7. Keithley 2231A-30-3 Manuel üç kaynaklı DC güç kaynağı……...34
Şekil 3.8. Proskit MT-1280 Dijital multimetre……...35
Şekil 3.9 Testo-885 Termal kamera……35
Şekil 3.10. Yük hücreli terazi……36
Şekil 3.11. Isı pedi üzerinde malzeme tayini için ısıtılan aktüatörler……38
Şekil 3.12. Novec™ sıvıları ile su karışımı……39
Şekil 3.13. Novec™ 7000 ve Novec™ 7100 sıvılarının karışımı……...39
Şekil 3.14. Tekli aktüatör üretiminde kumaşın iletkenliğinin ölçülmesi……40
Şekil 3.15. Tek aktüatör üretimi……41
Şekil 3.16. Basınç-zaman testi için kurulan deney düzeneği……42
Şekil 3.17. Termal kamera ile numunelerin sıcaklıklarının ölçülmesi……43
Şekil 3.18. Isıtma işlemi ile şişmeye başlayan aktüatör……43
Şekil 3.19. İletken kumaşın eldivene yapıştırılma şekli……..44
Şekil 3.20. Kumaş cepçiğin içine yerleştirilen aktüatör……45

Şekil 3.21. Aktüatörler ve sensörün entegre edildiği eldiven ve iç kısmı……45
Şekil 4.1. İki ay sonra kendiliğinden şişmiş olan aktüatörler…….47
Şekil 4.2. Farklı sıvılar içeren aktüatörlerin basınç-zaman grafiği……..47
Şekil 4.3. Aktüatörlerin zamana bağlı sıcaklık verileri……...50
Şekil 4.4. %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 enjekte edilmiş aktüatörün kaynama anındaki alan-sıcaklık grafiği…….51
Şekil 4.5. Aktüatörün ilk 250 s'deki şişme-sönme performansı…….52
Şekil 4.6. Aktüatörün son 250 s'deki şişme-sönme performansı……52
Şekil 4.7. %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 sıvı içerikli aktüatörün 1000 kere şişirilmesi ve söndürülmesi ile gözlenen hareketlere ait grafik……...53

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı plastik filmler için oksjen geçiş oranı……..…….….13
Tablo 2.2. Farklı plastik filmler için su buharı geçiş oranı……..…..13
Tablo 3.1. Kullanılan membranlar ve özellikleri.…….…....37
Tablo 3.2. Kulllanılan sıvıların kaynama noktaları……..38
Tablo 4.1. Şişme-inme performansları sonrası gramaj ölçüm sonuçları..46
Tablo 4.2. Aktüatörlerin basınç/kuvvet- zaman grafiğindeki eğimlere göre regresyon verileri……..……...48
Tablo 4.3. Aktüatörlerin maksimum güç verileri…….49
Tablo 4.4. Aktüatörlerin sıcaklık- zaman grafiği eğimine göre regresyon verileri……..50

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Gün geçtikçe teknoloji daha çok gelişmekte ve bu gelişim ile birlikte her seferinde insan yaşamını kolaylaştırmak için daha da ileri gidilmektedir. Sağlık sektörü de bu inovasyonlardan büyük oranda etkilenmektedir. Sağlık alanında, üzerinde ağırlıklı olarak çalışmalar yapılan alanlardan biri de fizik tedavi ve rehabilitasyon bölümüdür.

Fiziksel tedavi ve rehabilitasyon bölümü hareket sorunları başta olmak üzere kas-iskelet sistemi problemlerini yakından incelemektedir [1]. Son zamanlarda gerek iş yerinde gerekse normal hayatta bilgisayar, telefon vs. kullanımı dolayısıyla eldeki sinir ve kas sıkışmaları sıklıkla karşılaşılan problem olmuştur [2]. Bu hastalığın tedavisi için fizik tedavi yöntemlerinde biri olan mekanoterapi ile ve rehabilitasyon ünitelerinde hastalar tedavi edilmektedir. İnsan vücudu, dışardan hücreleri doğrudan etkileyen mekanik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Bu kuvvetin her uygulanışı ile hücreler tedavi için uyarılıp tepki vermektedir. Bahsedilen bu işlemler hastane ortamında kablo yığınından oluşan karmaşık yapıya sahip devasa pnömatik makinelerle yapılmaktadır [3].

Kas iyileştirme için elektriksel uyarı veya pnömatik sıkıştırma kullanan bazı YDM(Yumuşak doku manipülasyonu) cihazları vardır [4,5]. Ancak, YDM'de kullanılan pnömatik kompres cihazları oldukça yaygın bir yer tutmaktadır. Öte yandan, elektronik tekstiller ve giyilebilir fonksiyonel teknolojiler son yıllarda önemli bir pazar haline gelmiştir ve tekstil malzemeleri geleneksel tekstil konseptine kıyasla daha işlevselleşmiştir. Bu yeni teknolojinin bir tanımı: "Çevreden uyaranları algılayan, bunlara tepki veren ve işlevselliklerin tekstil yapısına entegrasyonu ile uyum sağlayabilen tekstillerdir" [6,7].

Pnömatik kompres cihazları kas dokusunu manipüle etmek amacıyla geliştirilmiştir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Pnömatik kompres cihazları şişirilebilirlerdir ve tedavi edilecek olan uzvun etrafına yerleştirilir. Bu cihazlar da vücuttaki mekanik hareketleri arttırmak için kullanılmaktadır. Ancak bu sistemler sınırlı kontrol yöntemlerine sahiptir ve uygulama esnasında vücuda uygulanan güç izlenememektedir [8]. Ayrıca ana dezavantajlarından bir diğeri ise mekanoterapinin uygulanması için sert ve hacimli pompalama sistemlerine ihtiyaç duymalarıdır. Cihazın arkasında bulunan mekanik parçaları ve ağırlığı da bunlara eklenebilir. Bu dezavantajlar cihazın ve hastanın hareketliliğini önemli ölçüde kısıtlamaktadır.

Bu çalışmada istenilen basınç seviyesini oluşturmak, kolaylıkla gözlemlemek ve cihazı

hafifletmek için sıvı kullanılarak aktive edici tekstillerden faydalanılmak istenmiş ve Termal Olarak Güçlendirilmiş Soft Akışkan Aktüatörler(TGSAA) kullanılması fikri doğmuştur. Geçmiş çalışmalara bakıldığında iletken tekstillerin ısıtma elemanı olarak kullanılacağı görülmüştür [9,11].

Bu çalışmasının amacı ise günümüzde yaygın bir kullanım alanına sahip olan pnömatik mekanoterapi cihazlarına alternatif olarak hafif, hastaneye bağlı kalmadan mobilite halinde dahi kullanılabilen, pnömatik cihazlara kıyasla daha basit bir yapıya sahip olan tekstil tabanlı yumuşak aktüatör geliştirmektir. Şekil 1.1'deki planlama çerçevesinde polimer filmler, sensörler, elektro-iletken kumaşlar ve düşük kaynama noktalı kimyasal sıvıların etkileri değerlendirilip prototip ürün olan eldiven elde edilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışmanın iş akış şeması

2.GENEL BİLGİLER

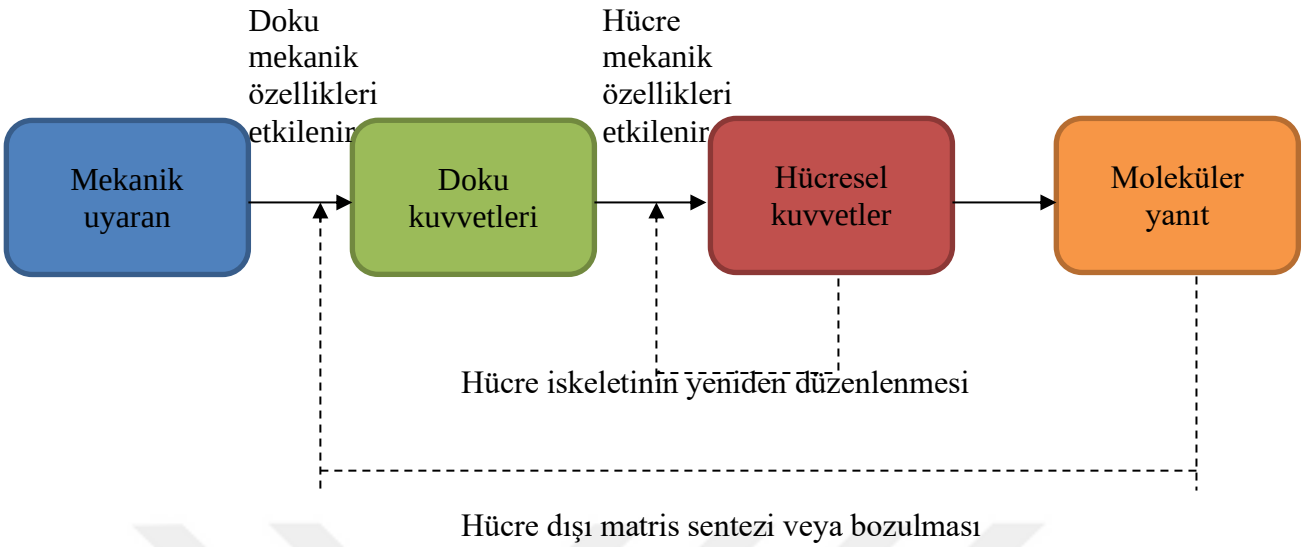
2.1. Mekanoterapi Nedir?

Mekanoterapi vücudun hasar görmüş yerlerini düzeltmek veya sorunlu bölgeyi iyileştirmek için rehabilite etmeye veya geliştirmeye yönelik olan dokuya mekanik bir uyaran sağlayan, herhangi bir uyarıcının terapötik kullanımını tanımlayan bir fizik tedavi yöntemidir. Huang ve arkadaşlarının mekanoterapi üzerine yapmış oldukları çalışmada bu terimi "Hasarlı dokulardaki hasarı azaltan ve tersine çeviren veya sağlıklı dokuların homeostazını(dengeleşimini) moleküler, hücresel veya doku düzeyinde mekanik yollarla destekleyen terapötik müdahaleler" olarak ifade etmiştir [3].

2.1.1. Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarında Mekanoterapi Uygulamaları

Kas hastalığı, kas kütlesi kaybına ve giderek artan güçsüzlüğe neden olan bir grup hastalığa verilen isimdir. Genler mutasyona uğrar ve bozulmalar meydana gelir. Bu bozulmalar nedeniyle bu hastalıklar erken yaşta ortaya çıkar ve dikkat edilmediği ve tedavi edilmediği takdirde kötüleşip ilerleyebilmektedir. Bu hastalıkların tedavisinde ilaç kullanımının yanı sıra fizik tedavi yöntemi olan mekanoterapiden de faydalanılmaktadır [12].

Vücuttaki herhangi bir dokuya kuvvet uygulandığı takdirde, bu kuvvet temas ettiği dokuyu uyarır. Örneğin, zıpladığımızı düşünürsek bacak kaslarımız tıpkı bir yay gibi gerilip kasılır. Bu gerginlik ise tendonları çeker ve geri iter, kemikler dikey yönlü baskıyı absorbe eder ve bu şekilde bükülmeler gerçekleşir. Bacaktaki bu hücreler uygulanan kuvvet altında deforme olacaktır ve söz konusu bu durum da hücre içindeki ve hücreler arasındaki bir dizi olayı uyaracaktır. Sonuç olarak, bu kasların, tendonların ve kemiğin yapısındaki hücreler, DNA(Deoksiribo Nükleik Asit) transkripsiyonunu tetikleyecek ve bu sayede yeni kas, tendon ve kemik oluşturacaktır. Mekanoterapi esnasında etkileşimin nasıl gerçekleştiği Şekil 2.1'de şematize edilmiştir.



Şekil 2.1. Mekanoterapi ile etkileşim döngüsü[13]

Mekanoterapi adı altında kullanılan tedavi yöntemleri ise şunlardır;

• Traksiyon (aletle bel-boyun çekme tedavileri)

• Masaj

• Manipulasyon

• CPM (Sürekli Pasif Hareket Ettirme Cihazı Uygulamaları)

• İzokinetik test ve rehabilitasyon sistemleri

• Aralıklı pnömatik kompres cihazı uygulamaları [13]

Mekanoterapi dışarıdan bir baskıyla dokuyu uyarmaya yönelik bir tedavi şekli olduğu için, bu tedavi şeklinde basıncın miktarı önemlidir.

$$P = \frac{mg}{A} \qquad \text{(Denklem 2.1)}$$

Bu denklemde P basıncı(kPa), m dokuya baskı uygulandıkça anlık olarak ölçülen kuvvet kütlesini(g), g yer çekimi ivmesini ve A ise kuvvetin uygulandığı baskı alanını temsil etmektedir.



Şekil 2.2. Isı, titreşim ve mekanik masajın etkisini birleştiren "Vibroextensor" cihazı [14]



Şekil 2.3. Kas kasılmalarını ve eklem bozukluğunu düzelten mekanoterapi cihazı [15]



Şekil 2.4. Felç sonrasında rehabilitasyon amaçlı üretilen pnömatik eldiven [16]

Bu tedavi yöntemlerinde Şekil 2.2 ve 2.3'te görüldüğü gibi sıklıkla pnömatik kompres cihazlarının kullanıldığı bilinmektedir. Şekil 2.4'teki çalışmada ise felç sonrası hastanın fiziksel tedavisi için kullanılması amaçlanarak, poliüretandan da faydalanılan, kablo karmaşası yaşanılabilecek pnömatik bir eldiven üretilmiştir. Fakat bunların uygulamalarının ağır olması, normal yaşamda hareket halinde kullanılamaması, tedavi sırasında hastaneye veya yatağa bağlı kalınması gibi birçok dezavantajı olduğu görülmektedir. Dezavantajları minimize etmek veya tamamen ortadan kaldırmak amacıyla yakın tarihte robotik biliminden faydalanılarak "yumuşak robotik" dediğimiz giyilebilir ve taşınabilir çalışmalara yer verilmiştir.

2.2. Robotik Nedir?

Robotik, bilgisayar bilimi ve mühendisliği ara yüzünde robotların tasarımını, yapımını, işletimini ve kullanımını içeren disiplinler arası bir araştırma alanıdır. Robotik biliminin amacı, insanlara günlük yaşamlarında yardım edebilecek akıllı makineler tasarlamaktır. Bu bilim dalı çerçevesinde, insanların yerini alabilen ve insani eylemleri taklit edebilen makineler geliştirir. Robotlar birçok amaç için pek çok durumda kullanılabilir, ancak günümüzde çoğu tehlikeli ortamlarda (radyoaktif malzemelerin incelenmesi, bomba algılama ve devre dışı bırakma dahil), üretim süreçlerinde veya insanların hayatta kalamayacağı yerlerde (örneğin uzayda, su altında) kullanılmaktadır. Robotlar herhangi bir biçimde olabilir ancak bazıları görünüşte insanlara benzer şekilde üretilmektedir. Bu tür robotlar yürümeye, kaldırmaya, konuşmaya veya diğer insan faaliyetlerini taklit etmeye çalışır [17].

Günümüzde robotik dalı, teknolojik gelişmeler devam ederken hızla büyüyen bir alandır; yeni robotları araştırmak, tasarlamak ve inşa etmek ister yerel ister ticari veya askeri olarak çeşitli pratik amaçlara hizmet etmektedir. Pek çok robot, dengesiz harabelerde hayatta kalanları bulmak, bombaları etkisiz hale getirmek ve gemi enkazlarını ve mayınları keşfetmek gibi insanlar için tehlikeli olan işleri yapmak amacı ile üretilmektedir. Tamamen insanların yaşamını kolaylaştırmaya yönelik olan bu bilim dalından ayrıca bilim, matematik, tıp, mühendislik ve teknoloji de yardım alınmaktadır [18].

2.2.1.Robotik Sistemler

Robotik sistemler, üretim uygulamalarını otomatikleştirmenin yanı sıra işçilik miktarını ve üretim maliyetlerini ve yapılan işlemle ilişkili zamanı azaltmanın bir yoludur. Bu sistemler

günümüzde hemen hemen her imalat sanayinde kullanılmaktadır. Yüzyıllardır imalatta el emeği hakimiyet kurarken, süreçte devrim yaratan robotik sistemlerdir. Üreticiler artık robot sistemleri sayesinde, kısa sürede yüksek kaliteli ürün üretebilmektedir. Üç tür robotik sistem vardır. Bunlar, manipülasyon robotik sistemi, mobil robotik sistem ile veri toplama ve kontrol robotik sistemidir.

Manipülasyon robot sistemi, imalat endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Bu sistemler, değişen serbestlik derecelerine sahip olan ve 4 ila 6 eksenli olan birden fazla robot kolundan oluşur. Bu sisteme göre tasarlanan kaynak, malzeme taşıma ve malzeme kaldırma uygulamaları dahil olmak üzere birçok farklı işlevi yerine getirebilirler.

Mobil robotik sistem biraz daha farklıdır. Bu sistem, öğeleri bir yerden diğerine taşıyan otomatik bir platformdan oluşur. Bu robot sistemleri, alet ve yedek parça taşımak için imalatta yoğun bir şekilde kullanılırken, tarım sektöründe de ürünlerin taşınması için kullanılmaktadır. Bunlar, yüzme ve uçma kabiliyetlerinin yanı sıra yerde hareket edebilmeleri nedeniyle birkaç farklı endüstri tarafından da kullanılabilir.

Veri toplama ve kontrol robotik sistemleri, çeşitli sinyaller için verilerin toplanması, işlenmesi ve iletilmesi amacıyla kullanılır. Ek olarak, iş ve mühendislik için yazılımda da kullanılırlar. Mobil robotik sistemlerin çoğu bu sistemlerden gelen sinyalleri kullanabilir.

Endüstriyel robotlar, otomobil ve imalat endüstrileri dahil olmak üzere çeşitli yerlerde bulunur. Üretim dünyasının dışında robotlar başka önemli işleri de yapar. Tehlikeli görev hizmetinde, CAD / CAM tasarımında ve prototiplemesinde, bakım işlerinde, yangınlarla mücadelede, tıbbi uygulamalarda, askeri savaşta ve çiftlikte kullanılabilirler [19].

Robotların kontrol, veri toplama, manipülasyon gibi işlevleri yerine getirebilmeleri için aktüatör ve sensör gibi önemli donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2.1.1.Robotik Sistemlerde Aktüatörler

Aktüatör, bir sistemi veya mekanizmayı hareket ettiren veya kontrol eden bir tür motordur. Bir kontrol sisteminin, bir işlemi veya görevi gerçekleştirmek için etki ettiği bir mekanizmadır. Bir aktüatörü aktifleştirmek için, bir kontrol sinyali ve bir enerji kaynağı gereklidir. Kontrol sinyali nispeten düşük enerjidir ve elektrik akımı veya voltajı, hidrolik veya pnömatik basınç veya insan gücü de olabilir. Ana enerji kaynağı elektrik akımı, pnömatik basınç veya hidrolik basınç olabilir. Bir aktüatör, kontrol için sinyali aldığında, kaynağın enerjisini mekanik harekete dönüştürerek tepki verir. Pnömatik, hidrolik, elektrik ve yumuşak robotik alanlarında, bir otomasyon veya otomatik kontrol şeklidir [20].

Aktüatörler için MEMS (Mikro-elektro mekanik sistemler) cihazları vs. düşündüğümüzde akla devasa motorlar gelebilir ama son zamanlarda bunların aksine mobilite halinde konfor içinde giyilebilen, rahatlıkla taşınılabilen, esnek ve hafif ürünler tasarlanmaktadır.

2.2.1.2.Robotik Sistemlerde Sensörler

Sensörler, bir robotun algısal sistemidir ve temas, mesafe, ışık, ses, gerilim, dönüş, manyetizma, koku, sıcaklık, eğim, basınç veya yükseklik gibi fiziksel büyüklükleri ölçer. Anlamlı bilgiler sağlamak için robotun bilgisayar beyni aracılığıyla işlenmesi gereken ham bilgileri veya sinyalleri sağlar. Robotlar, çevrelerindeki ortamı anlayabilmeleri ve topladıkları bilgilere göre davranışlarında değişiklikler yapabilmeleri için sensörlerle donatılmıştır.

Sensörler, bir robotun yeterli bir görüş alanına, bir algılama aralığına ve güç ve boyut sınırları dahilinde gerçek veya gerçek zamanlı olarak çalışırken nesneleri algılama yeteneğine sahip olmasına izin verebilir. Ek olarak, bir robotun sesi, hareketi veya konumu algılamak için bir akustik algılayıcı, ısı kaynaklarını algılamak için kızılötesi algılayıcılar, temas algılayıcıları, dokunma hissi vermek için dokunsal algılayıcılar veya optik / görme algılayıcıları olabilir. Çoğu çevresel durum için, bir robot uygun bir sensörle donatılabilir. Bir robot ayrıca sensörlerle kendini izleyebilir.

Aşağıda algılama alanlarına göre sensör çeşitleri verilmiştir.

- Termal sensörler (Sıcaklık ve ısı akışı)
- Manyetik sensörler (Geçirgenlik, alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment)
- Kimyasal sensörler (Oksidasyon/redaksiyon, yoğunlaşma, reaksiyon hızı, içerik, pH miktarı)
- Işıma sensörleri (Faz, yoğunluk, polarizasyon, dalga boyu, yansıtma, gönderme)
- Mekanik sensörler (Alan, uzunluk, miktar, kuvvet, kütlesel akış, basınç, tork, hız, pozisyon, ivme, ses dalga boyu ve yoğunluğu)
- Elektriksel sensörler (Endüktans, kapasitans, voltaj, direnç, akım, dielektrik katsayısı, polarizasyon, frekans, elektrik alanı) [21]

2.2.2. Robotik Çeşitleri

Robotlar kendi içinde birçok kritere göre sınıflandırılabilse de en belirleyici faktör hareket mekanizmalarıdır. Hareket mekanizmaları göz önüne alındığında robot türleri on kısma ayrılır. Bunlar sabit robotlar, tekerlekli robotlar, ayaklı robotlar, yüzen robotlar, uçan robotlar, sürü robotlar, modüler robotlar, mikro robotlar, nano robotlar ve yumuşak robotlardır [22].

2.2.2.1.Yumuşak Robotikler

Gün geçtikçe üretilen her ürünün yeni versiyonu ile karşılaşılmaktadır. Bunun sebebi eski üründeki eksiklikleri giderip, ürünü insan yaşamı için daha kaliteli hale getirmektir. Teknoloji sektöründe de süreç bu şekilde ilerlemektedir. Bu ilerlemenin son yıllarda en belirgin olarak izlendiği bilim, "Yumuşak robotikler" ile karşımıza çıkan robotik bilimidir. Biyoloji, her zamankinden daha yetenekli makineler üreten bilim insanları için, uzun zamandır bir ilham kaynağı olmuştur. Bulunduğu çevreyle etkileşimde daha az karmaşıklık sergileyen ve genellikle basitlik arayan biyolojik sistemlerde yumuşaklık ve vücut uyumu sıklıkla göze çarpmaktadır [23,24].

Biyolojik sistemleri incelemekten çıkarılan derslerin birçoğu şimdi bizim ve başka insanların "Yumuşak robotlar" olarak adlandırdığı yeni bir makine sınıfının tanımıyla sonuçlanıyor. Geleneksel, sert gövdeli robotlar sınırlı uyarlana bilirlikleri ile günümüzde üretimde yaygın olarak kullanılmaktadır ve bunlar genellikle tek bir görevi verimli bir şekilde gerçekleştirmek için özel olarak programlanabilmektedirler. Fakat bunlar birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Geleneksel çalıştırma mekanizmalarındaki uyum eksikliği, bu sorunun bir parçasıdır.

Yumuşak robotlar, makineler ve insanlar arasındaki boşluğu doldurma fırsatı sunar. Sert gövdeli robotların aksine, yumuşak robotlar, çarpışmadan kaynaklanan enerjinin çoğunu deforme edebilen ve emebilen, doğası gereği yumuşak ve/veya genişletilebilir malzemelerden (örneğin silikon kauçuklar) yapılmış gövdelere sahiptir.

Bu robotlar, biyolojik sistemleri taklit edip sert gövdeli muadillerine kıyasla nispeten büyük sayıda serbestlik derecesine yol açan kas benzeri harekete geçirme işlemlerini gerçekleştirebilir [25].

Yumuşak robotlar benzersiz uyum, hassasiyet ve mobilite halinde de atiklik sağlama potansiyeline sahiptir. Bunlara ek olarak;

- Yüksek kavisli bükme ve bükme kabiliyetiyle hareket etmeyi vaat etmektedirler ve bu nedenle dar alanlarda kullanılabilirler [26].
- Kolayca şekillenebilmektedirler. Böylece biyolojik hareketleri taklit edebilmektedirler [27].
- Uygun hareket kullanarak şekilleri ortama adapte edilebilmektedir ve bu şekilde nesneler manipüle edilebilmektedir veya engebeli arazide hareket edilse dahi direnç gösterebilmektedir [28,29].
- Esneklikleri sebebiyle balığın kaçarken yaptığı manevralar gibi hızlı ve çevik manevralar yapılabilir [30].

2.3. Polimer Filmler

Polimer Filmler 0,2–0,3 mm kalınlığa kadar sürekli polimer katmanlarıdır. Daha kalın polimerik malzeme katmanlarına "yaprak" denir. Polimer filmler, doğal, yapay ve sentetik polimerlerden yapılır. İlk grup, proteinler, doğal kauçuk ve selülozdan yapılan filmleri içerir. Bu gruptaki en yaygın film selofandır. İkinci, daha büyük bir grup, yapay polimerlerden yapılmış filmlerden veya doğal polimerlerin kimyasal işleminden elde edilen ürünlerden oluşur. Bu grup, selüloz esterlerden ve ayrıca önceden hidroklorinasyona tabi tutulmuş doğal kauçuktan üretilen filmleri içerir. Sentetik polimerlerden yapılan polimer filmler en büyük grubu oluşturur. Bu grubun en yaygın temsilcileri, poliolefinler, polivinil klorür, poliamidler, poliviniliden klorür, polistiren, polietilen tereftalat ve poliimidlere dayalı filmlerdir.

Polimer filmlerin üretimi için başlıca endüstriyel yöntemler, bir polimer eriyiğinin ekstrüzyonu, bir polimer çözeltisinin cilalanmış bir metal yüzey üzerine dökülmesi (bazı durumlarda, polimerin çözeltisi bir çökeltme teknesine sokulur), polimerin cilalı bir yüzey üzerine dökülmesi ve perdahlamadır.

Bir polimer eriyiğinin ekstrüzyonu, muamele edilecek malzemelerin viskoz akış durumuna geçiş üzerine termal bozunmaya uğramadığı durumlarda uygundur. Sentetik polimerlerin çoğu bu yöntemle film haline getirilir. Ekstrüzyon için dairesel veya yarık başlı ekstrüderler kullanılır. İlk durumda, polimer eriyiği, filmin iki eksenli bir yönelimine yol açan, sıkıştırılmış hava ile şişirilen bir tüp şeklinde ekstrüde edilir. Şişirilmiş boru işlemi veya şişirilmiş-kabarcıklı ekstrüzyon işlemi, polimer filmlerin üretimi için en verimli ve ekonomik yöntemdir. Yarık kalıp yöntemi veya yarık ekstrüzyon yöntemi, yönlendirilmemiş (izotropik), tek eksenli yönlendirilmiş ve çift eksenli yönlendirilmiş

polimer filmlerin oluşumunu mümkün kılar, bunlar bazı durumlarda daha sonra rulolar tarafından düzleştirilir. Bu yöntem, yüksek kaliteli bir yüzeye sahip tek tip kalınlıkta bir filmin gerekli olduğu durumlarda tercih edilir. Polietilen tereftalat gibi kristalleşen polimerlerden yapılan filmler, oryantasyondan sonra kristalleşmeye uğrar; bu, filmin gücünü büyük ölçüde artırır.

Polimerin bir solüsyonunu soğuk veya ısıtılmış cilalı bir yüzeye dökerek polimer filmlerin üretimi, ilk endüstriyel yöntemlerden biri olmasına rağmen şimdi sınırlı öneme sahiptir. Esas olarak selüloz ve türevlerinin filmlerinin yanı sıra sentetik polimerlerden yapılan bazı filmler için (örneğin, poliimidler, polivinil alkol ve polikarbonat) kullanılır. Yöntem, solüsyonun hazırlanmasından, bir tamburun veya sonsuz metal bandın pürüzsüz, cilalı yüzeyine dökülmesinden ve çözücünün polimerden çıkarılmasından oluşur. Elde edilen film, iç gerilmeleri gidermek için ısıl işleme tabi tutulur ve gerektiğinde tek eksenli veya çift eksenli yönlendirme uygulanır.

Polimer dispersiyonları kullanan polimer filmlerin üretim teknolojisi, bir polimer çözeltisinin dökümü yöntemine oldukça benzer. Dispersiyon genellikle koloidal bir sistemdir (örneğin, lateks). Dispersiyon ortamı su ve dağılmış faz polimer partiküllerinden oluşur. Bu yöntem, özellikle kauçuktan sıhhi ürünler üretmek için kullanılır. Perdahlama, esas olarak polivinil klorür filmlerin üretiminde kullanılır.

Çoğu durumda, sentetik polimerlerden yapılan filmler, doğal ve yapay polimerlerden yapılan filmlere göre fizyomekanik ve kimyasal özellikler bakımından üstündür ve endüstriyel üretimleri sürekli artmaktadır [31].

2.3.1. Polimer Filmlerin Kullanım Alanları

Polimer filmler esas olarak gıda ürünleri, tüketim malları ve sıvı ve dökme kimyasal ve petrokimya ürünleri için ve ayrıca ev amaçlı ambalaj malzemeleri olarak kullanılır. Ambalaj filmlerinin üretiminde kullanılan malzemeler arasında polietilen, polipropilen, selüloz ve esterleri, polivinil klorür, polistiren, poliamidler ve polyesterler bulunmaktadır. Çok tabakalı film, film kâğıdı ve film-folyo malzemeler ile köpüklü filmler kendilerine has özelliklere sahiptir.

Elektriksel olarak yalıtkan polistiren, poliolefin, polietilen tereftalat, polikarbonat, politetrafloroetilen ve poliimid filmler, tel ve kabloların yalıtımında, kondansatörlerin üretiminde ve elektrik makinelerinde yuva kaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polimer filmler, hareketli görüntü ve hareketsiz film için temel veya alt tabaka olarak ve ses

ve video kaydı ve oynatma için manyetik bantlar olarak kullanılır. Çift eksenli olarak yönlendirilmiş ve kristalize edilmiş selüloz asetat ve polietilen tereftalat filmler bu amaç için en uygun olanıdır. Sera çerçeve ve çatıların üretiminde ve çıkarılabilir koruyucu kaplamaların üretiminde atmosfere dayanıklı şeffaf polimer filmler (polietilen, poliamid, polivinil klorür ve polietilen tereftalat filmler ve bazı durumlarda cam elyafı veya sentetik elyaftan kumaş ile güçlendirilmiş filmler) kullanılmaktadır.

Su yalıtım filmleri inşaatta ve yapay gölet ve kanal yapımında kullanılmaktadır. İyon değişim filmleri, maddelerin elektrodiyaliz yoluyla ekstraksiyonu, suyun tuzunun giderilmesi, organik bileşiklerin ve bunların solüsyonlarının (örneğin, şeker solüsyonlarının) saflaştırılması ve solüsyonların konsantrasyonu ve çeşitli bileşiklerin ayrılması ve tanımlanması için kullanılır. Polaroid filmler, sürücülerin karşıdan gelen araçların farlarından etkilenmesini önlemek, çeşitli sinyalizasyon sistemleri için ve stereoskopik filmlerin üretimi ve gösterimi için ışık filtreleri olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [31].

Aktüatörlerle ilgili yapılan çalışmalarda ve yumuşak robot yapımında membran olarak kullanılan polimer filmler gerek polimerlerin esnek yapısı gerek hafifliği sebebiyle büyük önem taşımaktadır. Hafiflik ve esnekliğin yanı sıra kullanılan polimerde aranılan temel özelliklerden biri de geçirgenlik düzeyi olabilmektedir. Plastik filmlerden gaz geçişinin sınırlandırılması, gıdanın ve esnek elektronik cihazların raf ömrünü uzatmak için önemlidir [32]. Kimyasal geçirgenlik, sıvıların ve gazların, zarın herhangi bir boşluk veya kusur kısmından geçmeden, malzemenin moleküler seviyesinde membran malzemelerden geçmesi işlemidir [33]. Kimyasal bariyer membranın geçirgenlik özelliği ile alakalıdır ve bu da Tablo 2.1 ve 2.2'deki gibi polimerden polimere farklılık göstermektedir.

Tablo 2.1. Farklı plastik filmler için oksjen geçiş oranı [34]

Film Tipi	**OGO, 73°F (23°C), 0% BN**	
	(cc/100 in^2/24 hr)	**(cc/m^2/24 hr)**
Aşağıdaki OGO(Oksijen Geçirgenlik Oranı)'lar, 1 mil'de görüntülenen dökme malzeme özellikleridir. OGO'yu farklı bir kalınlıkta yaklaştırmak için göstergeye (mil cinsinden) bölebilirsiniz.		
EVOH*	0.005 -.12	0.08 - 0.19
Biax Nylon-6	1.2 - 2.5	18.6 -39
OPET	2.0 - 6.0	31 - 93
OPP	100 – 160	1550 - 2500
Cast PP	150 – 200	2300 - 3100
HDPE	150 – 200	2300 - 3100
OPS	280 – 400	4350 -6200
LDPE	450 – 500	7000 - 8500

Tablo 2.2. Farklı plastik filmler için su buharı geçiş oranı[34]

Film Tipi	**SBGO @ 100°F (38°C), 90% BN 1 mil film için**	
Biax OPP	0.25 - 0.40	3.9 - 6.2
HDPE	0.3 - 0.5	4.7 - 7.8
Cast PP	0.6 - 0.7	9.3 - 11
Biax PET	1.0 - 1.3	16 - 20
LDPE	1.0 - 1.5	16 - 23
EVOH*	1.4 - 8.0	22 - 124
OPS	7.0 – 10	109 - 155
Biax Nylon 6	10.0 -13	155 - 202

Membranlar için, polimer filmler yoluyla oksijen taşınmasını önlemek veya en aza indirmek çok önemlidir. Pakete oksijen girişini önlemek için veya paket üst boşluğunda yüksek oksijen seviyelerini korumak için yüksek bir oksijen bariyeri gerekli olabilmektedir. Bir polimer filmin bariyer özelliklerini iyileştirmek için aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli

teknikler kullanılabilir: (a) farklı filmlerden çok katmanlar kullanmak; (b) düşük bariyerli bir film üzerine yüksek bir bariyer tabakasının kaplanması; veya (c) polimer matriks içine nanokil veya nano elyaf gibi nano-liflerin dahil edilmesi [35].

2.4.Sıvılarda Kaynama Noktası

Kaynama, bir sıvının kaynama noktasına kadar ısıtıldığında buhara dönüşmesi işlemidir. Sıvı fazdan gaz fazına geçiş, sıvının buhar basıncı sıvı üzerine uygulanan atmosfer basıncına eşit olduğunda meydana gelir. Kaynama fiziksel bir değişimdir ve işlem sırasında moleküller kimyasal olarak değişmez. Bir sıvının atomları veya molekülleri, sıvı fazdan gaz fazına geçecek kadar yayılabildiğinde, kabarcıklar oluşur ve kaynama meydana gelir. Kaynama noktası, belirli bir sıvı için kaynamanın meydana geldiği sıcaklıktır. Örneğin, su için 1 atm basınçta kaynama noktası 100ºC'dir. Bir sıvının kaynama noktası sıvının sıcaklığına, atmosfer basıncına ve buhar basıncına bağlıdır. Atmosferik basınç, sıvının buhar basıncına eşit olduğunda kaynama başlayacaktır [36].

2.4.1. Sıvılarda Kaynama Noktasını Etkileyen Faktörler

2.4.1.1. Sıcaklık

Kaynama meydana geldiğinde, hareketli moleküller gaza dönüşür, yayılır ve kabarcıklar oluşturur. Bunlar yüzeye çıkar ve atmosfere girer. Bir sıvıdan gaza geçmek için enerji gerekir. Ayrıca sıvıyı terk eden gaz molekülleri, sıvıdan termal enerjiyi uzaklaştırır. Bu nedenle kaynama sırasında sıvının sıcaklığı sabit kalır. Örneğin su kaynarken 100ºC'de (1 atm veya 101,3 kPa basınçta) kalacaktır [36].

2.4.1.2. Atmosfer Basıncı

Bir sıvının üzerindeki gazın basıncı, kaynama noktasını etkiler. Açık bir sistemde buna atmosferik basınç denir. Basınç ne kadar büyükse, sıvıların kaynaması için o kadar fazla enerji gerekir ve kaynama noktası o kadar yüksek olur. Açık bir sistemde bu, sıvının yüzeyi ile çarpışan ve basınç oluşturan hava molekülleri olarak görselleştirilebilir. Bu basınç, sıvı boyunca iletilir ve kabarcıkların oluşmasını ve kaynamanın gerçekleşmesini zorlaştırır. Basınç düşürülürse, sıvı, bir gaz fazına geçmek için daha az enerji gerektirir ve daha düşük bir sıcaklıkta kaynama meydana gelir [36].

2.4.1.3. Buhar Basıncı

Buharlaşma yoluyla bir sıvıyı terk eden moleküller, hava molekülleri ile çarpışırken yukarı doğru bir basınç oluşturur. Bu yukarı doğru itme, buhar basıncı olarak adlandırılır. Farklı maddelerin farklı buhar basınçları ve dolayısıyla farklı kaynama noktaları vardır. Bu, moleküller arasındaki farklı moleküller arası kuvvetlerden kaynaklanmaktadır. Bir sıvının buhar basıncı, atmosfer tarafından sıvıya uygulanan basınç miktarını düşürür. Sonuç olarak, yüksek buhar basınçlı sıvılar daha düşük kaynama noktalarına sahiptir. Bir sıvının ısıtılması ve daha fazla molekülün atmosfere girmesine neden olarak buhar basıncı artırılabilir. Buhar basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu noktada kaynama başlayacaktır. Gerçekte, herhangi bir dış basınç olmaksızın, sıvı moleküller yayılabilir ve bir sıvıdan bir gaz fazına geçebilir. Gaz, sıvıda kabarcıklar halinde yüzeye çıkacak ve atmosfere salınacaktır [36].

2.4.2. Aktüatörleri İşlevselleştirmek İçin Kullanılan Düşük Kaynama Noktalı Sıvılar

Sıvılarda Başlık 2.4.1'de bahsedildiği üzere kaynama noktasını etkileyen faktörlere göre her sıvının kaynama noktası aynı değildir. Örneğin, asetik asit 118 °C'de kaynarken, aseton 56,1 °C'de kaynamaktadır.
Aşağıda düşük kaynama noktasına sahip sıvılara örnekler verilmiştir.

2.4.2.1. Aseton

Aseton, dimetil keton ya da propanon, $(CH_3)_2CO$ formülüne sahip organik bir kimyasaldır. Yanıcı, zehirli olmayan ve keskin kokulu renksiz bir sıvıdır. Ayrıca, asetonun buharı da yanıcıdır. Kapalı formülü C_3H_6O olan asetonun kaynama noktası 56^oC'dir. Kauçuk, yağ gibi maddelerin solventi olarak kullanılan aseton, boya, kloroform, izopren, iyodoform ve boroform gibi ürünlerin elde edilişinde öncü madde olarak kullanılır. Toksisitesi üzerinde çalışmalar yapılan bu kimyasal solunduğunda ya da yutulduğunda düşük akut ve kronik toksisite göstermektedir. Asetonu nörotoksik, kanserojen ya da mutajen etkisi bulunmamaktadır. Ancak aseton tahriş edicidir, bu yüzden aseton buharları çok solunmamalıdır.

2.4.2.2.Etanol

Diğer adı “etil alkol” olan etanolun moleküler formülü: C_2H_6O, C_2H_5OH veya EtOH olarak farklı şekillerde ifade edilir. Etanol saf hali ile berrak, renksiz ve kendine has bir kokuya sahip sıvıdır. Etanolün yoğunluğu 20^oC'lik bir ortamda 0,789 g/cm^3'tür. Kaynama noktası 78,4 ^oC, donma noktası da -114,5 ^oC'dir. Parlama noktası 9-11 °C aralığındadır. Buharı havadan ağır olduğu için zemine çöker. Çok yanıcı bir kimyasal olan etanolün taşınması esnasında gerekli güvenlik tedbiri ve ambalajlama yapılmalıdır.

2.5. Elektro-iletken ve Isıtmalı Tekstiller

Son yıllarda dünyada giyim ve tekstil sanayi, geleneksel tekstil ürünlerinin dışında bilgiyi algılayabilen ve bununla beraber ürüne farklı özellikler kazandıran akıllı tekstillere doğru kaymaya başlamıştır. İletken tekstiller, akıllı tekstiller içerisinde ileri teknoloji kullanılan ve katma değeri en yüksek alanlardan birisidir [6].

Yaklaşık on beş yıl önce akıllı tekstiller kavramının ortaya çıkmasıyla iletken tekstillere olan ilgi yeniden canlanmıştır. Akıllı tekstiller, çevresel koşulları veya uyaranları algılayabilen ve bunlara tepki verebilen tekstiller olarak tanımlanmaktadır. Böyle bir sistemi oluşturmak için genellikle elektro aktivite gerektiren önemli işlevler arasında algılama, çalıştırma, güç sağlama, iletişim, veri işleme ve ara bağlantı yer alır. Elektrikli bileşenlerin minyatürleştirilmesi ve yeni malzeme geliştirme, elektro aktivitenin tekstillerle birleştirilmesini sağlamıştır. Çoğu tekstil ürünü çok düşük iletkenliğe sahip polimerlerden oluşur ve bu da takdir edilmeyen statik yapışmaya ve elektrostatik boşalmaya (ESB) yol açar. Bu özelliklerden kaçınmak için, tekstillerin iletkenliği partikül, elyaf veya iplik olarak metaller ve karbon bileşikleri eklenerek artırılır [37].

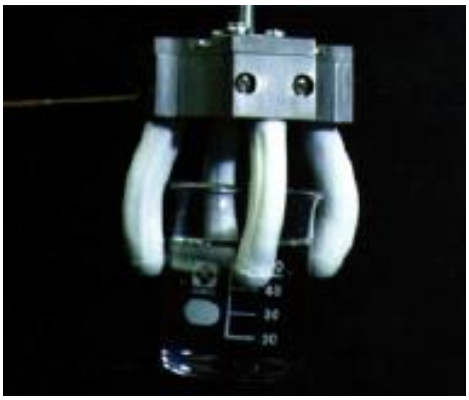
Günümüzde ısıtma özelliğine sahip akıllı tekstiller de mevcuttur. Bu ısıtan tekstiller iyi ısı direncine ve termal olarak iletken özelliklere sahiptir. Ayrıca farklı geometrilere uyarlanabilirler ve aynı zamanda esneklik sundukları söylenebilir. Isı üretimi için, ara bağlantıların her iki taraftan da temas ettirilmesi gerekir. Elektriksel olarak iletken iplikler, normal tekstil iplikleri ile örme kumaşlar oluşturmak için işlenir. Bu, elastik, elektrikle ısıtılabilir tekstil yüzeylerini oluşturur. Böylece yüzeye temas etmek mümkün olur [38].

2.6. Literatür Taraması

Güncel bir konu olan yumuşak robotikler üzerine yoğun araştırılmalar yapılmaya başlanmıştır. Robotikler üzerine genelde pnömatik sistemlerle çalışılmaktayken insanlar, bu sistemlerin dezavantajlarıyla karşılaşmıştır. Hız kontrolünün zor olması, hava sızıntısı meydana gelmesi, gürültü kirliliği yaşatması, kontrolünün zor olması, hassasiyetinin az olması, filtreleme ve kurulama gerektirmesi, kablo yığınları içermesi, büyük ve ağır olması sebebiyle bu kompleks yapıların karmaşasından ve hantallığından kaçan insanlar, bu alanda daha basit ve işlevsel çalışmalar yapmayı hedeflemiştir.

Aşağıda yumuşak robotikler ile ilgili birkaç çalışmaya örnek verilmiştir;

- Suzumori ve arkadaşları yaptığı çalışmada elektropnömatik (veya elektrohidrolik) bir sistem tarafından tahrik edilen esnek bir mikro aktüatör (EMA) geliştirmiştir. Üç derecelik serbestlik, yalpalama ve esneme derecesine sahip olduğundan parmaklar, kollar veya bacaklar gibi robotik mekanizmalar için uygundur. Aktüatör fiber takviyeli kauçuktan yapılmıştır ve mekanizması çok basittir, geleneksel bağlantı mekanizmaları olmayan minyatür robotların tasarlanmasını sağlamaktadır. Seri olarak bağlanmış EMA'lar, minyatür bir robot manipülatörü görevi görür. Bu robot için kinematik ve kontrol algoritması sunulmuştur. Paralel olarak birleştirilen EMA(Esnek Mikro Aktüatör)'lar, her bir EMA bir parmağı temsil edecek şekilde çok parmaklı bir robot eli olarak Şekil 2.5'deki gibi işlev görmektedir [39].



Şekil 2.5. Robotik mekanizmalar için esnek bir mikro aktüatör uygulaması [39]

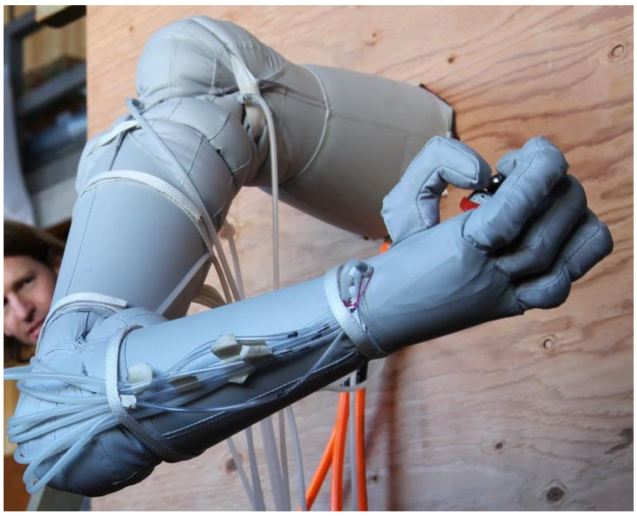
- Laschi ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada ahtapottan esinlenip bir robot kolu prototipi tasarlamıştır. Üretilen Şekil 2.6'daki prototip, biyolojik modelin morfolojisini ve uzunlamasına ve enine kasların genişçe düzenlemesini sunmaktadır. Tasarımın çalıştırılması, kablolarla (uzunlamasına) ve şekil hafızalı

alaşım yaylarla (enine) elde edilmektedir. Robot kolu kasılmaları birleştirip ve ahtapot kolunun suda uzama, bükülme ve eğilme gibi temel hareketlerini gösterebilmektedir [40].



Şekil 2.6. Ahtapottan esinlenilen yumuşak robot kolu [40]

- Sanan ve arkadaşları çalışmalarında şişirilebilir robotlar için pnömatik burulma aktüatörleri üzerine yoğunlaşmıştır ve Şekil 2.7'deki prototipi üretilmiştir. Çalışmada, dönme hareketi oluşturmak için çeşitli yeni akışkan aktüatörleri tartışılmıştır. Doğrusal hareket oluşturabilen pnömatik yapay kaslar (PYK'lar) oldukça kapsamlı bir şekilde araştırılıp geliştirilirken, dönme hareketi sağlayabilen basit aktüatörler geliştirmek için çok az çaba harcanmaktadır. Bu tür bir dönme hareketini elde etmek için çeşitli olası tasarımlar ve ilkeler ve her bir aktüatörün hareket ve tork özelliklerini anlamak için eşlik eden analizlere yer verilmiş ve prototip aktüatörlerle yapılan deneylerle, her tasarımın performans beklentileri doğrulanmıştır [41].



Şekil 2.7. PneuArm şişirilebilir manipülatör prototipi [41]

- Marchese ve arkadaşları yumuşak ve son derece uyumlu bir 2D(İki boyutlu) manipülatörün tasarımını, imalatını, kontrolünü ve deneysel doğrulamasını yapıp kol tasarlamıştır. Kol, iki yönlü akışkan elastomer çalıştırıcılar kullanılarak çalıştırılan çeşitli gövde bölümlerinden oluşur ve yeni bir kompozit kalıplama işlemi kullanılarak imal edilir. Her bir yumuşak ve son derece uyumlu gövde segmenti için eğriliğin kapalı döngü kontrolünü sağlamak için kademeli bir PI(Oransal-İntegral Denetleyici Kontrol Döngüsü Yöntemi) ve PID(Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici Kontrol Döngüsü Yöntemi) hesaplaması ve yeni akışkanlı tahrik silindirleri kullanılmıştır. Ayrıca, kolun ileri ve ters kinematiğini parça bazında sabit eğrilik süreklilik manipülatörleriyle tutarlı bir şekilde hesaplamak için algoritmalar geliştirilmiştir. Bu hesaplama ve kontrol sistemleri, bu son derece uyumlu robotun yörüngeleri otonom olarak takip etmesini sağlamaktadır. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi altı bölümden oluşan bir robotla yapılan deneysel sonuçlar, yumuşak ve oldukça uyumlu bir manipülatörün kontrollü hareketinin mümkün olduğunu göstermektedir [42].



Şekil 2.8. Yumuşak ve Sürekli Deforme Olabilen 2D Robotiğin Tasarımı [42]

- Polygerinos ve arkadaşları fonksiyonel kavrama patolojileri olan bireyler için el rehabilitasyonunu güçlendirmek üzere tasarlanan taşınabilir, yardımcı, yumuşak bir robotik eldiven üzerine çalışmıştır. Robotik eldiven, sıvı basıncı altında belirli bükülme, burulma ve uzatma yörüngelerini indükleyen fiber takviyeli kalıplanmış elastomerik bölmelerden oluşan yumuşak aktüatörler kullanılmıştır. Bu yumuşak aktüatörler, bireysel parmakların hareket aralığını eşleştirmek ve desteklemek için mekanik olarak programlanmıştır. Basınçlandırıldığında önemli güç üretme kabiliyetini göstermiştir ve çalıştırılmadığında düşük empedans sergilemiştirler.

Şekil 2.9'daki yumuşak robotik eldiveni çalıştırmak için, bir kontrol donanım sistemi tasarlanılmış ve hidrolik aktüatörlerle uyumlu basınç sensörleri ve basıncı düzenlemek için bir kapalı döngü kontrolörüne yer verilmiştir. Mevcut cihazlarla karşılaştırıldığında, yumuşak robotik eldiven, taşınabilir bel kemeri paketi ve açık avuç içi tasarımı sayesinde kullanıcı özgürlüğünü ve bağımsızlığını artırma potansiyeline sahiptir [43].



Şekil 2.9. Yumuşak robotik eldiven [43]

Aktüatör tasarımını yaparken göz önünde bulundurabileceğimiz çalışmalar sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- Jr Hung Tsai ve Liwei Lin'e ait "Termal Kabarcıklı Aktüve Edilen Mikronozullu Difüze Edici Bir Pompa" başlıklı çalışmada mikropompalardan yola çıkılmaktadır. Mikropompalar mikro elektro-manyetik sistemlerde kimyasal, biyolojik veya tıbbi sistemler için küçük ve belirli sıvıların hacmini kullanma gibi geniş uygulamalara sahiptir. Bu çalışmanın fabrikasyonunda silikon substrat üzerinde işlemler yapılmıştır. Silikon substrata iki aşamalı uygulama yapılarak fotoresist ile sonunda dirençli ısıtıcılar elde edilmiştir. Bizim için önemli olan kısmı bu çalışma sırasında kullanılan aktüatördür ve pompalama sıvısı olarak izopropil alkol(IPA) kullanılmıştır. Çünkü kaynama sıcaklığı düşük ve geçişi kolaydır. Ara bağlantı olarak poliimid tüpleri kullanılmıştır ve IPA'nın aktüasyon darbesiyle aynı frekansta salındığı gözlenmiştir. IPA'nın doldurulduğu iki adet şırınga pompaya bağlanmış ve her iki şırınga da aynı yönde ayarlanmıştır. Pompalama akış hızı, önceden tüpe yerleştirilen hava boşluğunun ortalama akış hızından ölçülmüştür. 1 cm'lik mesafeye giden hava kabarcığının ortalama hızından da hacim akış hızı verileri hesaplanmıştır. Pompalama basıncı, maksimum yüksekliğe ulaştığında çıkıştaki poliimid tüpündeki sıvı seviyesindeki değişimden bulunmuştur.

Özetle, kullanılan düşük kaynama noktalı sıvının akış düzenlemesinin yardımıyla termal kabarcıklı pompalama prensipleri gerçekleştirilmiştir [44].

- Albert K. Henning'e ait "Termopnömatik Aktüatörler ve Mikrovalfler İçin Kapsamlı Model" başlıklı araştırmada termopnömatik aktüatörler için kapsamlı bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Termopnömatik aktüatörler çeşitli MEMS uygulamalarında özellikle mikrovalflerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte aktüatörün yatışkın durum ve geçici cevabını tüm önemli yapısal ve sınırlı koşullarına bağlayan nispeten basit bir model eksiktir. Bu sebeple kapsamlı model sunulmaya çalışılmıştır. Bu model sıvıdan buhara, buhardan sıvıya ve tekrar geri dönüşümlü faz değişimini de içerecek şekilde yapılmıştır. Yine bu literatürde de sistemlerde kullanılan sıvının kaynama noktasının öneminden, faz değiştirirken uyguladığı basınçtan, boşluk hacminden ve akış hızından bahsedilmiştir [45].
- Jian-Gang Weng ve arkadaşlarına ait "Mikro Damlacıklar ve Mikro Kabarcıklarda Ara Yüzey Belirsizlikleri" başlıklı yapılan bu araştırmada damlacık ve kabarcık boyutu ile yüzey arasındaki ihtilaflar için bilgiler verilmeye çalışılmıştır. Örneğin; yüzey geriliminin belirsizliği… Bu belirsizlikleri açığa çıkarmak için molekül bilgisine sahip olunması gerektiği ve sadece bu bilgiler sonucunda deneysel olarak değil buna ek olarak simülasyon ile de sistemin incelenmesi gerektiğinden söz edilmiştir [46].
- Dong Jin Kang ve arkadaşlarına ait "Nano Özellikli Termo-duyarlı Aktüatörlere Dayalı Programlanabilir Soft Robotikler" başlıklı çalışmada bizim de projemizde olduğu gibi soft robotikler üzerine araştırmalar mevcuttur. Membran olarak PAN NF(poliakrilonitril nano fiber), sıvı olarak ise etanol kullanılmıştır. Önce nano fiber için elektrospinning işlemi yapılmıştır. Daha sonra PAN NF'nin yüzey morfolojisi ve kalınlığı belirlenmiş, fiberin özellikleri kontrol edilmiş, aktüatörün mekanik özellikleri dijital kuvvet ölçer ile ölçülmüştür. Düzenek bizimki gibi sıvıyı membran arasına alarak dizayn edilmiştir ve bunların faz değişimi sırasında gerilme ve bükülmeleri incelenmiştir.

  Özetle şu çıkarım yapılmıştır; böyle bir sistemin çalışması elastomerde tutulan etanolün mikro kabarcık oluşumuna dayanmaktadır. Bununla birlikte böyle bir yaklaşım, nihayetinde sisteme kısıtlamalar getirebilen ve çalıştırma derecesini sınırlandıran kabarcık boyutları üzerinde kontrol eksikliği ile sınırlıdır [47].
- Kevin Wang ve arkadaşlarına ait "Katı Bir Motor Olarak VO_2(Vanadyum Oksit) ile

Mikroaktüasyon Performans Sınırları" başlıklı makaleye konu olan çalışmada mega boyuttaki buhar motorunun mikro ölçeğe küçültülmesi üzerine karşılaşılan problemlerden yola çıkılmıştır. Bu problemlerden biri de mekanizmaların büyük genliği ve yüksek aktüasyonu bir arada sağlamamasıdır. Buna çözüm olması adına 68^{o}C'de kaynayan VO_2(Vanadyum Oksit)'nin faz geçişine dayanan, büyük bir değişim gerilimi gösteren ve faz geçişinde büyük hacim değişimini tetikleyen mikro boyutlu katı motor üzerine araştırma yapılmıştır [48].

- Hongzhang Wang ve arkadaşlarına ait "Büyük Çapta Dönüştürülebilir Sıvı-Metal Kompozitler" başlıklı çalışmada da soft robotik sistemleri geliştirmek için çalışma yapılmıştır. Amaç tüm parçaların birlikte gerilip dönüşebileceği ve bunları yaparken zorluk yaşamayacakları bir sistem geliştirmektir. Bu işlemi sıvı-metal kompozitleri kullanarak yapmışlardır. Kullanılan sıvı etanol, sıvıyı kaplayan membran ise silikondur. Isıtma işlemi ile elastomerin etanollü ve etanolsüz olarak gerilmesi, şişmesi gibi mekanik özellikleri incelenip karşılaştırılmıştır. Bu incelemeyi kablosuz ısıtma sistemi ile gerçekleştirip olumlu sonuçlar almışlardır [49].
- S.A. Whalen ve arkadaşlarına ait "Mikrokapiler Çalıştırılan Sıvı-Buhar Faz Değişimli Bir Membran Aktüatörün Karakterizasyonu ve Modellemesi" başlıklı çalışma da mikro elektro-manyetik sistemlerdeki aktüasyon mekanizmalarının çeşitliliğinden dem vurularak bunların avantajları-dezavantajları görülünce çözüm arayışına çıkılmış ve böyle bir araştırma yapılmıştır. Kullanılan membran silikon nitrit olup membranlar arası boşluk çift fazlı 3M^{TM} PF-5060 DL karışımı olan bir sıvıyla doldurulmuştur. Hem statik hem de dinamik olmak üzere iki ayrı inceleme yapılmıştır. Verimlilik değerinin yaptıkları çalışmada diğerlerine oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [50].

Aşağıda polimerler filmlerdeki gaz geçirgenliği üzerine yapılmış araştırmalara yer verilmiştir;

- Patel ve arkadaşlarının yapmış olduğu "Mikrodalga Destekli Termal Sterilizasyon ile Sterilize Edilmiş Yüksek Bariyerli ve Oksijen Tutucu Ambalajında Tüketime Hazır Makarna ve Peynirlerin Raf Ömrünün Belirlenmesi" adlı çalışmaya göre yeni oksijen tutucu ve metal oksit kaplı yüksek bariyerli polimer filmlere doldurulmuş yemeye hazır makarna ve peynir, pilot ölçekli 915 MHz mikrodalga destekli termal sterilizasyon sisteminde (MDTS) işlenmiştir. Ayrıca, paketleme performansını karşılaştırmak için alüminyum folyo ambalajlar da Allpax otoklav sisteminde

işlenmiştir. Farklı oksijen ve su buharı geçiş hızlarında ambalajlanan makarna ve peynirlerin fizikokimyasal ve duyusal özellikleri değerlendirilerek 37.8 ° C'de 6 ay süreyle saklanmıştır. Bulgular, MDTS işleminden sonra oksijen iletim hızının (OİH) 2–7 kat ve su buharı iletim hızının (SBİH) 2,5–24 kat arttığını göstermektedir. Raf ömrü boyunca polimerik ve alüminyum folyo ambalajlar arasında karşılaştırılabilir sonuçlar gözlemlenmiştir. Bu, oksijen tutucu ve yüksek bariyerli ambalajların askerler ve astronotlar için uzatılmış raf ömrü ile yenmeye hazır yemekler için kullanılabileceğini göstermektedir [51].

- Zhang ve arkadaşları araştırmalarında, paket bariyer özelliklerinin mikrodalga destekli termal sterilizasyon (MDTS) ile işlenmiş C vitamini takviyeli tatlı patates püresinin (TPP) raf ömrü üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Sonuçlar, hem işleme hem de depolama sırasında TPP renginde bir değişiklik göstermektedir. TPP'deki C vitamini MDTS sırasında 201.7 ± 4.7'den 185.8 ± 15.6 mg / 100 g'ye düşerken, oksijen bariyeri ve sıcaklığa bağlı olarak 9-18 ay sonunda 13.6 ± 4.1 ve 10.0 ± 0.3 mg / 100 g'ye kadar düşmüştür. İşlemden ve depolamadan sonra toplam-karoten içeriği, işlemden öncekine göre biraz daha yükselmiştir. Günde 0,3 cc / m^2 'den daha düşük oksijen iletim oranlarına (OİO'lar) sahip poşetler, diğer poşetlere göre daha yüksek renk, C vitamini ve tahmini raf ömrü göstermektedir [52].
- Liu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada 4,4'-diaminobenzanilide (DABA) ve piromellitik dianhidridin (PMDA) dipolimerizasyonu ile yüksek performanslı bir poliimid hazırlanmıştır. Sert düzlemsel kısımların ve amid gruplarının ortaya çıkması nedeniyle, poliimid, yüksek cam geçiş sıcaklıkları (435^{o}C), mükemmel termal stabilite, termal genleşme katsayısı gibi olağanüstü özellikler göstermektedir. En önemlisi, poliimid oksijen iletim hızı ile mükemmel bariyer özellikleri sergiler. Geniş açılı X-ışını kırınım grafikleri (GAXG), pozitron yok olma ömrü spektroskopisi (PYÖS) ve moleküler dinamik simülasyonları, mükemmel bariyer özelliklerinin temel olarak yüksek kristallik, yüksek düzeyde düzlem içi kristal yönelim ve düşük serbest hacme atfedildiğini ortaya koymaktadır. Yüksek bariyerli ve termal olarak kararlı poliimid, mikroelektronik kapsülleme ve yüksek dereceli paketleme endüstrisi alanlarında çekici bir potansiyel uygulama olasılığına sahiptir [53].
- Rezaei ve arkadaşları yazmış oldukları makalede, sol-jel bazlı hibrit UV(Ultraviyole Işın) ile kürlenmiş kaplamanın öncül oranının ve inorganik ve organik faz içeriğinin,

çift eksenli yönlendirilmiş polipropilen (BOPP) substratların su ve oksijen bariyerliği üzerindeki etkisini karşılaştırmaya çalışmıştır. Bu amaçla, farklı oranlarda akrilat monomer ve oligomerler ile birlikte tetraetil ortosilikat (TEOS) ve 3-metakriloksi propil trimetoksisi-şerit (MEMO) kullanılmıştır. Su buhar iletim hızı (SBİH) ve oksijen iletim hızı (OİH) ölçülmüştür ve morfolojilere dayalı olarak tartışılmıştır. Hibrit kaplamalar su ve oksijen geçişini önlemede başarılı olmuş ve kaplanmamış BOPP'nin SBİH'sini 12'den 0.96 g / (m^2d) 'ye düşürmüştür ve oksijen iletim hızı da substrata kıyasla 566'dan 159 cm^3 / (m^2d) 'ye düşmüştür. MEMO'ya özdeş TEOS oranında inorganik içeriğin oksijen ve su buharı geçirgenliğini artırarak azaldığı görülmüştür [54].

- Zhang ve arkadaşları oksijen ve su buharının, bağıl nem (BN) ve sıcaklığın fonksiyonları olarak EVOH(Etilen Vinil Alkol) filmleri içinden taşınım özelliklerini incelemiştir. Oksijen ve su buharı geçirgenliğinin sonuçları, sıcaklığın ve bağıl nemin bu filmlerin bariyer özelliklerini belirgin şekilde etkilediğini göstermiştir. Genel olarak, EVOH filmleri düşük bağıl nemde minimum oksijen ve su buharı geçirgenliğine sahiptir, bu da küçük su molekülleri ile düşük bağıl nemdeki polimerik matris arasındaki güçlü etkileşimlerden kaynaklanan polimerin azalan hareketliliğine atfedilmektedir. %75 bağıl nemin üzerinde, geçirgenlikler önemli ölçüde artmıştır. Ek olarak, EVOH filmlerinin bariyer performansının etilen içeriğine ve yönelimine bağlı olduğu bulunmuştur [55].
- Garofalo ve arkadaşları çalışmalarında, tabakalı silikat / poliamid nanokompozit (oksijen bariyer tabakası olarak) ve gıda ile doğrudan temas halinde düşük yoğunluklu polietilen (neme dayanıklı ve sızdırmaz tabaka olarak) içeren çok katmanlı ambalaj filmlerini laboratuar ölçekli şişirilmiş bir ko-ekstrüzyon ekipmanı ile üretmiştir. Özellikle, polimer matriks olarak bir kopolyamid 6,66 kullanılmış ve nanofiller olarak iki organomodifiye edilmiş tabakalı silikat seçilmiştir. Sonuç olarak, önerilen paketleme çözümlerinin artan performans ve çevre dostu olma açısından olumlu veriler elde edilmiştir ve bariyer ve mekanik özelliklerde de önemli gelişmeler izlenmiştir. Oksijen bariyeri için %60'a kadar artış göstermiştir. Ayrıca, nano dolgu ilavesinin bir sonucu olarak film sünekliği, optik özellikler ve genel migrasyon davranışında saptanabilir hiçbir değişiklik ölçülmemiştir [56].

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyaller

3.1.1. Elektro-İletken Kumaş

Bu tez çalışmasında aktüatöre ısıyı iletmesi doğrusal direnci 3,3 Ω/cm olan Statex-Shieldex® Technik-tex P130+B marka, Şekil 3.1'deki gümüş kaplamalı örme kumaş kullanılmıştır. Statex-Shieldex® Technik-tex P130+B marka gümüş kaplamalı bu örme kumaş, lazer kesim teknikleri ile kesilerek eldivene entegre edilmiştir.

Kumaşın içeriğinde %78 polyamid(naylon 6) ve %22 elastomer(likra) bulunmaktadır ve %99 saf gümüş ile kaplanmıştır. Yüzeyinde ek koruyucu kaplama olarak nitril kauçuk kullanılmıştır. Çift taraflı esneyebilen kumaşın ağırlığı 132 g/m² ± %18'dir.Kullanılan iletken kumaş interlok yapıda olup DIN53835 test standartlarına göre boy yönünden esneme uzaması %155-205, en yönünden esneme uzaması ise %85-125'dir. Kumaş 90 °C'ye kadar ısıya dayanmaktadır.



Şekil 3.1. Statex gümüş kaplamalı örme kumaş [57]

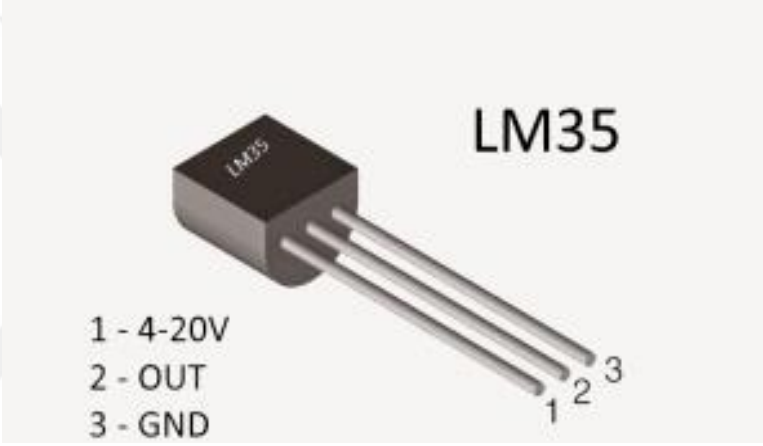
3.1.2. LM35 Sıcaklık Sensörü

Bu tez çalışmasında aktüatörü harekete geçirmek için sıcaklık sensörüne ihtiyaç duyulmuştur ve bu sebeple LM35 analog sıcaklık sensörü kullanılmıştır.

LM35 sıcaklık sensörü(Şekil 3.2) analog çıkışlı ortamın sıcaklığını ölçmeye yarayan bir sensördür. ASTM D6176–97(2015) standardına uygun olan bu sensörün sıcaklık ile doğru

orantılı olarak çıkış gerilimi değişir. -55 ile 150 derece arasında sıcaklık ölçüm aralığına sahiptir ve 4-30 V arasında bir gerilim değeri ile beslendiğinde ve 60 µA'den az akım ile 0,5 derece hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir. Çıkış değeri, her bir derece için, 10mV değişim gösterir.

LM35 analog sıcaklık sensörü için ADC devresi gerekmektedir. Ölçüm hızı yavaştır ancak fiyat olarak ucuzdur. Dolayısıyla kapalı döngü prensibine göre çalışmasını planladığımız prototipimizde geniş sıcaklık ölçüm skalası, hassasiyetinin düşük olması, Ardunio devrelerde kolay programlanabilmesi ve düşük maliyetli olmaları sebebiyle çalışmada LM35 sensörü tercih edilmiştir.



Şekil 3.2. LM35 sıcaklık sensörü [58]

3.1.3. Termal Yapıştırıcı

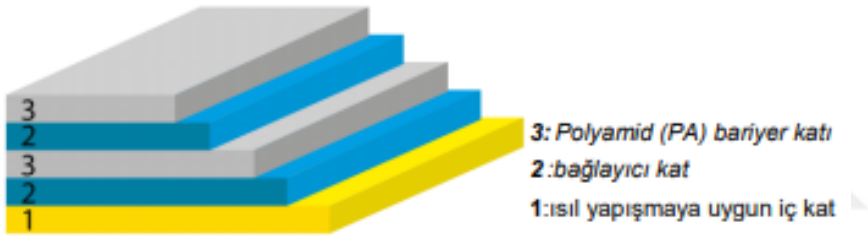
Çalışmada iletken kumaşın eldivene yapıştırılması amacıyla BSN Thermo Eva Yapıştırıcı (Baysal Tekstil) kullanılmıştır. Bu termal yapıştırıcının erime sıcaklığı 65-105^{o}C aralığındadır ve baskı sıcaklığı 130^{o}C'dir. 20 µm kalınlığa sahip etilen-vinil asetat içeren bu yapıştırıcı tekstil, aksesuar, mobilya, otomotiv ve medikal alanlarında kullanılmaktadır. Yapıştırıcı büyük kohezyon kuvvetine ve düşük yüzey gerilimine sahiptir. Bu yapıştırıcı dikiş uygulaması gerekmeksizin arma, etiket vs. malzemelerin kumaş, deri, keçe gibi ürünlerin yüzeylerine yapıştırılmasını sağlayan solvent içermeyen özel bir filmdir.
BSN Thermo Eva Yapıştırıcı yapıştırılacak alanın yüzeyine konulup pres makinası veya ütü yardımıyla yapıştırılma özelliğine sahiptir.

3.1.4. Aktüatör

Aktüatörün üretilmesinde membran film ve farklı düşük kaynama noktasına sahip sıvılar kullanılmıştır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

3.1.4.1. Membran Film

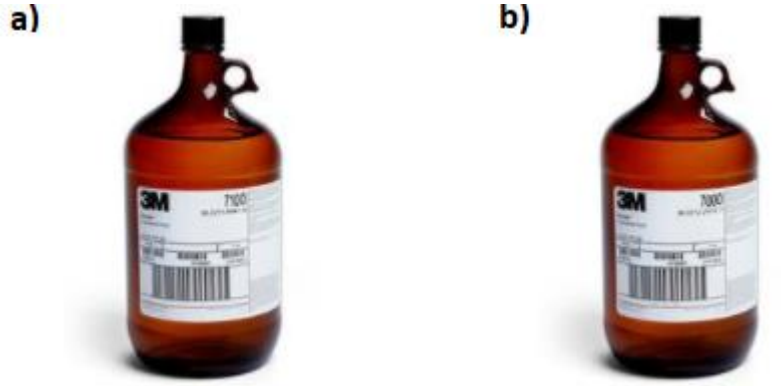
Tez çalışmasının bu kısmında aktüatörün film kısmı için 70 µm kalınlığında koektrüzyon yöntemi ile üretilmiş odalı olan tüm vakum makinelerinde ve pedallı yapıştırma tipi ısıl yapışma aparatlarında kullanıma uygun olan Şekil 3.3'deki 5 katmanlı PA/PE kompozit polimer film (Aksedef Plastik) kullanılmıştır. Filmin yapışması için referans ısı değeri 135-150^{o}C'dir. Filmin oksijen geçirgenliği 123 ml/m^2.d.bar(ASTM D-3985,230^{o}C sıcaklık koşulu ile) , su buharı geçirgenlik oranı ise <15 g/m^2.d(ASTM-F 1249) 'dir [59].



Şekil 3.3. PA/PE film yapısı [59]

3.1.4.2. Aktüatörleri İşlevselleştiren Sıvılar

Çalışmada sıvı olarak iki farklı ürün kullanılmıştır. Bu sıvılar 3M™ Novec™ 7000 ve 3M™ Novec™ 7100' dır. Bu ürünler 3M 'e ait "Novec^{TM} Tasarlanmış Sıvı" olarak geçmektedir. Bunlar çeşitli kritik endüstriyel uygulamalarda kullanılan çok yönlü, yanıcı olmayan akışkanlardır. Dielektrik özellikleri ve çok çeşitli kaynama noktaları ile bu sıvılar iyi derecede malzeme uyumluluğuna ve termal stabiliteye sahiptir. Tasarlanmış olan bu özel sıvılar düşük küresel ısınma potansiyeline (KIP) ve sıfır ozon tüketme potansiyeline (OTP) sahiptir. Yanıcı olmamaları, toksik olmamaları ve kaynama noktalarının düşük olmasından dolayı Şekil 3.4'deki sıvılar tercih edilmiştir. Bu sıvılarla ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.4. Aktüatörleri işlevselleştiren sıvılar **a)** 3M™ Novec™ 7100 , **b)** 3M™ Novec™ 7000 [60]

3.1.4.2.1. 3M™ Novec™ 7100

3M ™ Novec ™ 7100 sıvısı, metoksi-nonaflorobütan ($C_4F_9OCH_3$), birçok uygulamada ozon tüketen maddelerin (OTM'ler) ve yüksek küresel ısınma potansiyeline (KIP) sahip bileşiklerin yerini alması amaçlanan berrak, renksiz ve az kokulu bir sıvıdır. Bu sıvı, sıfır ozon tüketme potansiyeline ve çevre ile uyumlu özelliklere sahiptir. Kimyasal ve termal olarak kararlıdır ve aynı zamanda yanıcı değildir. Aerosol formülasyonlarında, taşıyıcı solvent ve yağlamada, çökeltme solventinde, ısı transferinde, veri merkezleri için daldırma ve soğutmada, hassas temizlemede ve buharla yağ almada kullanılır. 3M™ Novec™ 7100 sıvısının kaynama noktası 61^oC , yoğunluğu 1,52 g/cm^3, molekül ağırlığı ise 250 g/mol'dür.. ABS(Akrilonitril Bütadiyen Stiren) / polikarbonat, akrilikler, seramikler, metaller, plastikler, silikonlar ve solvente dayanıklı plastikler ile uyumludur.

3.1.4.2.2. 3M™ Novec™ 7000

Kimyasal formülü $C_3F_7OCH_3$ (metil perfloropropil eter) olan 3M™ Novec™ 7000 sıvısının kaynama noktası 34^oC ve donma noktası -122.5°C'dir. Yoğunluğu 1,4 g / cm³ , molekül ağırlığı ise 200 g/mol'dür. Berrak ve renksiz olan bu sıvı toksik değildir. 3M™ Novec™ 7000 sıvısı ısı transferinde, veri merkezleri için daldırma ve soğutmada ve yağlayıcı biriktirmede kullanılır. Alüminyum, pirinç, bakır, naylon, PEEK(Polietereterketon), poliasetil, polietilen, polipropilen, PTFE(Politetrafloroetilen) ve paslanmaz çelik ile uyumludur. Yanıcı ve aşındırıcı değildir ve iyi termal stabiliteye sahiptir. Düşük sıcaklıklarda kullanışlıdır (-120^oC'ye kadar). Sızıntı veya diğer ekipman arızası durumunda elektronik ekipmana zarar vermez.

Çalışmada Şekil 3.4'deki sıvıların aktüatöre etkilerini incelemek için hem ayrı ayrı hem de karışım halindeki performansları gözlemlenmiştir.

İlk karışım 0,25 ml 3M™ Novec™ 7100 ve 0,25 ml 3M™ Novec™ 7000 karışımıdır. Karışan sıvılar eşit hacimli olduğu için karışımın yoğunluğu Denklem 3.1 ile hesaplanır.

$$d_{top} = \frac{d_1 + d_2}{2} \qquad \text{(Denklerm 3.1)}$$

Denklemdeki d_{top} karışımın yoğunluğu, d_1 Novec™ 7100'ün yoğunluğu, d_2 ise Novec™ 7000'in yoğunluğudur.

d_1 = 1,52 g/cm^3

d_2 = 1,40 g/cm^3

$d_{top} = \frac{1,52+1,40}{2}$=1,46 g/cm^3

Karışımın yoğunluğu 1,46 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Karışımın kütlesi Denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$d = \frac{m}{v} \qquad \text{(Denklem 3.2)}$$

Denklemdeki d karışımın yoğunluğu, m karışımın kütlesi, v ise karışımın hacmidir. Buna göre

d= 1,46 g/cm^3

v= (0,25 ml 3M™ Novec™ 7100) + (0,25 ml 3M™ Novec™ 7000) = 0,50 ml

m=dv

m= 1,46 * 0,50 = 0,73 g

Karışımın kütlesi 0,73 g olarak bulunmuştur. Karışımın kaynama noktası sıcaklığı ise Denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$T_{mix} = P_1T_1 + P_2T_2 \qquad \text{(Denklem 3.3)}$$

Denklemdeki T_{mix} karışımın kaynama noktası sıcaklığı, P_1 karışımda kullanılan 3M™ Novec™ 7100 yüzdesi, T_1 3M™ Novec™ 7100'ün kaynama noktası sıcaklığı, P_2 karışımda kullanılan 3M™ Novec™ 7000 yüzdesi, T_2 ise 3M™ Novec™ 7000'in kaynama noktası sıcaklığıdır.

P_1 = %50
T_1 = 61 °C
P_2 = %50
T_2 = 34 °C
$Tmix$ = (0,50*61) + (0,50*34)
$Tmix$ = 47,5 °C

İkinci karışım ise 0,20 ml 3M™ Novec™ 7100 ve 0,30 ml 3M™ Novec™ 7000 karışımıdır. Karışan sıvılar farklı hacimlerde olduğu için karışımın yoğunluğu Denklem 3.4 ile hesaplanır.

$$d_{top} = \frac{m_1+m_2}{v_{1+}v_2} \qquad \text{(Denklerm 3.4)}$$

Denklemdeki d_{top} karışımın yoğunluğu, m_1 Novec™ 7100'ün kütlesi, m_2 ise Novec™ 7000'in kütlesi, v_1 Novec™ 7100'ün karışımdaki hacmi, v_2 ise Novec™ 7000'in karışımdaki hacmidir.

v_1 = 0,20 ml
v_2 = 0,30 ml
$m_1 = d_1\ v_1$ = 1,52*0,20
m_1 = 0,304 g
$m_2 = d_2\ v_2$ = 1,40*0,30
m_2 = 0,420 g

$d_{top} = \frac{0,304+0,420}{0,20+0,30}$ = 1,448 g/cm^3

Karışımın yoğunluğu 1,448 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Karışımın kütlesi Denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$d = \frac{m}{v} \qquad \text{(Denklem 3.2)}$$

Denklemdeki *d* karışımın yoğunluğu, *m* karışımın kütlesi, *v* ise karışımın hacmidir. Buna göre

d= 1,448 g/cm^3

v= (0,20 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7100) + (0,30 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7000) = 0,50 ml

m=dv

m= 1,448 * 0,50 = 0,724 g

Karışımın kütlesi 0,724 g olarak bulunmuştur. Karışımın kaynama noktası sıcaklığı ise Denklem 3.3 ile hesaplanır.

$$T_{mix} = P_1T_1 + P_2T_2 \quad \text{(Denklem 3.3)}$$

Denklemdeki T_{mix} karışımın kaynama noktası sıcaklığı, P_1 karışımda kullanılan 3M^{TM} Novec^{TM} 7100 yüzdesi, T_1 3M^{TM} Novec^{TM} 7100'ün kaynama noktası sıcaklığı, P_2 karışımda kullanılan 3M^{TM} Novec^{TM} 7000 yüzdesi, T_2 ise 3M^{TM} Novec^{TM} 7000'in kaynama noktası sıcaklığıdır.

P_1 = %40
T_1 = 61 ^{o}C
P_2 = %60
T_2 = 34 ^{o}C
Tmix = (0,40*61) + (0,60*34)
Tmix = 44,8 ^{o}C

Bu hesaplamalara göre 0,25 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7100 ve 0,25 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7000 içeren ilk karışımın yoğunluğu 1,46 g/cm^3, kütlesi 0,73 g, kaynama noktası sıcaklığı ise 47,5 ^{o}C olarak bulunmuştur. 0,20 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7100 ve 0,30 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7000 içeren ikinci karışımın yoğunluğu 1,448 g/cm^3, kütlesi 0,724 g ve kaynama noktası sıcaklığı ise 44,8 ^{o}C olarak bulunmuştur.

3.2. Test Cihazları

3.2.1. Isıtıcılar

Çalışmada başlangıçtaki membran ve sıvının tayini için aktüatörün şişirilmesi amacıyla ısı pedi kullanılmıştır. Membranın çift katman haline getirilip kenarlarının yapıştırılması ve iletken kumaş ile membranın eldivene entegre edilmesi için ise ısı pres makinesi

kullanılmıştır. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

3.2.1.1. Isı Pedi

Çalışmada aktüatöre ısı sağlanıp aktüatörün içindeki sıvının kaynatılması için ısı pedi kullanılmıştır. Kullanılan ısı pedi maksimum 71,1 ^{o}C' a kadar ısıtılabilmektedir. ASTM D 5470-17 standardı ile uyumlu olan bu ısı pedi, ayarlanılan değerde PID (Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici Kontrol Döngüsü Yöntemi) kontrolör değişiklikleri yapabilmektedir. Kesintisiz ısıtma özelliğine sahip olan bu ısıtıcının sıcaklık değişimlerini yansıttığı bölge Şekil 3.5'deki yuvarlak termal banttır. 218 watt güç tüketimi yapan bu pedin doğruluğu ±0,2 derecedir.



Şekil 3.5. Isı pedi [61]

3.2.1.2. Isı Pres Makinesi

Çalışmada membranın çift katman haline getirilip kenarlarının yapıştırılması ve iletken kumaş ile membranın eldivene entegre edilmesi için ısı pres makinesi kullanılmıştır. Baskı alanı 38*38 cm^2, zaman aralığı 0-399 s, ısı aralığı ise 0-399 ^{o}C olan 45 kg ağırlığındaki Şekil 3.6'daki bu makine 220 volt enerji ve 1400 watt güce sahiptir. Cihazın çekip itme işlemlerini

kolaylaştırmak için alt tablasında raylı sistem vardır. Ürünün üzerinde baskı için gerekli olan ısı derecesi ve ısıtma süresini ayarlayabilmemiz için dijital ayar paneli ve göstergesi yer almaktadır. Manuel olarak ayarlanabilen pres süresinin bitmesine yakın, cihaz sinyal vermektedir. Zaman dolup baskı bitince ise pres kapağını otomatik olarak kendiliğinden açmaktadır. Ayrıca kullanılacak olan basınç değerinin ayarlanabilmesi için presin üst kısmında kapama kolunun altında basınç ayar vidası bulunmaktadır ve vida sağa çevrildiğinde basınç artarken sola çevrildiğinde ise basınç azalmaktadır. Çalışmada vida orta seviyeye gelene kadar çevrilip bu basınç altında ürünler preslenmiştir. Cihazın alt tablasının yüzeyinde silikon ped bulunmaktadır. Bu ped, basıncın ürünün geneline eşit olarak yayılmasına yardım etmektedir. Bu şekilde ısının da eşit dağılması sağlanmaktadır.



Şekil 3.6. Isı Pres Makinesi [62]

3.2.2. Güç Kaynağı

Çalışmada iletken kumaşın ısıtılıp aktüatörün şişirilmesi amacıyla güç tedarikçisi kullanılmıştır. Çok kanallı programlanabilir DC güç kaynakları, uygun maliyetli birden çok güç kaynağı gerektiren çok çeşitli cihazları, devre kartlarını, modülleri ve ürünleri test etmek için idealdir. ASTM D257 standardına uygun olan Şekil 3.7'deki güç kaynağının beslemeleri, dijital devrelere güç sağlamak için iki kanalı her biri 3 A'da 30 V'ye kadar güç sağlayabilir; üçüncü kanal 3 A'da 5 V'ye kadar sağlayabilir. 195 watt enerjiye sahip güç

kaynağı ile %0.06 basit doğruluk oranı ile gerilim çıkışları ve %0,2 basit doğruluk oranı ile akım çıkışları ayarlanabilmektedir. Üç çıkıştan alınan akım ve gerilim ölçümlemeleri sürekli görüntülenebilmektedir.



Şekil 3.7. Keithley 2231A-30-3 Manuel üç kaynaklı DC güç kaynağı [63]

3.2.3. Multimetre

Çalışmada iletken kumaşın iletkenliğini test etmek amacıyla dijital multimetre kullanılmıştır. Multimetreler, arızalı bir devrede bozulmuş olan bileşenin bulunması işlemini ya da herhangi bir devre tasarlanırken kullanılacak olan bileşenlerin sağlamlığını, belirli testler ile gerçekleştirebilen cihazlardır. ASTM D247 standardına uyumlu olan multimetre(Şekil 3.8), geniş ve kolay okunabilen görüntü paneli olan bu multimetre 1999 sayaçlıdır. DC(Doğru akım) ve AC(Alternatif akım) gerilimi, AC ve DC akımı, direnç, kapasitans gibi birçok parametreyi ölçebileceğimiz bir arayüzü bulunmaktadır. CE CATIII güvenlik standardına uygun olup %0,5 ölçüm hassasiyetine sahiptir.[64] Maksimum DC ve AC akımı 20 amper, DC voltu maksimum 1000, AC voltu ise maksimum 750 volttur.



Şekil 3.8. Proskit MT-1280 Dijital multimetre [65]

3.2.4. Termal Kamera

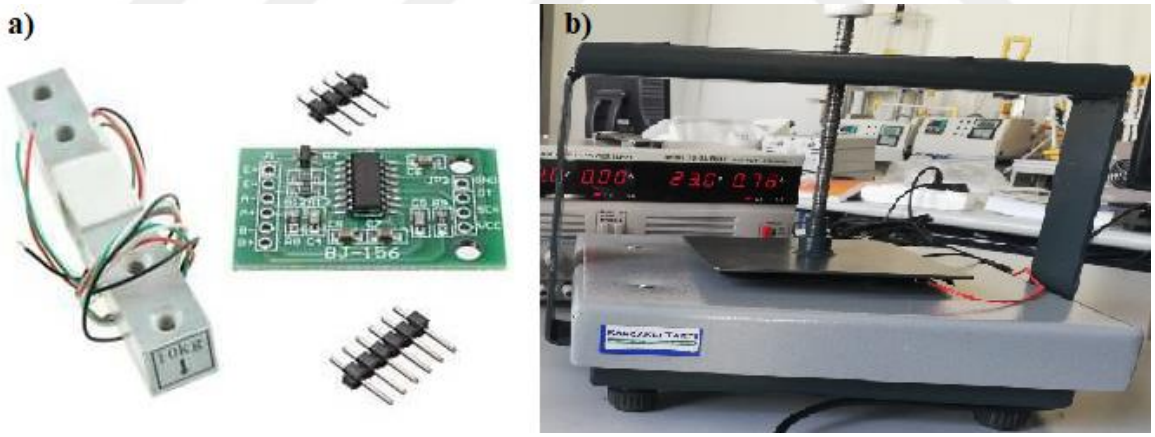
Aktüatörü aktif hale getirmek üzere verilen ısı enerjisinin eşit dağılımının kontrolü için çalışmada ISO/IEC 17025:2017'ye uyumlu olarak kalibre edilmiş olan Şekil 3.9'daki termal kamera kullanılmıştır. 320 x 240 piksel çözünürlüğü olan bu kamera, 1200°C'ye kadar ölçüm yapabilmektedir ve ± 2 °C'lik çok iyi ölçüm hassasiyeti ile 0.12°C'lik sıcaklık farklılıklarını görüntülemektedir.



Şekil 3.9. Testo-885 termal kamera [66]

3.2.5. Yük Hücreli Terazi

Bu çalışmada aktüatörün kuvvet ve basıncının tayin edilmesi için üzerinde yük hücresi bulunan bir terazi geliştirilmiştir. Terazinin içine Şekil 3.10'daki ASTM E-74 standardına uygun olan 10 kg yük hücresi ve Hx711 modül ağırlık takımı yerleştirilmiştir. Hx711 kartı yük hücresi ile analog olarak algılanan ağırlık değerini dijital veriye dönüştürüp mikroişlemciye aktarmamaya yardımcı olur. Yük hücresinin ayırıcı giriş gerilimi ±40 mV, veri hassasiyeti 24 bit, yenileme frekansı 80 Hz, çalışma gerilimi 4,8 – 5,5 V, çıkış gerilimi aralığı 2,6 V ~ 5,5 V ve çalışma akımı <10 mA'dır. Yük hücresine ait güç hücresi bağlantıları ise kırmızı (güç +), siyah (güç -), yeşil (sinyal +) ve beyaz(sinyal -)dır.
Terazinin üst kısmına manuel olarak kuvveti ayarlayabilmek için 100 cm^2'lik bir tabaka ile kuvvet kolu monte edilmiştir (Şekil 3.10). Kullanılan yük hücresi, lama tipi yük hücresidir. Endüstriyel tartımlar için genellikle bu yük hücresi kullanılır [67]. Çubuğun bir ucu sensöre bağlanıp sabitlenir ve serbest olan uca da kuvvet uygulanır. Yük hücresinin alt ve üst kısımlarına yerleştirilmiş olan kart, kuvvet uygulanıp kaldırıldığında verileri alıp yazılıma aktarıp ağırlığa dönüşümünü sağlar.



Şekil 3.10. Yük hücreli terazi **a)** Lama tipi yük hücresi **b)** Yük hücresi ve kuvvet kolu monte edildikten sonra terazinin son hali

3.3. Testler

Bu çalışmada aktüatör için membran ve faz değiştiren sıvıların uygulanmasının ardından aktüatör üretilmiştir ve üretilen aktüatör üzerinde basınç-zaman performans testi, maksimum güç testi, sıcaklık/aktüatör testi ve uzun dönem dayanım testi yapılmıştır. Bu testlerin nasıl yapıldığına dair detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.3.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması

Membranın gaz ve sıvı geçirmemesi en önemli parametrelerden biridir. Bu konuda net bir karar vermek için TPE (termoplastik elastomer), TPU (termoplastik poliüretan), BOPP (Çift Eksenli Yönlendirilmiş Polipropilen), CPP (Gerdirilmemiş Polipropilen), PET/PE (Polietilen teraftalat/Polietilen) ve PA/PE(Poliamid/Polietilen) olmak üzere Tablo 3.1'de verilen özelliklere sahip birbirinden farklı polimer filmler test edilmiştir. Kullanılan malzemeler ve üretilen numuneler, 23±2°C oda sıcaklığı ve %55±10 bağıl nem oranına sahip laboratuvar şartlarında kondisyonlanmıştır. Bir kumaşın üzerine termal yapışkanlı film ile 60*60 mm^2 ebadında membran filmler kesilip yapıştırılmıştır. Bu membranların her birinin üzerine yine 60*60 mm^2 boyutunda film eklenip bu filmler her bir kenarından 5 mm'lik olmak üzere ısı pres makinesi yardımı ile birbirine yapıştırılmıştır.

Tablo 3.1. Kullanılan membranlar ve özellikleri

Özellikler	Kalınlık(μm)	OGO(cm^3/m^2)	SBGO(g/m^2)	Isıl yapışma sıcaklığı(°C)	Isıl yapışma süresi(s)
TPE	38	85-646	-	121	2
TPU	50	85-646	-	121	2
BOPP	50	≤ 80	≤ 0,3	115	2
CPP	50	97-155	0,45	120	2
PA/PE	70	123	<15	135-150	2,5
PET/PE	76	180	<15	145-155	3

İlk aşamada hangi sıvıyla çalışmanın uygun olduğunu anlamak için paket haline getirilen her bir filme ayrı ayrı 0,2 ml miktarlarında su, etanol, aseton, 3M™ Novec™ 7000 svısı ve 3M™ Novec™ 7100 sıvısı enjektör yardımı ile eklenmiştir. Sıvıların da enjekte edildiği membran filmler ısı pedi üzerinde, pedin maksimum sıcaklık değeri olan 71,1 °C a kadar ısıtılıp (Şekil 3.11) şişme-inme performansları test edilmiştir. Şekil 3.11'deki üretilen aktüatörler membranın oda sıcaklığındaki gaz geçirgenliğini test etmek amacıyla laboratuvar şartlarında 2 ay süre ile bekletilmiştir.



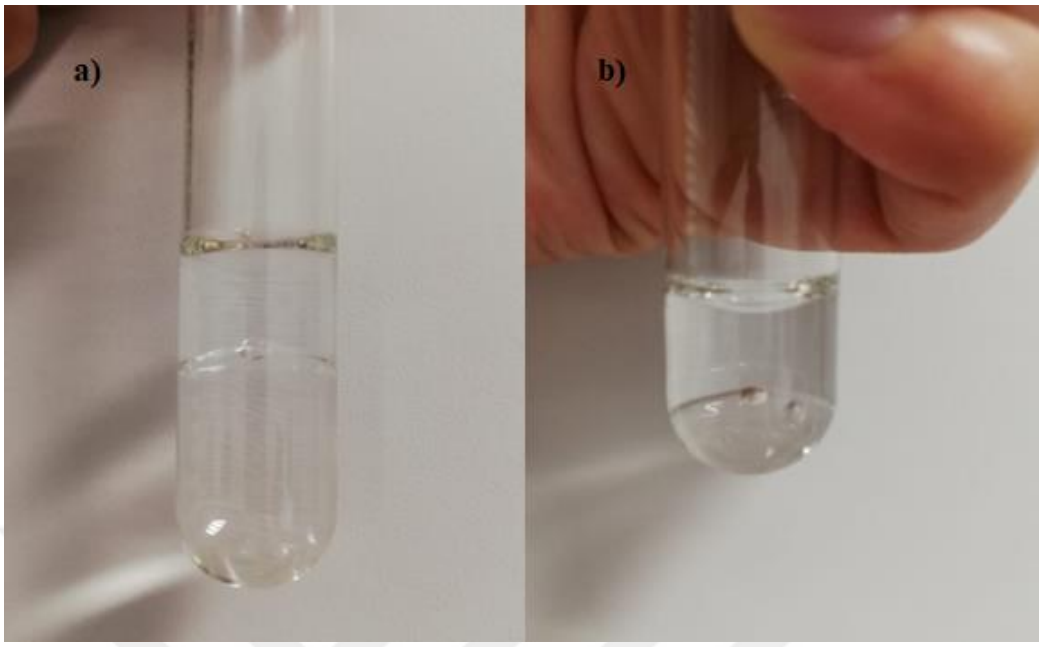
Şekil 3.11. Isı pedi üzerinde malzeme tayini için ısıtılan aktüatörler(Soldan sağa; PET/PE film, PA/PE film, TPE film ve TPU film)

Tablo 3.2'de aktüatörün içine enjekte edilen sıvıların kaynama noktalarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.2. Kullanılan sıvıların kaynama noktaları

SIVILAR	SIVILARIN KAYNAMA NOKTALARI
Su	100°C
Aseton	56°C
Etanol	78,37°C
3M™ Novec™ 7000	34°C
3M™ Novec™ 7100	61°C
%50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımı	47,5°C
%60 3M™ Novec™ 7100 ve %40 3M™ Novec™ 7000 karışımı	44,8°C

Sıvı seçiminde beklenilen özellikler, kaynama noktasının düşük olması ve toksik olmamasıdır. Aseton ve etanol temas ettikleri filmleri büzüştürürken su, 3M™ Novec™ 7000 ve 3M™ Novec™ 7100 sıvılarının filmler üzerinde böyle bir etkisi olmamıştır. Tablo 3.2'deki kaynama noktası değerleri ve aktüatörlerin ısı pedi üzerinde 71,1°C'deki şişme performanslarından yola çıkılarak vücut sıcaklığına yakın optimum bir değer yakalayabilmek için 3M™ Novec™ 7000 ve 3M™ Novec™ 7100 sıvıları, su ile karıştırılmıştır. Fakat homojen karışım sağlanamayıp her iki sıvının da su ile arasında Şekil 3.12'deki gibi faz ayrımı oluşmuştur.



Şekil 3.12. 3M^{TM} Novec^{TM} sıvıları ile su karışımı **a)** 3M^{TM} Novec^{TM} 7000-su karışımı **b)** Novec^{TM} 7100-su karışımı

Şekil 3.14'de gözlemlenen faz ayrımının ardından 3M^{TM} Novec^{TM} 7000 ve 3M^{TM} Novec^{TM} 7100 sıvıları birbirine karıştırılmaya çalışılmış ve Şekil 3.13'deki gibi homojen olarak karıştıkları gözlenmiştir.



Şekil 3.13. 3M^{TM} Novec^{TM} 7000 ve 3M^{TM} Novec^{TM} 7100 sıvılarının karışımı

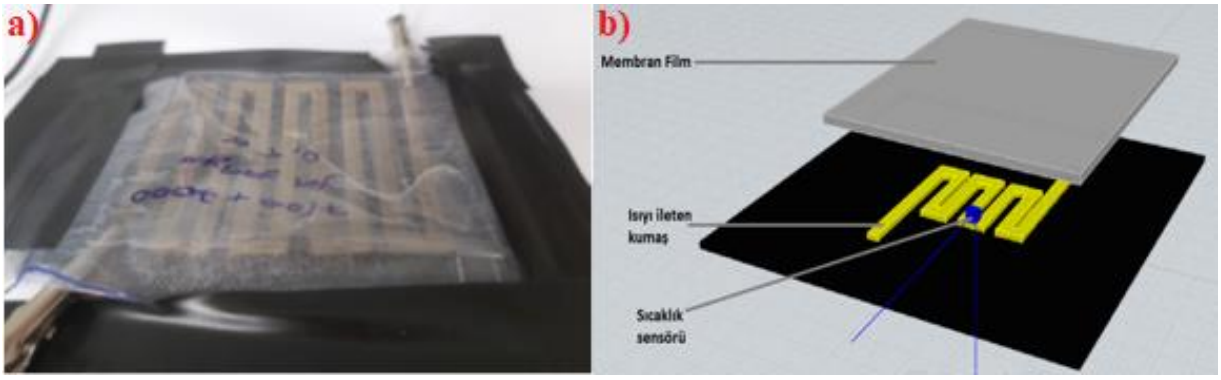
3.3.1.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Aktüatör Üretimi

Bu çalışmada Sanchez ve arkadaşlarının çalışması referans alınmıştır [68]. Çalışma, 23±2 ^{o}C oda sıcaklığı ve %55±10 bağıl nem oranına sahip laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Taban için kullanılan kumaşa Şekil 3.14'deki 2,7 Ω/cm iletkenliğe sahip kumaş, baskı sıcaklığı 130^{o}C olan termal yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Bu iletken kumaşa, PA/PE film 60*60 mm^{2} boyutlarında kesilerek termal yapıştırıcı ile entegre edilmiştir. Aktüatörü oluşturmak için filme ikinci katmanı her bir kenarından ayrı ayrı 5 s tutularak 130^{o}C sıcaklık ile yapıştırılmıştır. Bu işlemler yapılırken ısı pres makinesinin basınç ayarı manuel olarak vidanın çevrilmesi şeklinde yapılması sebebiyle, orta basınç ayarı için vida boyu yarılanana kadar vida sıkılmıştır.



Şekil 3.14. Tekli aktüatör üretiminde kumaşın iletkenliğinin ölçülmesi

Membran aşaması tamamlanan aktüatöre Sanchez ve arkadaşlarının çalışmasında yapmış olduğu gibi bir kenarından enjektör ile 0,20 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7100 ve 0,30 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7000 karışımı enjekte edilmiştir ve enjekte işleminin yapılmış olduğu kısım ısı pres makinesi ile 130^{o}C sıcaklıkta 5 s süre ile orta basınçta preslenmiştir [68]. Şekil 3.15'de üretilen tekli aktüatör ve bu aktüatörün bileşenleri verilmiştir.



Şekil 3.15. Tek aktüatör üretimi **a)**Üretilen aktüatör **b)**Aktüatörün bileşenleri

3.3.1.2. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Basınç-Zaman Performans Testi

Bu çalışmada Sanchez ve arkadaşlarının çalışması referans alınmıştır [68]. Çalışma, 23±2°C oda sıcaklığı ve %55±10 bağıl nem oranına sahip laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Tekli aktüatör üretimindeki gibi içindeki sıvıları veya oranları değiştirerek birbirinden bağımsız dört ayrı aktüatör üretilmiştir. Birinci aktüatörde kullanılan sıvı 0,5 ml 3M™ Novec™ 7000, ikinci aktüatördeki sıvı ise 0,5 ml 3M™ Novec™ 7100'dür. Üçüncü aktüatöre 0,25 ml 3M™ Novec™ 7000 ve 0,25 ml 3M™ Novec™ 7100 karışımı, dördüncü aktüatöre de 0,30 ml 3M™ Novec™ 7000 ve 0,20 ml 3M™ Novec™ 7100 karışımı eklenmiştir.

Farklı içerikli bu aktüatörlerin her birinden beş ayrı numune olmak üzere toplamda yirmi aktüatör üretilmiştir.

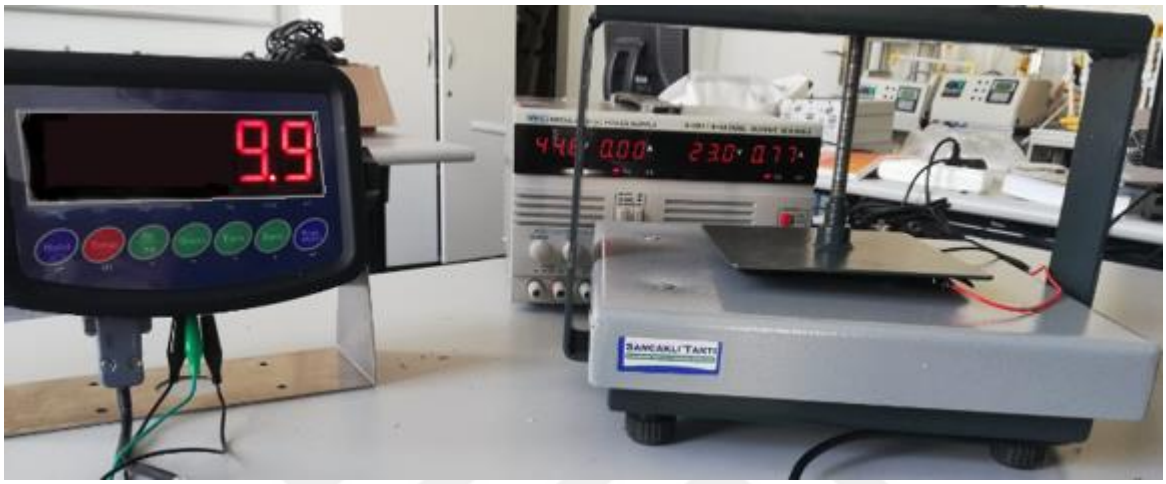
Aktüatör Şekil 3.16'daki düzenekte yüzeyinde yük hücresi bulunan tartıya konulup güç kaynağı ile 12 volt-0,630 amperde bağlantı kurulmuştur, sıcaklık değeri 65°C'ye kadar arttırılıp inme-şişme performansları izlenmiştir. Tartının üzerindeki yük kolu ile aktüatör arasında 1 cm mesafe ayarlanmıştır. Tartı ile bilgisayar arasında bağlantı kurulup güç kaynağının açılmasıyla gönderilen ısı sayesinde, aktüatör şiştikçe yük hücresine uyguladığı kuvvet kaydedilmiştir. Daha sonra aktüatörün patlamasına müsaade edilmeden güç kaynağı kapatılmıştır. Farklı sıvı içerikli aktüatör başına üretilen beş ayrı numune için tek tek uygulanıp ortalamaları alınmıştır. Bu ölçümlerde aktüatörün uyguladığı basınç Denklem 2.1 ile hesaplanmıştır.

$$P = \frac{mg}{A} \qquad \text{(Denklem 2.1)}$$

Bu denklemde P basıncı(kPa), m yük hücresine baskı uygulandıkça anlık olarak ölçülen kuvvet kütlesini(g), g yer çekimi ivmesini ve A ise membranın terazi üzerinde uyguladığı baskı alanını temsil etmektedir. Bu çalışmada,

g = 9,8 m/s^2

A = 2162,25 mm^2 'dir. Deneyler bu alan sınırlarında gerçekleştirilmiştir.



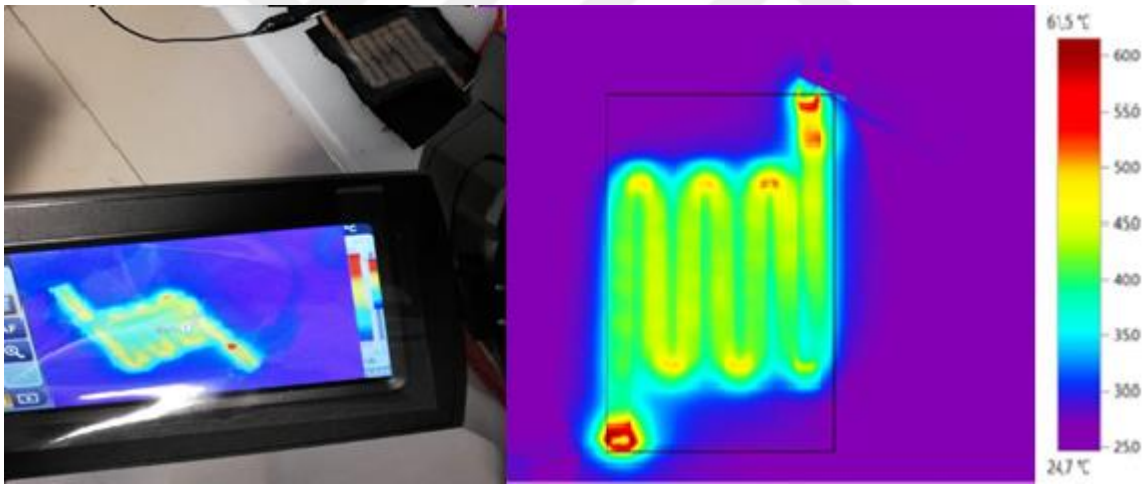
Şekil 3.16. Basınç-zaman testi için kurulan deney düzeneği

3.3.1.3. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Maksimum Güç Testi

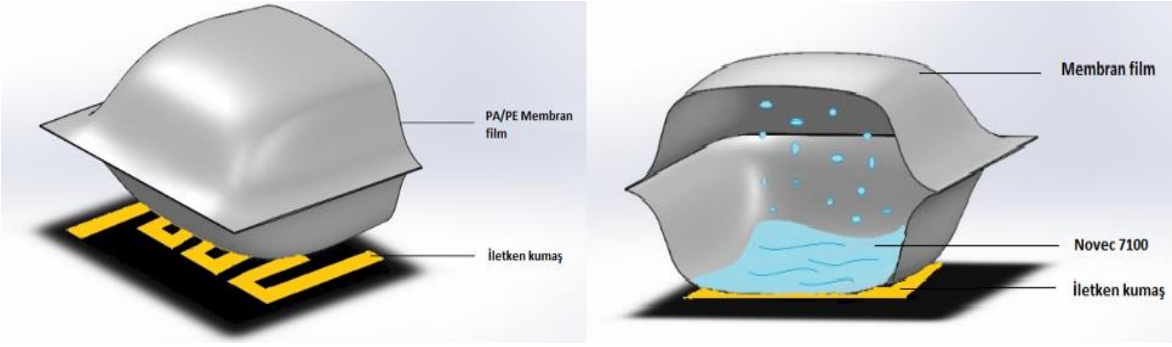
Bu çalışmada Sanchez ve arkadaşlarının çalışmasından yola çıkılarak, çalışmamıza uygun yeni test metodu geliştirilmiştir [68]. Çalışma, 23±2^{o}C oda sıcaklığı ve %55±10 bağıl nem oranına sahip laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Başlık 3.3.4'deki "Basınç-Zaman Performans Testi"ndeki gibi tartının yüzeyine konulan 50*50 mm^2 ölçülerindeki aktüatör ile yük kolu arasında 1 cm mesafe bırakılmıştır. Uçlarındaki krokodillerden güç kaynağına bağlanan aktüatöre 12 volt, 0,630 amper akımda ısı gönderilip şişirilmiştir. Güç kaynağı kapatılmaksızın aktüatörün maksimum şiştiği noktada patlaması gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu işlem, içinde farklı sıvılar bulunan dört ayrı aktüatörün her birinden beşer tane olmak üzere yirmi ayrı numuneye tek tek uygulanmıştır.

3.3.1.4. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Sıcaklık/Aktüatör Testi

Bu çalışmada Sanchez ve arkadaşlarının çalışması referans alınmıştır [68]. Çalışma, 23±2ºC oda sıcaklığı ve %55±10 bağıl nem oranına sahip laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Aktüatörün membran kısmı iletken kumaşa yapıştırılmadan önce iletken kumaşın iletkenliğinin homojenliği dijital multimetre (Proskit MT-1280) ile kontrol edilmiştir. Ardından aktüatör üretilip iletken kumaşın membran dışında kalan her iki bacağına da güç kaynağı (Keithley 2231A-30-3) bağlanmıştır. 12-30 volt aralığında voltaj ve 0,230-0,650 amper aralığında akım şiddetleri denenerek termal kamera(Testo-885) ile aktüatördeki sıcaklık verileri Şekil 3.17'deki gibi gözlenmiştir. Sıcaklığın homojen olarak yayıldığı gözlemlenen aktüatörlerin(Şekil 3.17) güç kaynağı ile 65 ºC'ye kadar ısıtıldığında şişme-inme(Şekil 3.18) performansı da incelenmiştir.



Şekil 3.17. Termal kamera ile numunelerin sıcaklıklarının ölçülmesi



Şekil 3.18. Isıtma işlemi ile şişmeye başlayan aktüatör

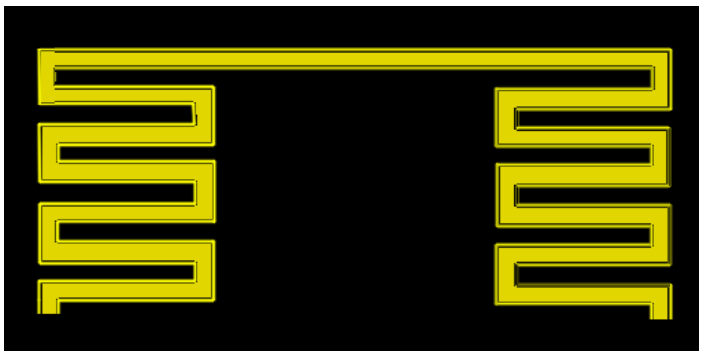
3.3.1.5. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanması Sonrası Uzun Dönem Dayanım Testi

Bu deney yapılırken Atalay ve arkadaşlarının çalışması referans alınmıştır [69]. Çalışma, 23±2°C oda sıcaklığı ve %55±10 bağıl nem oranına sahip laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya karar verilen 0,20 ml 3M™ Novec™ 7100 ve 0,30 ml 3M™ Novec™ 7000 karışım sıvısı ile eldiven için 50*50 mm^2 ebadında yeniden bir aktüatör üretilmiştir. Bu aktüatör basınç testinin yapıldığı tartının yüzeyine konulup güç kaynağı ile aktüatör ısıtılmıştır. Tartımın yapılacağı Şekil 3.16'daki düzenek Ardunio otomasyon sistemi ile 20 saat boyunca aktüatörün yıpranmaması için maksimum 220 g(1,32 kPa)'a kadar aktüatörü şişirecek şekilde ayarlanmıştır. Uygulanan güç, göstergeçte 220 g(1,32 kPa) değeri gösterene kadar aktüatör şişirilmiştir. Daha sonra güç kaynağı kapatılıp aktüatörün sönmesi beklenmiştir. Bu şekilde 20 saat süre ile durdurulmadan bin kere şişme-inme işlemi gerçekleştirilmiş ve sarfedilen güç ile aktüatörün dayanım verileri kaydedilmiştir.

3.4. Metot

3.4.1. Eldiven Prototipinin Üretimi

Elde ve bilekte tam kavramayı sağlaması için Şekil 3.21'deki gibi el bilek ateli temin edilmiştir. Sinirlerin geçtiği bölgeler olarak bilinen avuç içinin üst kısmı ve bileğin iç kısmına gelecek şekilde 50*50 mm^2 ebadında olup iletkenliği kontrol edilen kumaş(2,7Ω) atele Şekil 3.19'daki gibi seri bağlı şekilde ısıl yapışkan ile yapıştırılmıştır [70].



Şekil 3.19. İletken kumaşın eldivene yapıştırılma şekli

Otomasyon sistemi ile maksimum 44^{o}C'ye kadar ısıtacak şekilde ayarlanan sıcaklık sensörü iletken kumaşa temas edecek şekilde yüzeye sabitlenmiştir. Bunların üzerine içine 0,20 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7100 ve 0,30 ml 3M^{TM} Novec^{TM} 7000 karışımı enjekte edilen 50*50 mm^{2} ebadındaki PA/PE membran filmleri yerleştirilmiştir. Sisteme entegre edilen aktüatörün yüzeyde sabit kalmasını sağlamak ve vücuda direkt temasını önlemek için, aktüatör, bulunduğu bölgede dikilen kumaş cepçiğin içine Şekil 3.20'deki gibi alınmıştır. Eldiven elde edildikten (Şekil 3.21) sonra 12 V-0,630 A voltaj ve akım ile güç kaynağına bağlanan sıcaklık sensörü ile eldiven ısıtılıp çalışması kontrol edilmiştir.



Şekil 3.20. Kumaş cepçiğin içine yerleştirilen aktüatör



Şekil 3.21. Aktüatörler ve sensörün entegre edildiği eldiven ve iç kısmı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada aktüatör için membran ve faz değiştiren sıvıların uygulanmasına ait basınç-zaman performans testi, maksimum güç testi, sıcaklık/aktüatör testi ve uzun dönem dayanım testi çalışmaları yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen sonuçlar hakkındaki detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

4.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Sonuçları

Aktüatör için membran uygulanmasının sonuçlarına bakıldığında en önemli faktör gaz geçirgenliğinin düşük olmasıdır.Buna göre membran filmin içinde buharlaşma ve yoğuşma işlemleri olacağı için aktüatör içine enjekte edilen sıvı miktarında azalma olmaması gerekmektedir. Membran filmler ile yapılan uygulamalarda aktüatörlerin farklı ölçüm değerleri kaydedilmiştir. Bu değerler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Şişme-inme performansları sonrası gramaj ölçüm sonuçları

Filmler	TPE	TPU	PA/PE	PET/PE
1. ölçüm	2,83 g	2,17 g	2,92 g	3,72 g
2. ölçüm	2,82 g	2,17 g	2,92 g	3,72 g
3. ölçüm	2,81 g	2,16 g	2,92 g	3,72 g
4. ölçüm	2,80 g	2,16 g	2,92 g	3,72 g
5. ölçüm	2,79 g	2,16 g	2,92 g	3,72 g

Tablo 4.1'e bakıldığında beş defa üst üste aktüatörlerin ısıtılıp soğutulması işlemlerinin ardından tartılması sonucu termoplastik elastomerde(TPE) 0,04 g ile %1,41, termoplastik poliüretanda(TPU) 0,01 g ile %0,46 kütle kaybı olmuştur. Poliamid/Polietilen film (PA/PE) ve Polietilen teraftalat/Polietilen filmde (PET/PE) ise herhangi bir kütle kaybı gözlemlenmemiştir.

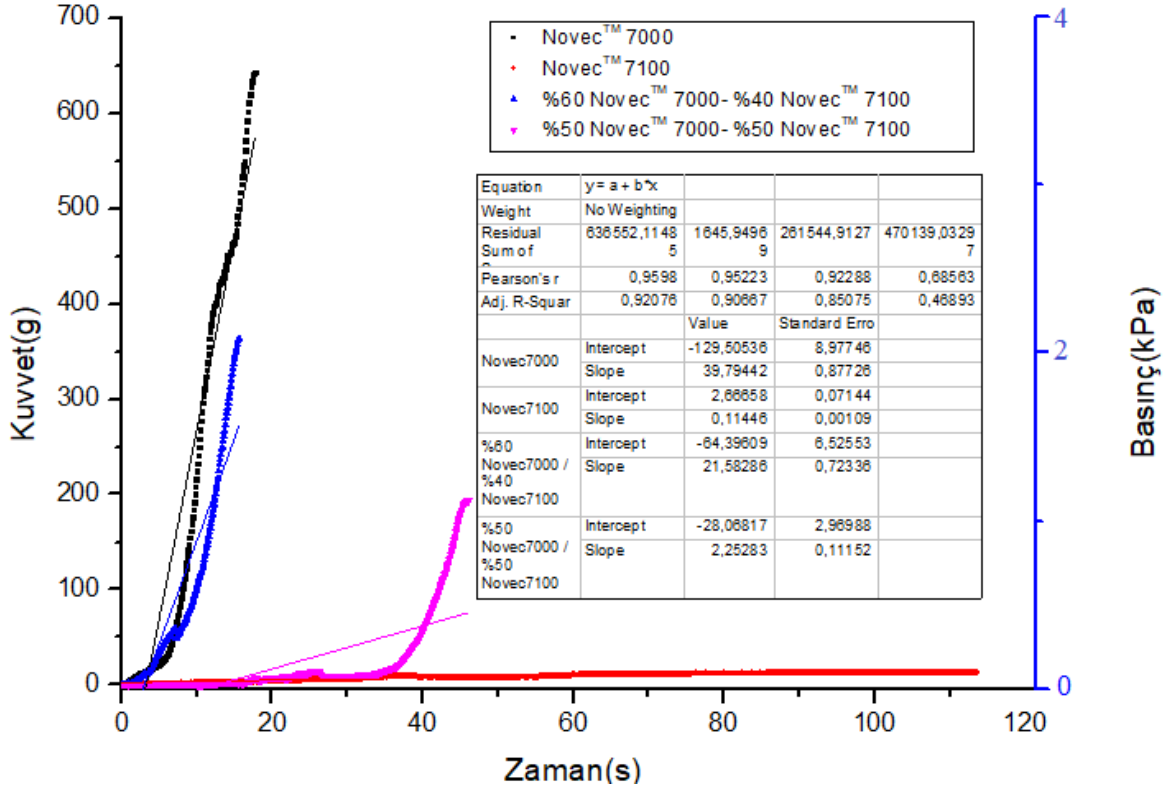
Gramaj tayini yapılan Tablo 4.1'deki aktüatörlerin gaz geçirgenliğini gözlemlemek amacıyla 2 ay süre ile 23±2ºC oda sıcaklığı ve %55±10 bağıl nem oranına sahip laboratuvar şartlarında kondisyonlanması ile PET/PE, TPE ve TPU filmler ile üretilen aktüatörlerin Şekil 4.1'de görüldüğü gibi kendiliğinden şiştiği ve sönmediği gözlenmiştir. Bu veriler karşısında en iyi performansın Zhao ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada da analiz ettiği gibi gaz geçirgenliğinin düşük olması sebebi ile PA/PE film tarafından sergilendiği söylenebilir [71].



Şekil 4.1. İki ay sonra kendiliğinden şişmiş olan aktüatörler(Soldan sağa TPU, PET/PE ve TPE filmler kullanılarak üretilen aktüatörler)

4.1.1. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Basınç-Zaman Performans Testi Sonuçları

Aktüatör için membran uygulanmasının basınç-zaman performans testi sonucunda Şekil 4.2'deki basınç-zaman grafiği elde edilmiştir. Bu grafik, içeriğinde farklı sıvılar bulunan dört aktüatörün maksimum 120 s içinde uyguladığı basınç miktarlarını göstermektedir.



Equation	y = a + b*x			
Weight	No Weighting			
Residual Sum of	636552,11485	1645,94969	261544,9127	470139,03297
Pearson's r	0,9598	0,95223	0,92288	0,68563
Adj. R-Squar	0,92076	0,90667	0,85075	0,46893
		Value	Standard Erro	
Novec7000	Intercept	-129,50536	8,97746	
	Slope	39,79442	0,87726	
Novec7100	Intercept	2,66658	0,07144	
	Slope	0,11446	0,00109	
%60 Novec7000 / %40 Novec7100	Intercept	-64,39609	6,52553	
	Slope	21,58286	0,72336	
%50 Novec7000 / %50 Novec7100	Intercept	-28,06817	2,96988	
	Slope	2,25283	0,11152	

Şekil 4.2. Farklı sıvılar içeren aktüatörlerin basınç-zaman grafiği

Şekil 4.2'ye bakıldığında şişme-sönme anında 3M™ Novec™ 7000 içeren aktüatör, yük hücresine 18 s'de 643,3 g, 3,86 kPa, %40 3M™ Novec™ 7100 ve %60 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör 15 s'de 363,68 g, 2,18 kPa , %50 3M™ Novec™ 7100 ve

%50 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör ise 46 s'de 193,38 g,1,16 kPa kuvvet uygulamıştır. 3M™ Novec™ 7100 sıvısını içeren aktüatör ise sabit olarak kalmış ve şişme performansı istenilen sonucu vermemiştir.

Şekil 4.2'deki verilere göre süre, kuvvet ve basınç olarak en iyi performansı 3M™ Novec™ 7000 içeren aktüatör(18 s, 643,3 g, 3,86 kPa) ve %40 3M™ Novec™ 7100 ve %60 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör(15 s, 363,68 g, 2,18 kPa) göstermiştir.

Şekil 4.2'deki eğim çizgilerine ait regresyon verileri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Aktüatörlerin basınç/kuvvet- zaman grafiğindeki eğimlere göre regresyon verileri

Aktüatörler	**Düzeltilmiş R^2 değeri**	**R2 (korelasyon katsayısı)**	**Eğim çizgisinin denklemi**
3M™ Novec™ 7000 sıvısını içeren aktüatör	0,921	0,958	y=39,8x + -130
%40 3M™ Novec™ 7100 ve %60 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör	0,852	0,923	y=21,6x + -64,4
%50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör	0,47	0,686	y=2,25x + -28,1
3M™ Novec™ 7100 sıvısını içeren aktüatör	0,907	0,952	y=0,114x + 2,67

Tablo 4.2'e bakıldığında %50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör dışındaki diğer üç aktüatörün düzeltilmiş R^2 değerinin 1'e yakın olduğu gözlenmiştir. %50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatörün korelasyon katsayısı 0,686 iken, kalan 3 aktüatörün korelasyon değeri 0,80'den büyüktür.

4.1.2. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Maksimum Güç Testi Sonuçları

Maksimum güç verilerini elde etmek için yapılan patlatma testleri sonucunda Tablo 4.3'deki kuvvet ve basınç değerleri elde edilmiştir.

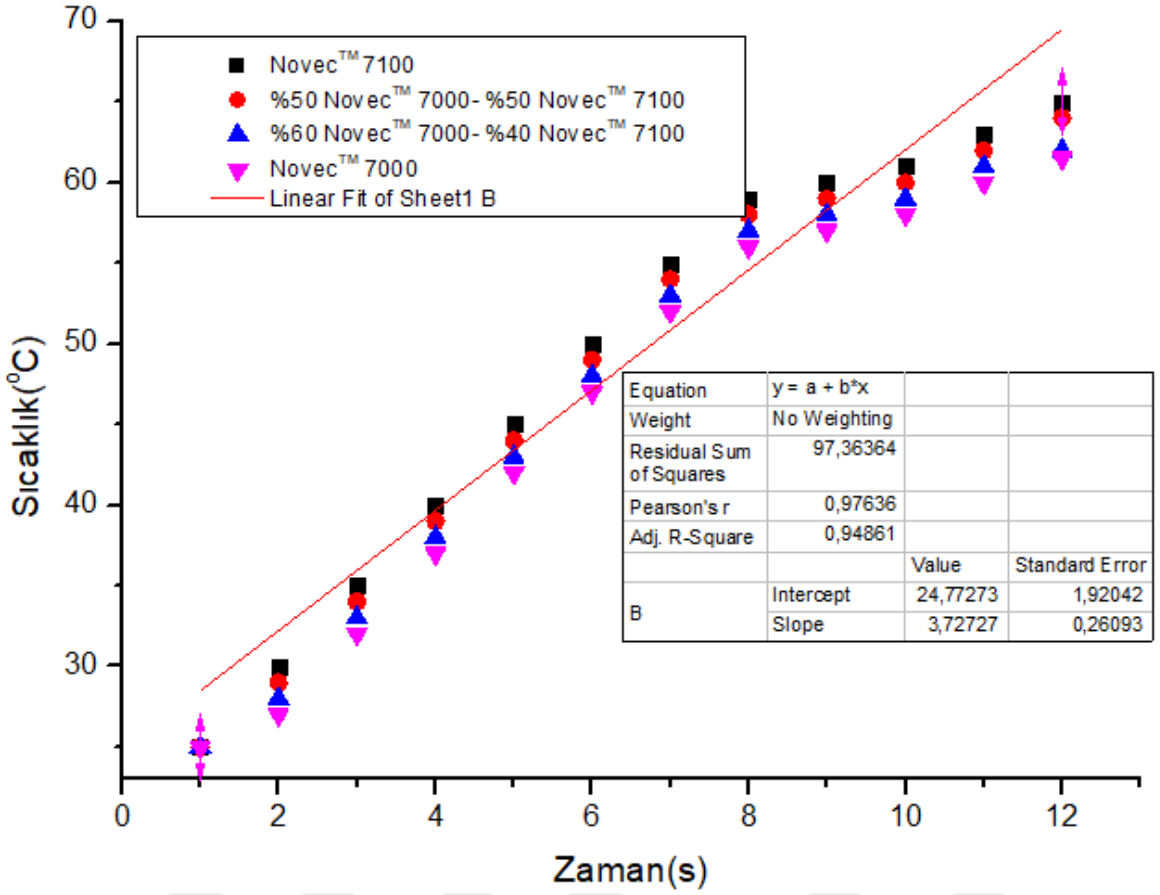
Tablo 4.3. Aktüatörlerin maksimum güç verileri

Aktüatörler	Patlama Kuvvetleri	Patlama Basınçları
3M™ Novec™ 7100 sıvısını içeren aktüatör	50,7 g	0,30 kPa
%50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör	277,88 g	1,67 kPa
%40 3M™ Novec™ 7100 ve %60 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör	3056,68 g	18,34 kPa
3M™ Novec™ 7000 sıvısını içeren aktüatör	4914,26 g	29,49 kPa

Tablo 4.3'e göre en yüksek kuvvet ve basıncı 4914,26 g ve 29,49 kPa ile 3M™ Novec™ 7000 içeren aktüatör uygulamıştır. %40 3M™ Novec™ 7100 ve %60 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör ise 3056,68 g kuvvet ve 18,34 kPa basınç uygulamıştır. %50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör(277,88 g, 1,67 kPa) ve 3M™ Novec™ 7100 sıvısını içeren aktüatör(50,7 g, 0,3 kPa) de düşük performansı göstermiştir.

4.1.3. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Sıcaklık/Aktüatör Testi Sonuçları

Güç kaynağına(Keithley 2231A-30-3) bağlanan aktüatörlerin 12 V-0,630 A akım altında termal kamera(Testo-885) ile aktüatördeki zamana bağlı sıcaklık verileri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Aktüatörlerin zamana bağlı sıcaklık verileri

Şekil 4.3'e bakıldığında sıcaklığın zamanla doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Grafikte sıcaklık ve zaman verileri, içeriği farklı olan dört aktüatörde de aynı performansı göstermiştir. Güç kaynağının içindeki sıvı fark etmeksizin aktüatörlere eşit sıcaklığı sağladığı görülmüştür. Bu eşit performans, güç kaynağının sorunsuz şekilde çalıştığını göstermektedir.

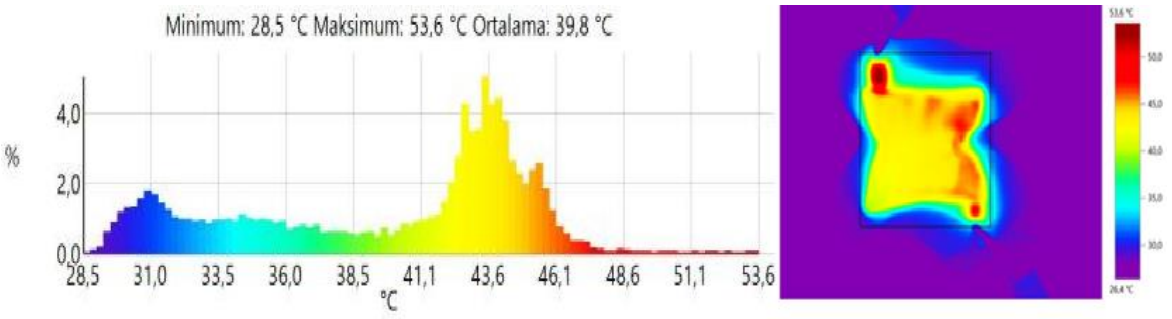
Şekil 4.3'deki sıcaklık-zaman grafiğinin eğim çizgisine ait regresyon verileri Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Aktüatörlerin sıcaklık- zaman grafiği eğimine göre regresyon verileri

Düzeltilmiş R^2 değeri	0,949
R2 (korelasyon katsayısı)	0,976
Eğim çizgisinin denklemi	y=3,73x + 24,7

Tablo 4.4'e bakıldığında düzeltilmiş R^2 değerinin 1'e yakın olduğu, korelasyon katsayısının ise 0,80'den büyük olduğu gözlenmiştir.

İçerisine %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 enjekte edilmiş aktüatörün maksimum 53,6°C'ye kadar ısıtılmasıyla elde edilen alan-sıcaklık dağılımı Şekil 4.4'de verilmiştir.

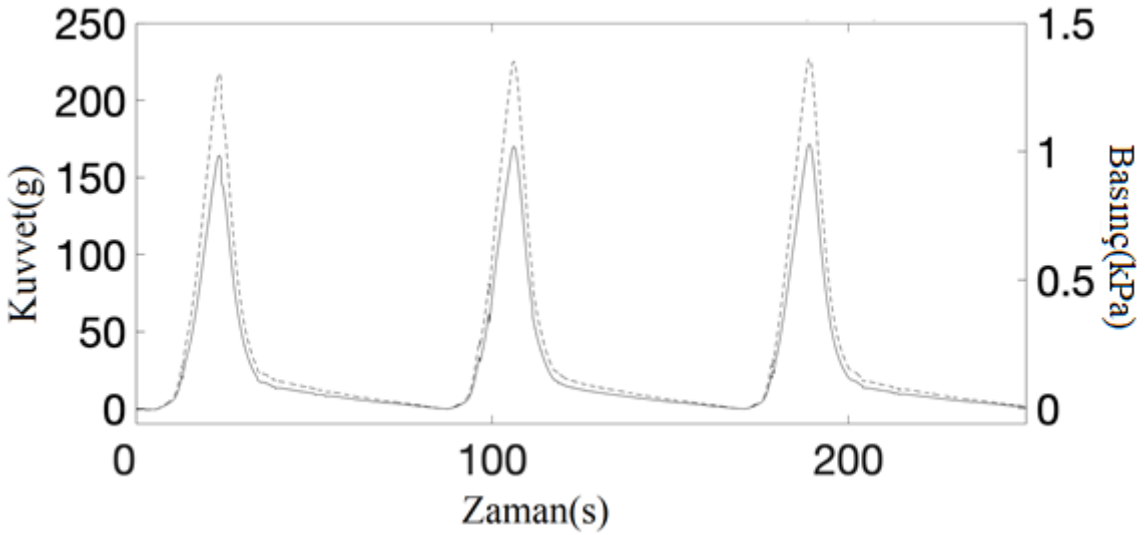


Şekil 4.4. %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 enjekte edilmiş aktüatörün kaynama anındaki alan-sıcaklık grafiği

Şekil 4.4'e bakıldığında 53,6°C'ye kadar ısıtılan aktüatörün alan-sıcaklık dağılımında homojenlik gözlenmiştir. Başlık 3.1.4.2'deki hesaplamalarda kaynama noktası sıcaklığı teorik olarak 44,8 °C bulunan %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 karışımlı sıvının uygulamada 38°C'de kaynamaya başladığı görülmüştür. 39,8°C'de aktüatörün her yerinde tam kaynama gözlemlenmiştir. Homojen olarak karışmış sıvının toplandığı yere bağlı olarak elde edilen bu verilere göre, içindeki sıvı miktarının gözle görülür şekilde en az olduğu durumda sıcaklık değerinin 40-46°C aralığında olduğu tespit edilmiştir.

4.1.4. Aktüatör İçin Membran ve Faz Değiştiren Sıvıların Uygulanmasının Uzun Dönem Dayanım Testi Sonuçları

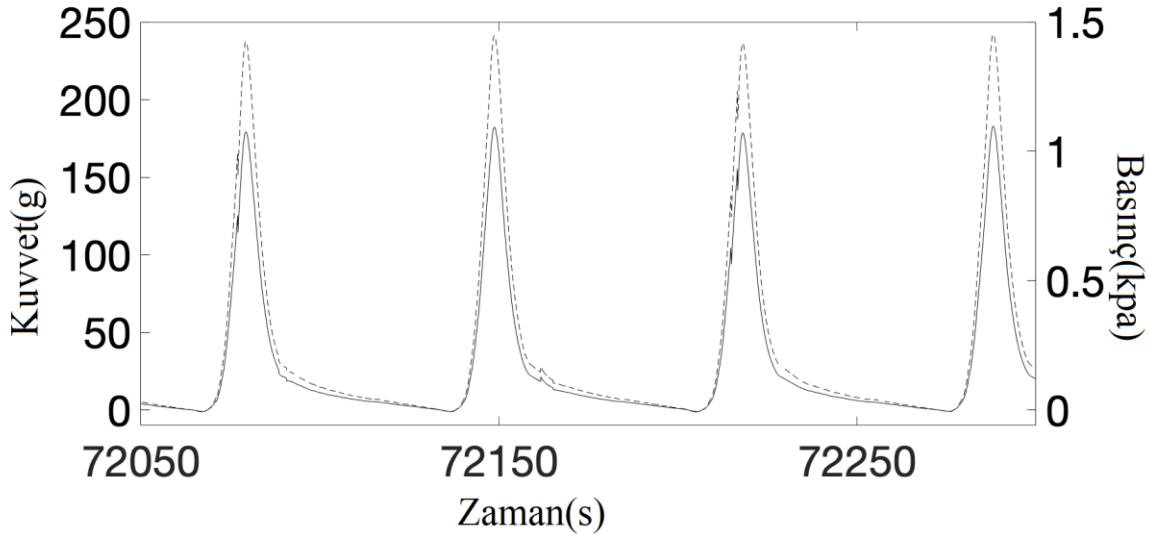
Şekil 4.5'e uzun dönem dayanım testine tabii tutulan aktüatörün ilk 250 s'deki zamana bağlı kuvvet ve basınç analizleri verilmiştir.



Şekil 4.5. Aktüatörün ilk 250 s'deki şişme-sönme performansı

Şekil 4.5'deki değerlere göre ilk 250 s boyunca aktüatörün 220 g-1,32 kPa 'ya kadar çıkıp pik yaptığı ve sonra söndüğü gözlenmiştir. Bu işlemin ilk 250 s boyunca düzenli bir şekilde 3 defa tekrarladığı görülmektedir.

Şekil 4.6'da uzun dönem dayanım testine tabii tutulan aktüatörün son 250 s'deki zamana bağlı kuvvet ve basınç analizleri verilmiştir.

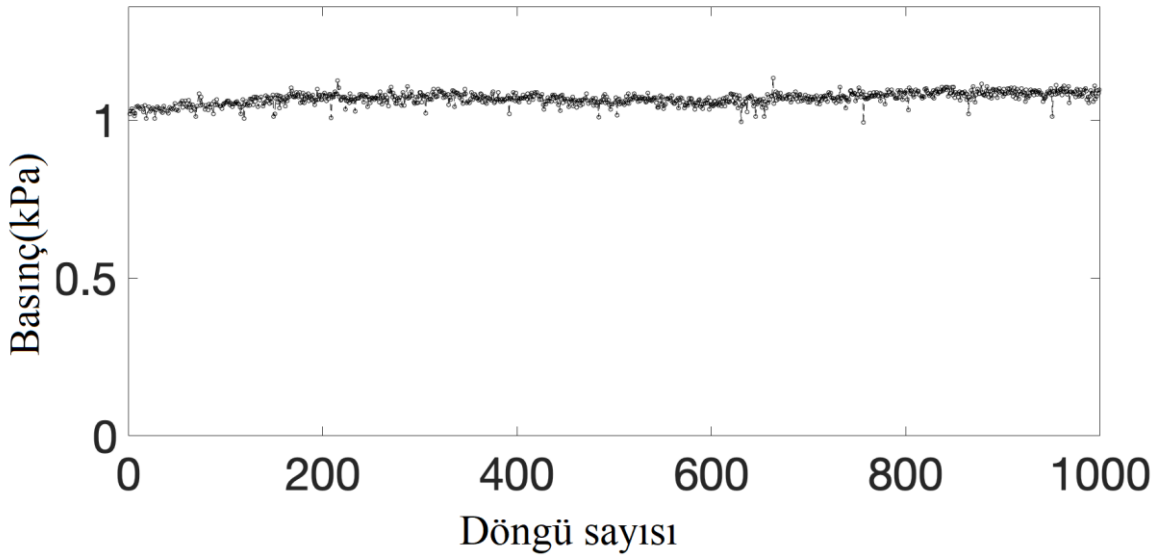


Şekil 4.6. Aktüatörün son 250 s'deki şişme-sönme performansı

Şekil 4.6'daki değerlere göre aktüatörün Şekil 4.8'deki gibi son 250 s'de de 220 g-1,32 kPa 'ya kadar çıkıp pik yaptığı ve sonra söndüğü gözlenmiştir. Bu işlemin son 250 s'de de düzenli bir şekilde 3 defa tekrarladığı görülmektedir.

20 saat süre ile aktüatör için yapılan 1000 defalık şişme-sönme testinin ilk ve son 250 s'deki performansları Şekil 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. Her iki şekle göre ilk 250 s'de ve son 250 s'de aktüatörün davranışı aynı olmuştur. Hiç kuvvet uygulanmayan aktüatör(0 g, 0 kPa), kuvvet uygulanınca her döngüde 220 g(1,32 kPa)'a kadar baskı uygulamıştır. Bu işlemin 1000 kere üst üste yapılması ile Şekil 4.7'deki veriler elde edilmiştir.

1000 kere şişirilip indirilen, 0,20 ml 3M™ Novec™ 7100 ve 0,30 ml 3M™ Novec™ 7000 karışım sıvısını içeren aktüatörün döngü sayısına göre basınç miktarları Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 sıvı içerikli aktüatörün 1000 kere şişirilmesi ve söndürülmesi ile gözlenen hareketlere ait grafik

Şekil 4.7'ye göre 1 kPa basınç kullanıldığı zaman döngü sayısı 0'dan 1000'e kadar bakıldığında sabit bir değer olarak devam ettiği görülmüştür.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında eldeki kas hastalıklarının tedavisi için tekstil tabanlı yumuşak aktüatör geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunun için de membran olarak TPE (termoplastik elastomer), TPU (termoplastik poliüretan), BOPP (Çift Eksenli Yönlendirilmiş Polipropilen), CPP (Gerdirilmemiş Polipropilen) ve PET/PE (Polietilen teraftalat/Polietilen) ve PA/PE(Poliamid/Polietilen) polimer filmleri ile çalışılmıştır. Aktüatörün içine ise 3M™ Novec™ 7000 sıvısı, 3M™ Novec™ 7100 sıvısı, 0,25 ml 3M™ Novec™ 7000 ve 0,25 ml 3M™ Novec™ 7100 karışımı ile 0,30 ml 3M™ Novec™ 7000 ve 0,20 ml 3M™ Novec™ 7100 karışımı olmak üzere farklı sıvılar enjekte edilerek analizler yapılmıştır. Elde edilen verilere göre bulgular aşağıda verilmiştir.

1. Aktüatör için membranların uygulanması sonucunda CPP ve BOPP filmler kumaşa entegre edilememiştir. TPE(Termoplastik elastomer)'de %1,41 , TPU(Termoplastik poliüretan)'da ise %0,46 kütle kaybı olmuştur. Bu da bu membranların gaz geçirgenliğinin çalışma için yeterli olmadığını göstermiştir. Membran seçiminde en önemli faktör gaz geçirgenliğinin düşük olmasıdır. Çünkü membran filmin içinde buharlaşma ve yoğuşma işlemleri olacağı için aktüatör içine enjekte edilen sıvı miktarında azalma olmaması gerekmektedir. Çalışmada kütle kaybı olmadığı için PET/PE(Polietilen teraftalat/Polietilen) ve PA/PE(Poliamid/Pelietilen) filmler arasında kalınmıştır fakat PET/PE, TPE ve TPU'nun 2 ay bekletildikten sonra şiştiği ve sönmediği gözlenmiştir. PA/PE filmin geçirgenlik açısından daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.
2. Aktüatör için membran ve faz değiştiren sıvıların uygulanmasının basınç-zaman performans testi sonucunda, kısa sürede hızla artan basıncı ile en iyi performans 3M™ Novec™ 7000 içeren aktüatör(18 s,3,86 kPa) ve %40 3M™ Novec™ 7100 ve %60 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatör(15 s,, 2,18 kPa) göstermiştir. Eldiven manipülasyon ile tedavi uygulamak amacıyla üretildiği için uygulanan basınç ve şişme-sönme hızı, çalışma için önemli parametrelerdir. %50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımını ve 3M™ Novec™ 7100 sıvısını içeren aktüatörler istenilen performansı göstermemiştir. Basınç ve zaman grafiğine dair yapılan regresyon analizlerinde, %50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000 karışımını içeren aktüatörün korelasyon sayısı 0,686 bulunmuştur. Bu değer, %50 3M™ Novec™ 7100 ve %50 3M™ Novec™ 7000

karışımını içeren aktüatör için basınç ve zaman ikilisinin arasındaki uyumun diğer üç farklı içerikli aktüatörden düşük olduğunu göstermiştir.

3. Aktüatör için membran ve faz değiştiren sıvıların uygulanmasının maksimum güç testi sonucunda, basınç-zaman testindeki gibi en iyi performans 3M™ Novec™ 7000 sıvısını(29,49 kPa) ve %40 3M™ Novec™ 7100 ve %60 3M™ Novec™ 7000 karışımını(18,34 kPa) içeren aktüatörler tarafından sağlanmıştır.
4. Aktüatör için membran ve faz değiştiren sıvıların uygulanmasının sıcaklık/aktüatör testi sonucunda farklı kaynama noktalarına sahip sıvılar arasında 38ºC'de kaynamaya başladığı için %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 karışımlı sıvıya karar verilmiştir. Sanchez ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada[68] kullanılan Novec™ 7000 sıvısı aktüatörde 61 ºC'de kaynarken bu çalışmada kullanılmaya karar verilen %60 Novec™ 7000- %40 Novec™ 7100 karışımlı ısı 38 ºC'de kaynamıştır. Bulunan sonuç vücut ısısına yakın olduğu için ısıtma süresini kısaltmak ve ısıtmak için kullanılan enerjiyi düşürmesi açısından Sanchez ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada kullanılan sıvıya göre avantaj sağlamıştır. Ayrıca aktüatörlere yapılan zamana bağlı sıcaklık testinin R^2'nin 0,976 bulunması sıcaklık-zaman uyumunu desteklemiştir.
5. Uzun dönem dayanım testi sonucuna göre üretilen aktüatörün 1000 defa şişip sönmesi ile Sanchez ve arkadaşlarının 200 döngü ile yaptığı çalışmadaki sonuç aynıdır. Sonuca göre, bir aktüatörün 20 saat içinde 1000 kere sorunsuz bir şekilde şişme ve inme davranışında bulunabileceği görülmüştür [68].

6.ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sistemin kontrol edilebilirliğini ve sorunsuz olarak çalıştığını ortaya koymuştur. Özellikle uzun dönem dayanım testi sonuçlarına göre elde edilen veriler, tez çalışmasının önemini ve başarısını kanıtlar niteliktedir.

Fakat kumaşa ve birbirine yapıştırma tekniği geliştirildiği takdirde, oksijen ve gaz geçirgenliğinin çok küçük olması sebebiyle BOPP veya CPP filmlerin kullanılmasının aktüatörün ömrünü daha da uzatacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Y. Tatar, 2013,Alt Ekstremite Ortezlerinde Temel Biyomekanik, c. 59, sayı suppl 1-499.

[2] S. G. Atcheson, J. R. Ward, ve W. Lowe, 1998, "Concurrent medical disease in work-related carpal tunnel syndrome", Arch. Intern. Med., c. 158, sayı 14, ss. 1506–1512, doi: 10.1001/archinte.158.14.1506.

[3] C. Huang, J. Holfeld, W. Schaden, D. Orgill, ve R. Ogawa, 2013, "Mechanotherapy: Revisiting physical therapy and recruiting mechanobiology for a new era in medicine", Trends Mol. Med., c. 19, sayı 9, ss. 555–564, doi: 10.1016/j.molmed.2013.05.005.

[4] L. Snyder-Mackler, A. Delitto, S. W. Stralka, ve S. L. Bailey, 1994, "Use of electrical stimulation to enhance recovery of quadriceps femoris muscle force production in patients following anterior cruciate ligament reconstruction", Phys. Ther., c. 74, sayı 10, ss. 901–907, doi: 10.1093/ptj/74.10.901.

[5] P. Ben-Galim, E. L. Steinberg, Y. Rosenblatt, N. Parnes, A. Menahem, ve R. Arbel, 2004, "A miniature and mobile intermittent pneumatic compression device for the prevention of deep-vein thrombosis after joint replacement", Acta Orthop. Scand., c. 75, sayı 5, ss. 584–587, doi: 10.1080/00016470410001466.

[6] N. Şahinoğlu Ural ve A. Uygur, 2015, "'Akıllı Tekstiller Ve Günümüzdeki Bazı Uygulamaları'", Sanat Tasarim Derg., sayı 5, ss. 25–29, [Çevrimiçi]. Available at: http://doi.doidestek.com.

[7] L. Van Langenhove ve C. Hertleer, 2004, "Smart clothing: A new life", Int. J. Cloth. Sci. Technol., c. 16, sayı 1–2, ss. 63–72, doi: 10.1108/09556220410520360.

[8] C. Haas, T. A. Butterfield, Y. Zhao, X. Zhang, D. Jarjoura, ve T. M. Best, 2013, "Dose-dependency of massage-like compressive loading on recovery of active muscle properties following eccentric exercise: Rabbit study with clinical relevance", Br. J. Sports Med., c. 47, sayı 2, ss. 83–88, doi: 10.1136/bjsports-2012-091211.

[9] H. Liu vd., 2016, "Thermal-electronic behaviors investigation of knitted heating fabrics based on silver plating compound yarns", Text. Res. J., c. 86, sayı 13, ss. 1398–1412, doi: 10.1177/0040517515612359.

[10] T. G, M. N, ve K. T, 2017, "Development and Characterization of Electric Heating Fabric Based on Silver Coated Nylon Yarn", J. Text. Eng. Fash. Technol., c. 1, sayı

6, ss. 1–4, doi: 10.15406/jteft.2017.01.00036.

[11] N. Lazarus ve B. Hanrahan, 2016, "Thermotherapy Platform Based on a Highly Stretchable Wireless Heater", Adv. Mater. Technol., c. 1, sayı 8, ss. 1–6, doi: 10.1002/admt.201600130.

[12] "Kas Hastalıkları". https://www.medicalpark.com.tr/kas-hastaligi/hg-2089 (erişim Oca. 22, 2021).

[13] S. J. Warden ve W. R. Thompson, 2017, "Become one with the force: Optimising mechanotherapy through an understanding of mechanobiology", Br. J. Sports Med., c. 51, sayı 13, ss. 989–990, doi: 10.1136/bjsports-2017-097634.

[14] Mechanotherapy, "mechanotherapy @ www.reha.lviv.ua". http://www.reha.lviv.ua/mechanotherapy.0.html (erişim Eyl. 12, 2020).

[15] Genesis, "index @ genesis-ems.com". http://genesis-ems.com/mechanotherapy (erişim Eyl. 12, 2020).

[16] L. Connelly, Y. Jia, M. L. Toro, M. E. Stoykov, R. V. Kenyon, ve D. G. Kamper, 2010, "A pneumatic glove and immersive virtual reality environment for hand rehabilitative training after stroke", IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng., c. 18, sayı 5, ss. 551–559, doi: 10.1109/TNSRE.2010.2047588.

[17] Wikipedia, "Robotics". https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics (erişim Kas. 25, 2020).

[18] L. Nocks, 2007, The Robot: The Life Story of a Technology. Greenwood Publishing Group.

[19] "Robotic Industry News". https://www.robots.com/articles/three-types-of-robotic-systems (erişim Kas. 22, 2020).

[20] "Aktüatör Nedir?" https://pompa-vana.com/aktuator-nedir/ (erişim Ara. 23, 2020).

[21] "Robot Systems". https://prime.jsc.nasa.gov/ROV/systems.hsensorstml# (erişim Kas. 26, 2020).

[22] "All types of robots". http://www.robotpark.com.tr/Tum-Robot-Cesitleri (erişim Şub. 28, 2021).

[23] R. J. Full, "Invertebrate locomotor systems", Berkeley, California.

[24] M. H. Dickinson, T. F. Robert, M. A. R. Koehl, R. Kram, ve S. Lehman, 2000, "How Animals Move: An lntegrative View", c. 288, sayı April, ss. 100–106.

[25] D. Rus ve M. T. Tolley, 2015, "Design, fabrication and control of soft robots", Nature, c. 521, sayı 7553, ss. 467–475, doi: 10.1038/nature14543.

[26] A. D. Marchese, R. Tedrake, ve D. Rus, 2016, "Dynamics and trajectory optimization for a soft spatial fluidic elastomer manipulator", Int. J. Rob. Res., c. 35, sayı 8, ss. 1000–1019, doi: 10.1177/0278364915587926.

[27] C. D. Onal ve D. Rus, 2013, "Autonomous undulatory serpentine locomotion utilizing body dynamics of a fluidic soft robot", Bioinspiration and Biomimetics, c. 8, sayı 2, doi: 10.1088/1748-3182/8/2/026003.

[28] B. Mazzolai, L. Margheri, M. Cianchetti, P. Dario, ve C. Laschi, 2012, "Soft-robotic arm inspired by the octopus: II. from artificial requirements to innovative technological solutions", Bioinspiration and Biomimetics, c. 7, sayı 2, doi: 10.1088/1748-3182/7/2/025005.

[29] M. T. Tolley vd., 2014, "A Resilient, Untethered Soft Robot", Soft Robot., c. 1, sayı 3, ss. 213–223, doi: 10.1089/soro.2014.0008.

[30] A. D. Marchese, C. D. Onal, ve D. Rus, 2014, "Autonomous Soft Robotic Fish Capable of Escape Maneuvers Using Fluidic Elastomer Actuators", Soft Robot., c. 1, sayı 1, ss. 75–87, doi: 10.1089/soro.2013.0009.

[31] "PolymerFilms". https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Polymer+Films#:~:text=continuous layers of polymers up,%2C natural rubber%2C and cellulose. (erişim Ara. 04, 2020).

[32] R. J. Smith, C. T. Long, ve J. C. Grunlan, 2018, "Transparent Polyelectrolyte Complex Thin Films with Ultralow Oxygen Transmission Rate", Langmuir, c. 34, sayı 37, ss. 11086–11091, doi: 10.1021/acs.langmuir.8b02391.

[33] J. O. Stull, 1987, "Considerations for design and selection of chemical-protective clothing", J. Hazard. Mater., c. 14, sayı 2, ss. 165–189, doi: 10.1016/0304-3894(87)87012-7.

[34] Oxygen Tranmission Rates, "wvtr-otr-for-various-plastic-films @ www.blueridgefilms.com". https://www.blueridgefilms.com/blog-layout/wvtr-otr-for-various-plastic-films (erişim Eyl. 20, 2020).

[35] B. R. A. Hurley, A. Ouzts, J. Fischer, ve T. Gomes, 2013, "PAPER PRESENTED AT IAPRI WORLD CONFERENCE 2012 Effects of Private and Public Label Packaging on Consumer Purchase Patterns", Packag. Technol. Sci., c. 29, sayı January, ss. 399–412, doi: 10.1002/pts.

[36] "Boiling". https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Text

book_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Physical_Properties_of_Matter/States_of_Matter/Phase_Transitions/Boiling (erişim Kas. 26, 2020).

[37] S. I. Shtrygol' ve T. R. Grishina,1992, Electrically conductive textile coatings with PEDOT:PSS, c. 55, sayı 6.

[38] I. Tarakçıoğlu, 2002, Tekst. İşveren Derg., c. 276, sayı Türk ve Dünya Tekstili.

[39] H. T. Koichi Suzumori, Sholchi likura,1992, "4 K Suzumori", IEEE Control Syst. Mag, c. 12. ss. 21–27.

[40] C. Laschi, B. Mazzolai, ve M. Cianchetti, 2016, "Soft robotics: Technologies and systems pushing the boundaries of robot abilities", Sci. Robot., c. 1, sayı 1, ss. 1–11, doi: 10.1126/scirobotics.aah3690.

[41] S. Sanan, P. S. Lynn, ve S. T. Griffith, 2014, "Pneumatic torsional actuators for inflatable robots", J. Mech. Robot., c. 6, sayı 3, ss. 1–7, doi: 10.1115/1.4026629.

[42] M. Xu, Z. Cui, Z. Chen, ve J. Xiang,2004, "Design and Control of a Soft and Continuously Deformable 2D Robotic Manipulation System", IEEE Int. Conf. Robot. Autom. Proceedings. ICRA '04. 2004, c. 42, sayı 7, ss. 750–759, 2018, doi: 10.1002/fam.2629.

[43] P. Polygerinos, Z. Wang, K. C. Galloway, R. J. Wood, ve C. J. Walsh, 2015, "Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation", Rob. Auton. Syst., c. 73, ss. 135–143, doi: 10.1016/j.robot.2014.08.014.

[44] J. H. Tsai ve L. Lin, 2002, "A thermal-bubble-actuated micronozzle-diffuser pump", J. Microelectromechanical Syst., c. 11, sayı 6, ss. 665–671, doi: 10.1109/JMEMS.2002.802909.

[45] A. K. Henning, 2006, "Comprehensive model for thermopneumatic actuators and microvalves", J. Microelectromechanical Syst., c. 15, sayı 5, ss. 1308–1318, doi: 10.1109/JMEMS.2006.879665.

[46] J. G. Weng, S. Park, ve C. L. Tien, 2000, "Interfacial ambiguities in microdroplets and microbubbles", Microscale Thermophys. Eng., c. 4, sayı 2, ss. 83–87, doi: 10.1080/108939500403990.

[47] D. J. Kang, S. An, A. L. Yarin, ve S. Anand, 2019, "Programmable soft robotics based on nano-textured thermo-responsive actuators", Nanoscale, c. 11, sayı 4, ss. 2065–2070, doi: 10.1039/c8nr08215d.

[48] K. Wang, C. Cheng, E. Cardona, J. Guan, K. Liu, ve J. Wu, 2013, "Performance

limits of microactuation with vanadium dioxide as a solid engine", ACS Nano, c. 7, sayı 3, ss. 2266–2272, doi: 10.1021/nn305419e.

[49] H. Wang vd., 2019, "Large-Magnitude Transformable Liquid-Metal Composites", ACS Omega, c. 4, sayı 1, ss. 2311–2319, doi: 10.1021/acsomega.8b03466.

[50] S. A. Whalen, C. D. Richards, D. F. Bahr, ve R. F. Richards, 2007, "Characterization and modeling of a microcapillary driven liquid-vapor phase-change membrane actuator", Sensors Actuators, A Phys., c. 134, sayı 1, ss. 201–212, doi: 10.1016/j.sna.2006.04.038.

[51] J. Patel vd., 2019, "Determining Shelf Life of Ready-to-Eat Macaroni and Cheese in High Barrier and Oxygen Scavenger Packaging Sterilized via Microwave-Assisted Thermal Sterilization", Food Bioprocess Technol., c. 12, sayı 9, ss. 1516–1526, doi: 10.1007/s11947-019-02310-1.

[52] H. Zhang vd., 2019, "Color, vitamin C, β-carotene and sensory quality retention in microwave-assisted thermally sterilized sweet potato puree: Effects of polymeric package gas barrier during storage", Food Packag. Shelf Life, c. 21, sayı December 2018, s. 100324, doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100324.

[53] J. J. Liu vd., 2017, "Synthesis and characterization of high-barrier polyimide containing rigid planar moieties and amide groups", Polym. Test., c. 61, ss. 83–92, doi: 10.1016/j.polymertesting.2017.05.007.

[54] M. Rezaei, M. Mohseni, ve H. Yahyaei, 2016, "A study on water and oxygen permeability of BOPP coated with hybrid UV cured nanocoatings", Prog. Org. Coatings, c. 99, ss. 72–79, doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.05.006.

[55] Z. Zhang, I. J. Britt, ve M. A. Tung, 2001, "Permeation of oxygen and water vapor through EVOH films as influenced by relative humidity", J. Appl. Polym. Sci., c. 82, sayı 8, ss. 1866–1872, doi: 10.1002/app.2030.

[56] N. M. Barkoula, B. Alcock, N. O. Cabrera, ve T. Peijs, 2008, "Flame-Retardancy Properties of Intumescent Ammonium Poly(Phosphate) and Mineral Filler Magnesium Hydroxide in Combination with Graphene", Polym. Polym. Compos., c. 16, sayı 2, ss. 101–113, doi: 10.1002/pc.

[57] Statex, "Smart textiles". https://statex.de/en/ (erişim Haz. 12, 2020).

[58] Mobilhanem, "Arduino Sıcaklık Sensörü (LM35) ve Sıcaklık Ölçümü". https://www.mobilhanem.com/arduino-sicaklik-sensoru-lm35/ (erişim Eyl. 10, 2020).

[59] Aksedef Plastik, “Pa/Pe Film”. http://aksedefplastik.com.tr/file/PA-PE-VAKUM-TORBA-70-MIC.pdf (erişim Haz. 08, 2020).

[60] 3M, “Engineered Fluids”. https://www.3m.com/3M/en_US/company-us/all-3m-products/~/All-3M-Products/Chemicals/Chemicals/Novec/Engineered-Fluids/?N=5002385+8710710+8711017+8716712+8717595+8734647+8745514+3294857497&rt=r3 (erişim Nis. 04, 2020).

[61] BVV shop, “Best Value Vacs Heat Pad”. https://shopbvv.com/products/10-vacuum-chamber-digital-heat-pad (erişim Eyl. 30, 2020).

[62] Serfoto, “Isı Pres Makinesi”. https://www.serfoto.com.tr/kr1702-otomatik-transfer-baski-presi-38x38 (erişim Eyl. 30, 2020).

[63] K. Instruments, 2014“Model 2231A -30-3 Triple-channel DC Power Supply Reference Manual”, sayı September.

[64] “DK Teknoloji”. https://www.dkteknoloji.com/blog/icerik/dijital-multimetre-nedir (erişim Eki. 28, 2020).

[65] “Proskit MT-1280 multimeter”. https://www.kartalotomasyon.com.tr/MT-1280-Dijital-Multimetre,PR-168.html (erişim Eki. 28, 2020).

[66] “Testo”. https://www.testo.com/tr-TR/testo-885/p/0563-0885-X1 (erişim Eki. 25, 2020).

[67] “Loadcell”. https://www.direnc.net/10kg-yuk-hucresi-hx711-modul-agirlik-takimi (erişim Ara. 27, 2020).

[68] V. Sanchez vd., 2020, “Smart Thermally Actuating Textiles”, Adv. Mater. Technol., c. 5, sayı 8, ss. 1–10, doi: 10.1002/admt.202000383.

[69] O. Atalay, A. Atalay, J. Gafford, ve C. Walsh, 2018, “A Highly Sensitive Capacitive-Based Soft Pressure Sensor Based on a Conductive Fabric and a Microporous Dielectric Layer”, Adv. Mater. Technol., c. 3, sayı 1, ss. 1–8, doi: 10.1002/admt.201700237.

[70] J. M. Bellapianta, W. F. Lavelle, E. D. Lavelle, I. Onyedika, D. Economedes, ve R. Whipple,2009, Hand pain, First Edit. Elsevier Inc.

[71] W. Zhao ve Y. Tang, 2017, “Effects of lipid, PET/PE and PA/PE with high-pressure processing”, Int. J. Food Prop., c. 20, sayı 4, ss. 801–809, doi: 10.1080/10942912.2016.1181650.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini İstanbul'da tamamladı. Lise öğrenimini İstanbul Beylikdüzü Cahit Zarifoğlu Lisesi'nde tamamlamasının ardından 2010 yılında Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Kimya mühendisliği bölümünden mezun oldu. Lisans mezuniyetinin peşi sıra Bes Plastik AŞ'de kalite sistem sorumlusu olarak çalıştı. Bir yıl çalıştıktan sonra mesleki yeterlilik sertifikalarını tamamlamak ve dil eğitimi almak için işten ayrıldı. 2016 yılında yine bir plastik firması olan Ses Plastik AŞ'de üretim müdürü olarak çalışmaya başladı. 2019 yılında yüksek lisans yapmaya karar verip aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans eğitimine başladı. Yine aynı yıl YLSY bursu ile "Borlu Kompozit Malzeme Teknolojileri" üzerine İngiltere'de doktora eğitimi almaya hak kazandı. Halen Ses Plastik AŞ'deki görevine devam etmektedir.