T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ ÜRÜNLERİ TASARIMI ANA SANAT DALI

ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA ŞEKİL HAFIZALI MALZEME UYGULAMALARI

Yüksek Lisans Tezi

GÖKSUN SÖNMEZ

İstanbul, 2023

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
GÜZEL SANATLAR ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ ÜRÜNLERİ TASARIMI ANA SANAT DALI

ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA ŞEKİL HAFIZALI MALZEME UYGULAMALARI

Yüksek Lisans Tezi

GÖKSUN SÖNMEZ

Danışman: DOÇ. DR. ERKUT ERYAYAR

İstanbul, 2023

GENEL BİLGİLER

İsim ve Soyadı : Göksun Sönmez
Ana Sanat Dalı : Endüstri Ürünleri Tasarımı
Programı : Endüstri Ürünleri Tasarımı
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erkut Eryayar

Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans - Temmuz 2023
Anahtar Kelimeler : Endüstri Ürünleri Tasarımı, Akıllı Malzemeler, Şekil Hafızalı Malzemeler

ÖZET

ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA ŞEKİL HAFIZALI MALZEME UYGULAMALARI

Hafızasında orijinal şeklini koruyarak, sıcaklık, pH, ışık vb. çevresel uyarılar nedeniyle geçici şeklinden orijinal şekline dönüşebilen şekil hafızalı malzemeler, birçok ilginç uygulama alanına sahiptir. Bu malzemeler arasında en bilinen şekil hafızalı malzemeler mekanik özelliklerinden dolayı biyomedikal, tekstil, ilaç, mühendislik, savunma sanayi gibi uygulama alanlarına yönelik endüstriyel tasarım ürünler üretme imkanı sağlamaktadır. Bu derlemede, bir akıllı malzeme sınıfı olan şekil hafızalı malzemeler yapıları, özellikleri ve genel uygulamaları açısından tartışılacaktır. Ardından, "akıllı ürünler" tasarlamak için araştırılan şekil hafızalı malzemelerle ilgili çalışmalar sunulacaktır.

GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname	: Göksun Sönmez
Field	: Industrial Design
Programme	: Industrial Design
Supervisor	: Assoc. Prof. Dr. Erkut Eryayar
Degree Awarded and Date	: Master - July 2023
Keywords	: Industrial Design, Smart Materials, Shape Memory Materials

ABSTRACT

SHAPE MEMORY MATERIAL APPLICATIONS IN INDUSTRIAL PRODUCT DESIGN

The shape memory materials, which can transform from its temporary shape to its original shape due to environmental stimuli such as temperature, pH, light, etc. by preserving its original shape in its memory, have many interesting application areas. Among these materials, the most known shape memory materials provide the opportunity to produce industrial design products for application areas such as architecture, textile, biomedical, engineering, defence industry due to their mechanical properties. In this review, shape memory materials, a class of smart materials, will be discussed in terms of their structure, properties and general applications. Then, studies on shape memory materials investigated for designing "smart products" will be presented.

ÖNSÖZ

Günümüzde, endüstriyel ürün tasarımı ve malzeme bilimi alanlarında yaşanan hızlı gelişmeler, geleceğin ürünlerinin tasarımını şekillendiriyor. Bu tasarım sürecinde, malzemelerin özellikleri ve kullanımı, son ürünün kalitesini, dayanıklılığını ve fonksiyonelliğini belirlemede kritik bir rol oynuyor. Bu tez, endüstriyel ürün tasarımında şekil hafızalı malzemelerin uygulamalarını incelemekte ve bu yenilikçi malzemelerin tasarım süreçlerine nasıl entegre edilebileceğini araştırmaktadır. Tasarım sürecinde şekil hafızalı malzemelerin kullanımı, ürünlerin sıradanlıktan sıyrılmasını, yenilikçi çözümler sunmasını ve kullanıcıların günlük yaşamlarını daha iyi hale getirmesini sağlayabilir. Şekil hafızalı malzemelerin temel prensipleri, tasarım ilkeleri ve pratik uygulamaları bu çalışmada incelenmiştir.

Bu tezin oluşturulmasındaki amacım, şekil hafızalı malzemelerin endüstriyel tasarım alanında yaratıcı ve etkili bir şekilde kullanılmasını teşvik etmektir. Bu malzemelerin geleceğin ürünlerinin tasarımında nasıl bir rol oynayabileceğini anlamak, bu alanın geleceği için kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmanın başarıyla tamamlanmasında bana rehberlik eden değerli danışman hocam Doç. Dr. Erkut Eryayar'a ve tüm Marmara Üniversitesi Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü hocalarıma, malzeme bilgimi edindiğim Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü hocalarıma, desteklerini esirgemeyen aileme ve bu süreçte yanımda olan meslektaşlarıma teşekkür ederim. Çalışmanın endüstriyel tasarım öğrencileri, mühendisler, tasarımcılar ve tüm ilgililere yararlı bir kaynak olmasını dilerim.

İstanbul, 2023 *Göksun Sönmez*

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

TABLO LİSTESİ..... iii
ŞEKİL LİSTESİ iv
SİMGELER..... vi

1. GİRİŞ..... 1

2. ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA MALZEME

2.1. Malzeme Seçimi ve Tasarım ……..…..... 3
2.2. Fenomenolojik Sınır 11
2.3. İleriye Doğru 12

3. MALZEMELERİN TEMEL KARAKTERİZASYONLARI

3.1. Geleneksel Malzeme Sınıflandırma Sistemleri 14
3.1.1. Malzeme Bilimi Sınıflandırmaları..... 14
3.1.2. Mühendislik Sınıflandırmaları..... 15
3.2. Malzemelerin Özellikleri ……..... 18
3.3. Genel Malzeme Sınıfları ……..... 21
3.4. Nano-malzemeler ……..... 24

4. ENERJİ: DAVRANIŞ, OLAYLAR VE ORTAMLAR

4.1. Enerjinin Temelleri 26
4.2. Termodinamik Yasaları 27
4.2.1. Termodinamiğin sıfırıncı yasası…… 28
4.2.2. Termodinamiğin birinci yasası……..…… 28
4.2.3. Termodinamiğin ikinci yasası……..… 29
4.2.4. Ekserji…….…… 29
4.3. Termodinamik Sınır 32
4.4. İnsan Çevresinin Yeniden Kavramsallaştırılması 33
4.5. Termal Ortam 34
4.5.1. Vücudun Termal Çevresi..... 34

4.6. Aydınlık Ortam 37
4.6.1. Işığın Nitelikleri……..…… 38
4.6.2. Vücudun Aydınlık Ortamı……. 41
4.7. Akustik Ortam 43
4.7.1. Kulakların Akustik Çevresi……... 46

5. AKILLI MALZEMELERİN TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

5.1. Temel Özellikler 47
5.2. Tip 1 Akıllı Malzemeler - Özellik Değiştiren 53
5.2.1. Şekil Hafızalı Malzemeler …..... 54
5.2.1.1. Yüksek Sıcaklık Şekil Hafızalı Alaşımları……..... 55
5.2.1.2. Manyetostriktif Malzeme…….. 55
5.2.1.3. Piezoelektrik Malzemeler…….. 56
5.2.1.4. Kaynaklı Enerji Tasarrufu Teknolojisi Olarak TiO_2 Kaplamalı Yüzeyler……... 57
5.3. Tip 2 Akıllı Malzemeler - Enerji Değişimi …..... 58

6. ŞEKİL HAFIZALI MALZEME UYGULAMALARI

6.1. Fenomenolojik Bir Bakış Açısı 59
6.2. Ürün Teknolojileri Ve Formları …..... 59
6.3. Uygulamalar: Şekil Hafızalı Malzeme Ürün Formları 66
6.3.1. Malzeme Odaklı Tasarım Uygulamaları……... 72
6.3.1.1. Renk Değiştiren Malzemeler……. 76
6.3.1.2. Renk Değiştiren Malzemelerle Tasarım…… 77
6.4. Örnek Uygulama…..…….... 86
6.4.1. Tıbbi Cihaz Ambalajı……..……..…… 86
6.4.2. Tıbbi Cihaz Akıllı Ambalaj Tasarımı…….……..... 91
6.4.3. Şekil Hafızalı Nitinol Kullanımı…… 96
7. SONUÇ..... 99

KAYNAKÇA..... 102

TABLO LİSTESİ

Sayfa No.

Tablo 1 : Malzeme Özelliklerinin Sınıflandırılması.....5

Tablo 2 : Malzemelerin Özelliklerine Göre Karşılaştırılması……9

Tablo 3 : Malzemelerin Sınıflandırılması……10

Tablo 4 : Mühendislik Malzemeleri…….……...…16

Tablo 5 : Yüksek performanslı mukavemet veya sertlik uygulamaları için tasarlanan kompozit malzemelerin genel yapısı……...…21

Tablo 6 : Akıllı Malzemelerin Uyarıcılara Göre Kuvvet Üretimi……..51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 1 : Tarihsel süreçte mühendislik malzemelerinin gelişimi……..4

Şekil 2 : Üretimde kullanılan mühendislik malzemeleri.....6

Şekil 3 : Ürün tasarımında mühendislik malzemeleri……..7

Şekil 4 : İki esnek kompozit levha …….23

Şekil 5 : Kompozitlerde kullanılan tipik malzemeler…….24

Şekil 6 : Karbon nanotüpler……25

Şekil 7 : Alan göçü ve yeniden yönlendirme nedeniyle uygulanan manyetik alan H etkisi altındaki malzemelerde manyetostriksiyon (e)…….……...55

Şekil 8 : Piezoelektrik fan kanadı testi……..…….…….57

Şekil 9 : Şekil hafızalı polimer örneği……..…….…….62

Şekil 10 : Camsı geçiş sıcaklığındaki değişimine göre şekil değişimi……..……..63

Şekil 11 : Isıyla formu değişen şekil hafızalı polimerden yapılmış bardak kılıfı…...…64

Şekil 12 : Şekil hafızalı polimer malzeme……...66

Şekil 13 : Alterswohnen Binası, İsviçre, 2004……...…67

Şekil 14 : Yapı dış cephe kaplama ürünü……....68

Şekil 15 : Multi-Pede sandalye……....69

Şekil 16 : Şekil hafızalı koltuk……...…70

Şekil 17 : Şekil hafızalı koltuk……..…71

Şekil 18: A- Alttan yayan elektrolüminesan numune ve üstten yayan elektrolüminesan numune için iki farklı katmanlama dizisi kullanılması. B -Alttan yayan ve üstten yayan örneklerde basılı iletken yerine su kullanılması. C-Ayrılmış yapı arasında farklı iletken malzemeler kullanılması. D-Basılı malzemenin formunu değiştirerek elde edilen gradyan etkisi üst iletken. E- Fosfor tozu ve Silly-Putty ile tamir işlemi……...74

Şekil 19: Birden fazla şişkin temas noktasına sahip elektrominesans örnek……..…..75

Şekil 20: Elektrolüminesan ışık yoğunluğu ile hesaplamalı olarak karşılık gelen eylem……...……75

Şekil 21: Thick Cutlery Set (left) and Chained Fork (right), Katherina Kamprani……75

Şekil 22: Paper Torch, Nendo…….75

Şekil 23: UV radyasyonuyla görünür hale getirilen Tomoko Hashida, Yasuaki Kakehi ve Takeshi Naemura'nın Fotokromik Heykelleri, Tokyo Üniversitesi, 2011……..….78

Şekil 24: In Heat: Isıya Duyarlı Yüzeylerle Enstalasyon (solda) enstalasyonun genel görünümü, (sağda) ısıya duyarlı boya ile duvarlardan detay(Jürgen Mayer, HUA Gallery New York, 2005)…….…80

Şekil 25: Hanna Landin & Linda Worbin'in İmalat Çantası……...81

Şekil 26: Kirlilik izleme modası, Sue Ngo ve Nien Lan, New York, 2011……82

Şekil 27: 3B yazdırılmış çoklu malzeme tutucular. …….....84

Şekil 28: Dikroik Işık Alanı - James Carpenter'ın bir enstalasyonu, New York ……85

Şekil 29: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın steril kutusunda perspektif görüntüsü.….91

Şekil 30: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın kullanım aşamaları. (a)-Steril kutusundan çıkarılmış Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın ön görüntüsü. (b)- Ambalajın üst kapağı çıkarılıp Nitinol örgüyü açarak, tam ortada konumlanmış steril Biyopsi İğnesinin ambalajın içinden çıkarılması. (c)- İğne kullanıldıktan ve biyopsi örneği alındıktan sonra İğne tekrar yuvaya oturtulur ve Nitinol örgü elektrik enerjisi ile ısıtılarak eski şekline geri döner ve kapak kapatılır…….……..92

Şekil 31: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın kapalı ve açık Nitinol örgüsünün yakın plan ayrıntı görüntüsü…….….92

Şekil 32: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın kapalı ve açık Nitinol örgüsünün kesiti…….……93

Şekil 33: Tek kullanımlık Biyopsi İğnesi……94

Şekil 34: Tekrar kullanılabilir Biyopsi Tabancası……95

Şekil 35: Lazer kesim Nitinol stent…….….97

Şekil 36: Nitinol örgü stent…….….98

SİMGELER

Δ	Değişim/Fark
Q	Isı
W	İş
U	İç enerji
$\boldsymbol{E_k}$	Kinetik enerji
$\boldsymbol{E_p}$	Potansiyel enerji
T	Sıcaklık
A	Alan
E	Elektromanyetik radyasyon enerjisi
λ	Dalga boyu(m/devir)
ν	Frekans
c	Işığın hızı
h	Planck sabiti
V	Ortamda sesin hızı (m/s)
f	Frekans (devir/s)
pH	Asit/baz derecesi

1. GİRİŞ

Akıllı malzemeler günümüzde akıllı uçaklar, akıllı evler, şekil hafızalı tekstiller, mikro-makineler, kendi kendini monte eden yapılar, renk değiştiren boyalar, nano-sistemler gibi birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. Malzeme dünyasının kelime dağarcığı, ilk "akıllı malzemenin" ticari olarak kar kayaklarında ortaya çıktığı 1992 yılından bu yana önemli ölçüde değişmiştir. "Çevresine akıllıca tepki veren yüksek mühendislik ürünü malzemeler" olarak tanımlanan akıllı malzemeler, 21. yüzyılın teknolojik ihtiyaçları için başvurulacak cevap haline gelmiştir. NASA, hipersonik uçuşun geliştirilmesinden bu yana havacılık teknolojisindeki ilk büyük değişime öncülük etmek için akıllı malzemelere güvenmekte ve ABD Savunma Bakanlığı akıllı malzemeleri, akıllı turnikelerden bukalemun benzeri kıyafetlere kadar her şeyle donatılacak olan "geleceğin askerinin" arkasındaki temel teknoloji olarak öngörmektedir. Uygulama yelpazesinin diğer ucunda, 'PlayDoh' kadar basit oyuncaklar ve lazer yazıcılar ve otomobil hava yastığı kontrolleri gibi her yerde bulunan ekipmanlar, son on yılda bu teknolojinin sayısız örneğini içermektedir. Bu teknoloji, günlük hayatımızın pek çok alanına sızmış olsa bile geleceğimizin bir parçası olacaktır.

Akıllı malzemelerin bu denli "göz kamaştırıcı" hale getirilmesinde, bu malzemelerin görünüşte çok yakın bir zamanda ve aniden filizlendiği mirası sıklıkla unutulmakta. Simya 'bilimini' belgeleyen ilk metinler M.Ö. 300 gibi erken bir tarihe aittir. Metalurji o zamana kadar Yunanlılar ve Mısırlılar tarafından uygulanan gelişmiş bir teknoloji olmasına rağmen birçok filozof bu ampirik uygulamanın tatmin edici bir bilimsel teori tarafından yönetilmediğinden endişe duymaktaydı. Simya, bugün simyanın geç ortaçağ mistik ve şarlatanları tarafından uygulandığını düşünmemize rağmen, bu teori olarak ortaya çıkmıştır. Simya, yaşamının büyük bir bölümünde metallerin dönüştürülmesiyle ilişkilendirilmiş, ancak aynı zamanda belirli maddelerin görünümünü, özellikle de rengini değiştirme becerisiyle de büyük ölçüde ilgilenmiştir. Altın arayışını sık sık duysak da, çeşitli metallerin renklerini kraliyet rengi olan mora dönüştürmeye çalışmak da aynı derecede ilgi çekmekteydi.

O halde “akıllı malzemeleri” birbirinden ayıran nedir? Bu çalışma, önümüzdeki bölümlerde bu soruyu yanıtlamayı ve ayrıca tasarım meslekleri içinde bu teknolojik ilerlemenin özümsenmesi ve kullanılması için zemin hazırlamayı amaçlamaktadır. Teknolojilerin sürekli değişim halinde olduğu bilim odaklı mesleklerin aksine, başta endüstri ürünleri tasarımı olmak üzere tasarım mesleklerinin birçoğu 19. yüzyıldan bu yana nispeten az teknolojik ve maddi değişim görmüştür. Otomobiller bir asır öncesine göre büyük ölçüde değişmedi ve hala Sanayi Devrimi sırasında geliştirilen bina çerçeve sistemlerini kullanmaktayız. Akıllı malzemeler ve yeni teknolojiler üzerine yapacağımız araştırmalarda, alanımızın sunduğu benzersiz zorlukların her zaman farkında olmalı ve uygulamanın önündeki engellerin temel köklerinin bilincinde olmalıyız. Tasarım, yeni teknolojilerin benimsenmesinin getirdiği sorunları daha da artırmaktadır, çünkü malzeme seçiminin eldeki soruna hizmet ettiği diğer birçok alanın aksine, malzeme ve tasarım tarihleri boyunca ayrılmaz bir şekilde bağlantılı olmuş ve olacaktır.

2. ENDÜSTRİYEL ÜRÜN TASARIMINDA MALZEME

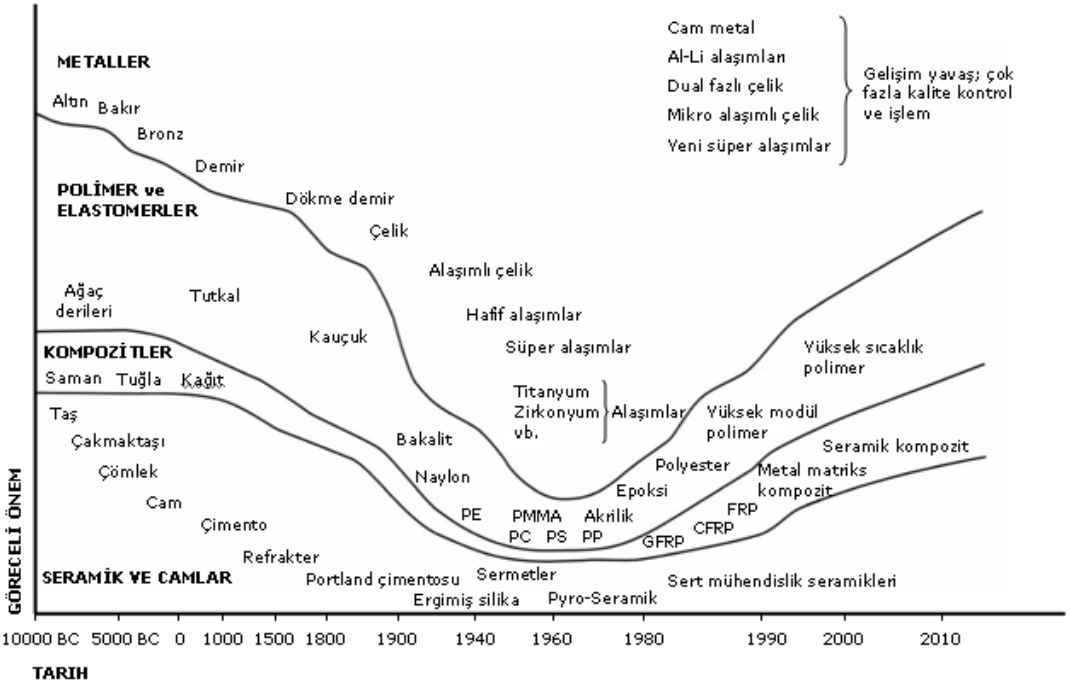
2.1. MALZEME SEÇİMİ VE TASARIM

Tasarımda malzeme seçimi, yeni bir uygulama için daha iyi özellikleri olan yeni bir malzeme seçmektir. Daha iyi özelliklerde bir ürün tasarlamak için önemli olan bu seçim, uygun üretim prosesleri ve malzeme özellikleri göz ardı edilerek yapılmamalıdır. Öncelikle, malzemelerin tasarımda eşsiz kombinasyonları var denebilir. Bir tasarımcı için en önemli konulardan biri, malzeme seçilirken bir bütün olarak ürünün performansının nasıl olacağıdır. Alınan karar hem ekonomik hem de güvenlik açısından üretim ve kullanıcı için yarar sağlamalıdır. Dolayısıyla, malzeme seçimi prosedürlerinin iyi bilinmesi ve uygulanması gerekir.

Çağlar, insanların kullandıkları malzemelerle adlandırılmıştır. Taş, bronz, demir, plastikler ve bugün silikon. İçinde bulunduğumuz yıllar sadece bir malzeme ile adlandırılamaz. Günümüzde şaşırtıcı derecede malzeme çeşitliliği ve kombinasyonuna sahibiz. Tarih boyunca malzeme geliştirme hiç bu kadar hızlı ve yaygın olmamış ve malzeme özellikleri böyle farklılaşmamıştı. Tarih öncesi malzemeler (Taş devri); seramikler, camlar, doğal polimerler ve kompozitlerden meydana gelmiştir. Geçmiş çağlarda silahlar; ağaç ve sert taştan, binalar ve köprüler; taş ve ağaçtan, giyecekler ise yün ve deriden yapılmıştı. Bakır, bronz ve demirin bulunması (Bronz Çağı M.Ö. 3300-1200 ve Demir Çağı M.Ö. 1800-1200) şaşırtıcı gelişme sağlamıştır. Eski ağaç ve taş silahların ve takımların yerini bu malzemeler almıştır. Dökme demir teknolojisi (1620'ler) metallerin mühendislikte hakimiyetini sağlamıştır. Çeliklerin geliştirilmesi (1850'den günümüze), hafif alaşımlar (1940'lar) ve özel alaşımlar, metalik malzemelerin pozisyonunu güçlendirmiştir. 1960'larda mühendislik malzemeleri denince metaller akla gelmekteydi.

Metallerdeki bu gelişmeler ile birlikte diğer malzeme sınıfları da önem kazanmaya başlamıştır. Refrakterler ve ergimiş silis gibi malzemeler seramikleri oluşturur. Sentetik kauçuk, bakalit ve polietilen (PE) gibi malzemeler ise polimerlere örnek verilebilir. Bu malzemelerin pazar payları geçmişte az iken 1960 yılından bugüne yüksek bir artış görülmüştür. Yeni metalik alaşımların gelişme hızı azalmıştır. Bazı

ülkelerin çelik ve dökme demir talebi düşmüştür. Polimerik malzemelerin pazar payı metalleri geçmiştir. Metal üretim endüstrisinin en büyük pazarı otomobilde de bu böyle olmuş, kompozit endüstrisi ve yüksek performanslı seramikler güçlü bir şekilde büyümüştür. (Özel, 2013, Kısım 1)



Şekil 1: Tarihsel süreçte mühendislik malzemelerinin gelişimi

Kaynak: Özel, A. (2013). Malzeme Seçimi ve Tasarımı. Metalurji ve Malzeme Semineri. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kısım 1

Herhangi bir yapının veya ekipmanın tasarımında tasarımcının çok geniş bir seçim alanı mevcuttur. Ancak önemli olan nokta, amaca uygun malzeme veya malzeme kombinasyonlarının seçimidir; aksi takdirde en ufak bir hata felaketlere yol açabilmektedir. Örnek verilecek olursa, II. dünya savaşında düşük kırılma tokluğuna sahip kaynaklanacak çelik levha seçimi nedeniyle bir tür ticari gemi sınıfı, gemi gövdelerindeki kaynak noktalarında meydana gelen kırılmadan ötürü ikiye bölünme şeklinde hasara uğramıştır.

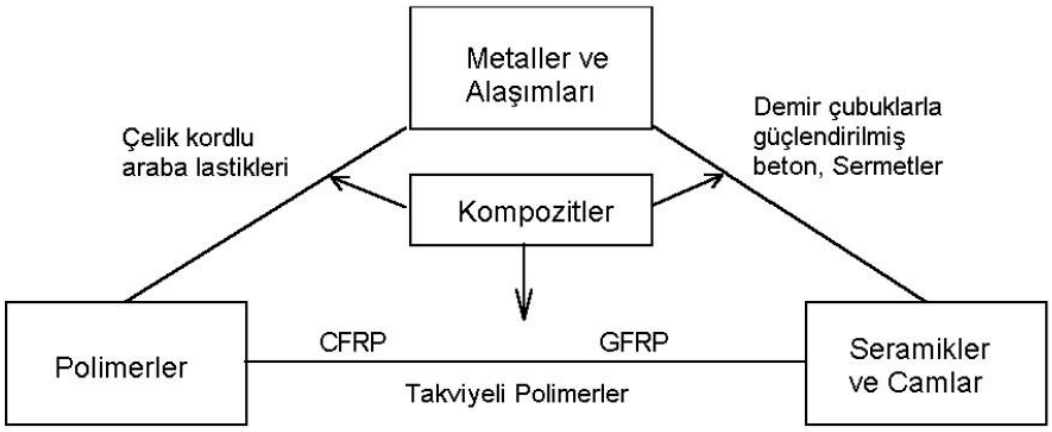
Tablo 1

Malzeme Özelliklerinin Sınıflandırılması

Ekonomik özellikler	Fiyat ve elde edilebilirlik
Mekanik özellikler	Yoğunluk Modül ve sönüm Akma/çekme mukavemeti Sertlik Kırılma tokluğu Yorulma mukavemeti, termal yorulma direnci Sürünme mukavemeti
Mekanik olmayan özellikler	Termal özellikler Optik özellikler Manyetik özellikler Elektriksel özellikler
Yüzey özellikleri	Oksidasyon ve korozyon Sürtünme ve aşınma
Üretim özellikleri	Üretim kolaylığı Fabrikasyon, birleştirme, son işlemler
Estetik özellikler	Görünüm, doku, kullanışlılık

Kaynak: Özel, A. (2013). Malzeme Seçimi ve Tasarımı. Metalurji ve Malzeme Semineri. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kısım 1

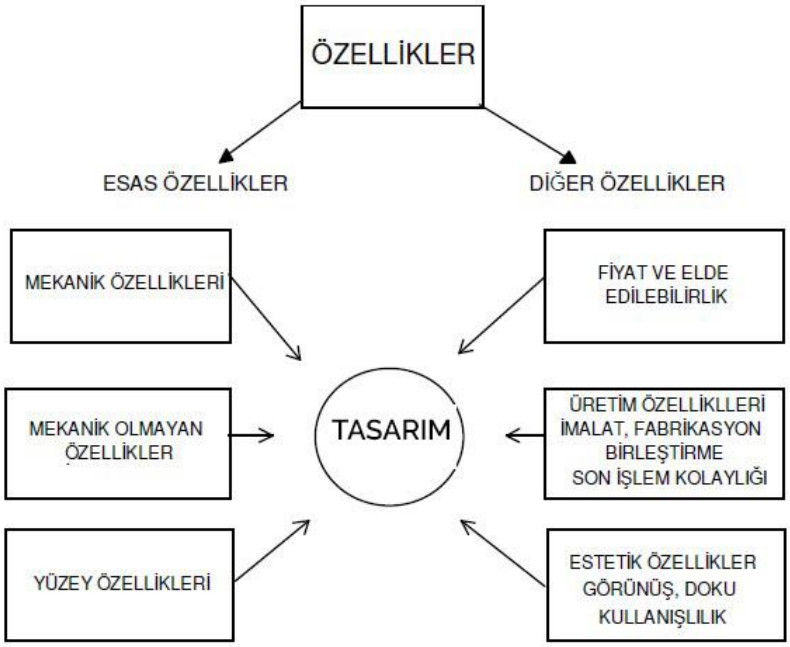
Endüstride metal-dışı malzemelerin kullanımı ise oldukça yaygın bir durum arz etmektedir. Yelkenli bir gezinti teknesi, geleneksel malzemeler olarak nitelendirilebilecek pamuk, ahşap ve çeliğin yerine kompozitlerin ve polimerlerin ne derece yaygın kullanıldığının güzel bir örneğidir. Çelik veya ahşap kullanıldığı takdirde paslanma veya ahşap kurtçukları tarafından tahrip edilebilecek bir tekne gövdesi daha düzgün bir görünüm veren ve yalnızca bir kalıplama aşamasıyla kolaylıkla üretilebilen cam-elyaf (fiber-glass) takviyeli polimerden yapılabilmektedir. Yelken direği ise ağaca nazaran daha hafif olan Alüminyum alaşımından üretilmektedir. Daha üstün performans gerektiren yelken direkleri Bor takviyeli alaşımlardan imal edilir. Yelken dokumalarında daha önceleri, doğal bir malzeme olan pamuk kullanılırken günümüzde bunun yerini polimer Terilen (yarış teknelerinde ise naylon) almıştır. Güverte kaplamalarında, şamandıralarda ve koruyucu anorak olarak ise PVC gibi polimerler uygulama alanı bulmuştur.



Şekil 2: Üretimde kullanılan mühendislik malzemeleri

Kaynak: Özel, A. (2013). Malzeme Seçimi ve Tasarımı. Metalurji ve Malzeme Semineri. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kısım 1

Örnek verilen kompozit malzemeleri üretim maliyetleri açısından ucuzundan pahalısına doğru cam-fiber takviyeli polimerler (GFRP), karbon-fiber takviyeli polimerler (CFRP) ve bor-fiber takviyeli alaşımlar (BFRA) şeklinde sıralayabiliriz. Halen büyümeye devam etmekte olan kompozit malzemeler grubu oldukça geniştir ve önümüzdeki yıllarda geleneksel olarak şimdilik Çelik ve Alüminyum alaşımlarının kullanıldığı birçok alanda bu malzemeler gittikçe artan oranda yer bulacaktır.



Şekil 3: Ürün tasarımında mühendislik malzemeleri

Kaynak: Özel, A. (2013). Malzeme Seçimi ve Tasarımı. Metalurji ve Malzeme Semineri. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kısım 1

Mühendislikte tasarım birçok faktörü kapsamaktadır. Bir malzemenin seçilebilmesi için hacim ve yüzey özellikleri (mukavemet ve korozyon direnci gibi) ile ilgili belirli kriterlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Fakat bununla birlikte, seri olarak üretilebilmeli, tüketici potansiyelin ilgisini çekebilmeli ve diğer alternatif malzemelerle ekonomik açıdan rekabet edebilmelidir.

Malzeme seçiminde genel olarak dikkate alınacak faktörler;

1. Mukavemet
2. Süneklik
3. Kararlılık
4. İmal edilebilirlik
5. Elde edilebilirlik
6. Korozyon direnci
7. Isı transfer özelliği
8. Maliyet

Birçok uygulama, bütün bu faktörlerin olmasını gerekli kılmaz fakat bazı uygulamalarda ek faktörlerin devreye girmesi de gerekebilir. Sıcaklık, çevre koşulları, uygulanan gerilmenin derecesi ve diğer faktörleri içeren imalat ve çalışma koşulları bilinmeden "uygun malzemeyi seçmek" zordur. (Özel, 2013, Kısım 1)

Tablo 2

Malzemelerin Özelliklerine Göre Karşılaştırılması

	Metaller (Fe, Çelik, Zn, Cu, Ni)	**Plastikler** (PVC, Bakalit)	**Seramikler** (Briket, Cm)	**Kompozitler** (Beton, Kontraplak)
Atomlar arası bağ	Metalik	Kovalent	İyonik	Makro düzeyde birleşme
Mukavemet	Yüksek	Düşük	Basma Mukavemeti Yüksek	Metal Komp.- İyi Plastik Komp.- Düşük
Isıl iletkenlik	Yüksek	Düşük	Düşük	Değişken
Elektrik iletkenliği	Yüksek	Düşük	Düşük	Değişken
Özgül ağırlık	Ağır	Hafif	Yüksek	Metal Komp.- Yüksek Plastik Komp.- Düşük
Plastik şekil verme kabiliyeti	İyi	Termoplastikler (İyi) Termoset (Yok)	Yok	Zayıf
Süneklik	Alüminyum-Sünek W - Gevrek	Termoplastik-Sünek Termoset-Gevrek	Sert, Gevrek	Plastik Komp.- Sünek Seremik Komp.- Gevrek
Darbe direnci	Çelik-Yüksek Kurşun -Düşük	Yüksek	Düşük	Plastik Komp.- Yüksek SMK-Düşük
Korozyon direnci	Paslanmaz Çelik-İyi Demir-Kötü	İyi	İyi	PMK-İyi MMK-Kötü

Kaynak: Özel, A. (2013). Malzeme Seçimi ve Tasarımı. Metalurji ve Malzeme Semineri. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kısım 1

Tablo 3

Malzemelerin Sınıflandırılması

Metal ve Alaşımları	- Demir ve çelikler - Alüminyum ve alaşımları - Bakır ve alaşımları - Çinko ve alaşımları - Nikel ve alaşımları - Titanyum ve alaşımları - Magnezyum ve alaşımları
Seramikler ve Camlar	- Alümina (Al2O3, zımpara, safir) - Magnezyum oksit (MgO) - Silisyum oksit (SiO2) camlar ve silikonlar - Silisyum karbür (SiC) - Silisyum nitrür (Si3N4) - Zirkonya - Borosilicate cam - Silica cam
Polimerler	- Polietilen (PE) - Polimetilmetaakrilit (PMMA, Mika) - Naylon - Polistren (polistrol) (PS) - Poliüretan (PU) - Polivinilklorür (PVC) - Kauçuklar - PP - PET - Polyster - Phenolics - Epoxy
Kompozitler	- Ahşap - Fiberglas (GFRP) - Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) - Takviyeli polimerler - Sermetler (Oksitli seramikler)

Kaynak: Özel, A. (2013). Malzeme Seçimi ve Tasarımı. Metalurji ve Malzeme Semineri. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kısım 1

2.2. FENOMENOLOJİK SINIR

Tüm bu çabaların çoğunda eksik olan, sınırların fiziksel olarak nasıl davrandığının anlaşılmasıdır. İnsanların tipik olarak kabul ettiği sınır tanımı Oxford İngilizce Sözlüğü tarafından sunulana benzer bir tanımdır: bir alanın sınırlarını işaretleyen gerçek veya hayali bir çizgi. Bu haliyle sınır statik ve tanımlıdır ve okunabilirlik (işaretleme) gerekliliği onun somut bir engel, dolayısıyla görsel bir obje olmasını öngörür. Ancak fizikçiler için sınır bir şey değil, bir eylemdir. Ortamlar enerji alanları olarak anlaşılır ve sınır, bir enerji alanının farklı durumları arasındaki geçiş bölgesi olarak çalışır. Bu nedenle, bir ortamın enerji alanı yüksek enerjiden düşük enerji durumuna veya bir enerji biçiminden diğerine geçerken bir değişim yeridir. Dolayısıyla sınırlar, tanımları gereği, sınırlandırmadan ziyade aktif aracılık bölgeleridir. Onları göremeyiz ya da bir yere sabitlenmiş bilinen nesneler olarak çizemeyiz.

Hegemonik 'görsel obje olarak malzeme' paradigmasını kırmak, düşünce tarzımızı tersine çevirmemizi gerektiriyor; sadece nihai sonucu görselleştirmek yerine, dönüştürücü eylemleri ve etkileşimleri hayal etmemiz gerekiyor. Bir zamanlar mavi bir duvar olan şey, izleyicinin konumuna ve güneşin konumuna yanıt veren küçük renk değiştiren noktalardan oluşan bir ağ ile simüle edilebilir. Büyük HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemleri, doğrudan insan vücudunun ısı değişimine yanıt veren, ayrı ayrı konumlandırılmış mikro makinelerle değiştirilebilir. Buna ek olarak, malzemenin geçici davranışını araştırarak, statik düzlemsel yüzeyin ayrıcalığına meydan okuyoruz. 'Sınır' artık malzeme yüzeyi ile sınırlandırılmıştır. Akıllı Malzemeler ve Yeni Teknolojiler tasarımda sadece malzemeler değildir, bunun yerine değişimin gerçekleştiği bölge olarak yeniden yapılandırılabilir. Akıllı malzemeler, geçici davranışları ve enerji uyaranlarına yanıt verme yetenekleriyle, nihayetinde bireyin duyusal deneyimlerinin seçici bir şekilde oluşturulmasını ve tasarlanmasını sağlayabilir. Tasarımcılar bu alternatif paradigmayı uygulayacak ve kullanacak ya da en azından titizlikle araştıracak bir konumda ya da gelişim halinde mi? Bu noktada cevap büyük olasılıkla hayırdır, ancak devam eden fiziksel araştırmalardan ve diğer tasarım alanlarından teknolojinin gelecekteki kullanımına dair bakış açılarından elde edilen fırsat tohumları vardır. Fizik alanındaki ilerlemeler fiziksel fenomenlerin yeni bir şekilde anlaşılmasına, biyoloji ve

nöroloji alanındaki ilerlemeler ise insan duyu sistemine ilişkin yeni keşiflerin yapılmasına yol açmıştır. Dahası, akıllı malzemeler diğer birçok alanda kapsamlı bir şekilde denenmiş ve hızla benimsenmiştir - oyuncaklardan otomotiv bileşenlerine kadar çok çeşitli ürünlerde ve kullanım alanlarında kendilerine yer bulmuşlardır. Bizim görevimiz, diğer disiplinlerde edinilen bilgileri incelemek, ancak endüstrinin benzersiz ihtiyaçlarına ve olanaklarına uygun bir uygulama çerçevesi geliştirmektir. (Addington ve Schodek, 2005, s.7)

2.3. İLERİYE DOĞRU

Akıllı malzemelerin geliştirilmesi ve uygulanmasındaki engellerden biri olarak uzun süredir hangi disiplinin araştırma çabalarını 'sahiplenmesi' ve yönlendirmesi, uygulamaları ve performansı denetlemesi gerektiği konusundaki kafa karışıklığı kabul edilmektedir. Akıllı malzemelerin 'keşfinin' iki kimyacıya (Jacques ve Pierre Curie'ye) atfedilmesine rağmen, makine mühendisliği ve elektrik mühendisliği disiplinleri şu anda mülkiyeti paylaşmaktadır. Makine mühendisleri enerji uyaranları, kinematik (aktif) davranış ve malzeme yapısı ile ilgilenirken, elektrik mühendisleri mikroelektronik (birçok akıllı sistem ve düzeneğin temel bir bileşeni) ve operasyonel platformdan (paketleme ve devre) sorumludur. Ayrıca, elektrik mühendisleri minyatürleştirme çabalarına öncülük etmiştir ve bu nedenle, çoğu geleneksel malzeme için makine mühendisliğinde yer alacak olan imalatın çoğu, bunun yerine elektrik mühendisliği şemsiyesi altındadır.

Bu ittifak yeni teknolojilerin ve malzemelerin geliştirilmesinde oldukça etkili olmuş, ancak uygun uygulamaların belirlenmesi konusunda daha az etkili olmuştur. Sonuç olarak, akıllı malzemeler arenası genellikle 'teknoloji hamlesi' ya da başka bir deyişle sorun arayan teknolojiler olarak tanımlanmaktadır. Bu, akıllı malzemelere genel bakış ve tartışmalarda sıklıkla gündeme getirilen bir konu olsa da, genel olarak teknolojilerin hızlı evrimi ve dönüşümü nedeniyle bir şekilde geçersiz kılınmıştır. Birçok endüstri, yeni ürünler geliştirildikçe ve eskileri yenilendikçe teknolojileri rutin olarak benimsemekte ve bir kenara atmaktadır. Yeni bir akıllı malzeme veya teknolojinin bilgisi kamusal alana girer girmez, her büyüklükteki ve her türden endüstri bunu denemeye başlayacak ve kare delikler için yuvarlak mandalları ortadan kaldıracaktır. Teknolojiyi

bir sorunla eşleştirmeye yönelik bu deneme yanılma süreci, daha normatif olan 'önce sorun' gelişimsel sıralaması gerçekleşseydi fark edilmeyecek olan benzeri görülmemiş uygulama fırsatlarının önünü açabilir. Ancak endüstriyel tasarım için bu tersine dönüş çok daha sorunludur.

Çoğu alanda, teknolojiler sürekli bir evrim ve eskime döngüsünden geçer; sonuç olarak, yeni malzemeler ve teknolojiler kolayca özümsenebilir. Ancak endüstriyel tasarımda, teknolojilerin çok uzun ömürleri vardır ve bilim dışında birçok faktör kullanımlarını ve uzun ömürlülüklerini belirler.

Tasarımcılar, çalışma prensiplerinin kullanımdaki teknolojiler arasında en sofistike olanlardan biri olduğunun bilinciyle, bu gelişen teknolojileri ve malzemeleri keşfetmeye ve kullanmaya nasıl başlayabilir? Tasarım doğası gereği disiplinler arası bir meslek olsa da, uygulaması tasarımcıları sürecin yöneticisi ve kilit karar verici olarak merkeze koymaktadır. Artık ulaşmamız gereken disiplinler, sadece makine ve elektrik mühendisliği değil, aynı zamanda biyolojik bilimler de çok az ortak zemine sahip. Bilgi tabanımız, uygulama alanımız ve hatta dilimiz bile akıllı malzemeler alanındakilerden farklıdır. Nihayetinde, bu malzemeleri kullanmamız bizi fizik prensiplerini manipüle etme gibi baş döndürücü bir role sokacaktır. (Addington ve Schodek, 2005, s.11)

Bir molekül, bir malzeme, bir kompozit, bir montaj veya bir sistem olsun, 'akıllı malzemeler ve teknolojiler' aşağıdaki özellikleri sergileyecektir:

* Anındalık - gerçek zamanlı olarak yanıt verirler.

* Geçicilik - birden fazla çevresel duruma yanıt verirler.

* Kendi kendini harekete geçirme - zeka 'malzemenin' dışından ziyade içindedir.

* Seçicilik - yanıtları ayrı ve öngörülebilirdir.

* Doğrudanlık - tepki 'aktive edici' olaya yereldir.

3. MALZEMELERİN TEMEL KARAKTERİZASYONLARI

3.1. GELENEKSEL MALZEME SINIFLANDIRMA SİSTEMLERİ

3.1.1. Malzeme Bilimi Sınıflandırmaları

Sınıflandırmaya yönelik malzeme bilimi yaklaşımı, doğrudan malzemelerin temel içyapısının anlaşılmasına yöneliktir. Sonuç olarak, bu sistemin bileşimsel olarak yönlendirildiğini düşünebiliriz. Farklılaşmanın en temel seviyesi, tek tek atomlar arasındaki bağ kuvvetleri ile başlar. İster iyonik, ister kovalent, ister metalik veya Van der Waals olsun, bu bağlanma kuvveti nihayetinde malzemeler arasındaki birçok içsel özelliği ve önemli davranışsal farklılıkları belirleyecektir. Bir sonraki açıklama seviyesi, bu bağ kuvvetlerinin çeşitli moleküler ve kristal katı yapılar oluşturmak için atomlar arasında farklı türde birleşme modelleri üretme şekline bağlıdır. Bu daha büyük birleşme modelleri, moleküler yapılarının nasıl dallandığı veya bağlandığı veya kristal katılarda, farklı birim hücre türleri ve yüz merkezli veya gövde merkezli gibi ilgili uzamsal kafes yapıları ile daha da farklılaştırılabilir. Örneğin elmas, kübik kristal yapıya sahip kovalent bağlı bir malzemedir. En üst seviyede, seramikler, metaller veya polimerler gibi geniş tanımlayıcı kategoriler yer alır ve bu sınıflar arasındaki sınırlar, sınıflandırma sisteminin alt seviyelerinde olduğu kadar belirgin olmasa bile bize tanıdık gelir - silikonlar, seramikler ve plastikler arasında yer alır ve birçok yarı iletken, bir metal veya seramik olabilir. Malzemelerin bu şekilde sınıflandırılması birçok nedenden dolayı son derece kullanışlıdır. Özellikle, sınıflandırmalarda yansıtılan anlayışlar, farklı malzemeleri karakterize eden belirli nitelikleri veya özellikleri (örneğin, sertlik, elektrik iletkenliği) tanımlamanın bir yolunu sağlar. Atomik ve moleküler düzeydeki özelliklerin bilinmesi, akıllı malzemelere ilişkin izlenimimizi 'gee-whiz' malzemelerden, bilimsel olarak tanımlanmış nitelikler ve davranışlar aracılığıyla onları anlamaya dönüştürebilir. Sonuç olarak, farklı niteliklere veya özelliklere sahip malzemeler tasarlamak için bir yöntem geliştirmek için de bir temel sağlar. (Addington ve Schodek, 2005, s.21)

3.1.2. Mühendislik Sınıflandırmaları

Uygulamalı sınıflandırma yaklaşımları Tablo 4 ve Tablo 5'te gösterilmektedir. Bu türler öncelikle makine mühendisliği mesleğinde mühendisin kullanımına hazır yaklaşık 300.000 malzemenin (sadece çeliğin 2000'den fazla çeşidi vardır) temel problem çözme özelliklerini birbirinden ayırmak için kullanılır. Malzeme bilimcilerinin hiyerarşik organizasyonundan ziyade, mühendislik sınıflandırması, mühendisin eldeki sorunu veya ihtiyacı en iyi şekilde çözmek için özellikleri ve nitelikleri karıştırmasına ve eşleştirmesine olanak tanıyan bir haritalamadır. Mühendislik alanındaki malzemeler ne yapabildiklerine, nasıl davrandıklarına ve nelere dayanabildiklerine göre seçilir. İlk olarak kullanım için fiziksel kriterler belirlenir ve bir malzeme en iyi uyumu veya en azından belirli kriterler için en kabul edilebilir uzlaşmayı sağlayacak şekilde seçilir veya tasarlanır. Malzeme bilimi sınıflandırması bir malzemenin nasıl oluştuğunu açıklıyorsa, mühendislik sınıflandırması da ne işe yaradığını açıklar. Ayrıca, odak noktası her zaman pratik olduğundan, yani malzeme bir üründe veya süreçte kullanılacağından, kategorilerin çoğu oldukça pragmatiktir. Örneğin, önemli bir kategori uygulamanın ortamıdır: malzeme korozif bir atmosferde çalışabilir mi, deniz suyuna batırılmaya dayanabilir mi? Yine diğer mühendislik sınıflandırmaları, durum ve bileşim gibi daha temel tanımlayıcı kategorilere eşit öneme sahip kategoriler olarak maliyet, bulunabilirlik veya geri dönüştürülebilirliği içerebilir.

Tüm mühendislik uygulamalarında nihai hedef, malzeme türü ne olursa olsun, belirli bir durum için bir malzeme özelliğinin optimizasyonu olsa da, ek kriterler görünüşte sonsuz olan seçenekleri hızla daraltacaktır. Birçok endüstri, malzeme seçimini kendi kullanımlarına uygun olanlara indirgemeye yardımcı olmak için kendi sınıflandırma sistemlerini geliştirmiştir. Örneğin, yalnızca demir içeren malzemelerle ilgilenen Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü, alaşım bileşimi, karbon içeriği ve işleme yöntemini kapsayan basit bir numaralandırma sistemi benimsemiştir. Amerikan Kaynak Birliği ise elektrot malzemelerini çekme mukavemeti, kaynak tekniği ve pozisyona göre kategorize ederek daha da spesifik bir yaklaşım benimsemiştir. Sınıflandırma sisteminin kaynağı ne olursa olsun, her biri malzemenin yararlı davranışının temelini oluşturan özellikleri açıkça vurgulamaktadır. Mühendislik sınıflandırmasının davranış odağı,

malzeme bilimcisinin daha bileşimsel odaklı sistemi tarafından destekleneceği gibi yeni malzemelerin doğrudan geliştirilmesine yol açması muhtemel değildir. Bununla birlikte, bir malzemeden ziyade bir özelliğin optimizasyonu için çalışarak, davranışa odaklanmak yeni malzemelere karşı daha dostça bir yaklaşımdır. Malzeme özellikleriyle tanımlanan arzu edilen davranışlar, belirli malzemeler veya teknolojiler için bir tercihe sahip değildir ve sonuç olarak deneylere ve yeni çözümlere daha uygun ve daha açık olacaktır.

Tablo 4

Mühendislik Malzemeleri

<table>
<tr><td rowspan="2">Ferro Metaller</td><td>Çelikler</td><td colspan="2">Karbon-Düşük Alaşımlı Çelikler
Yüksek Alaşımlı Çelikler</td></tr>
<tr><td>Dökme Demirler</td><td colspan="2">Gri, Beyaz, Dövülebilir Dökme Demir
Sfero Döküm</td></tr>
<tr><td>Kombinasyon Metalleri</td><td colspan="3">Kaplanmış Metaller, Kaplanmış Metaller, Diğer</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Demir Olmayan Metaller</td><td rowspan="3">Mühendislik Metalleri</td><td>Hafif Metaller</td><td>Alüminyum/Alaşımlar
Titanyum/Alaşımlar
Diğer</td></tr>
<tr><td>Orta Metaller</td><td>Krom/Alaşımlar
Bakır/Alaşımlar
Diğer</td></tr>
<tr><td>Ağır Metaller</td><td>Kalay/Alaşımlar
Çinko/Alaşımlar
Diğer</td></tr>
<tr><td>Özel Metaller</td><td colspan="2">Yarı İletken,
Diğer</td></tr>
</table>

Kombinasyon Malzemeleri	Kompozitler	Parçacık Kompozitleri Elyaf Kompozitleri Dispersiyon Kompozitleri	
	Köpükler, Diğer	Köpükler, Mikroküreler	
	Laminatlar	Kaplamalı Laminatlar Yapıştırılmış Laminatlar Honeycomb Laminatlar	
Ametaller ve Bileşikler	Kristal Ametaller	Mineraller Seramikler	Refrakter Refrakter Olmayan
	Lifli Malzemeler	Ahşap Ürünler	Doğal İşlenmiş
		Tekstil Elyaf Ürünleri	Doğal Sentetik
	Amorf Malzemeler	Camlar Plastikler Kauçuk/Elastomerler	Termoplastikler Termosetler

Kaynak: Addington, D.M. ve D.L. Schodek. (2005). Smart Materials and New Technologies for The Architecture and Design Professions. İlk Baskı. Harvard University: Architectural Press - Elsevier.

Malzemeler için bu sınıflandırma sistemi, uygulamalı mühendislikte kullanılanların tipik bir örneğidir. Malzeme yapılarının biçimini (örneğin laminatlar, amorf) özelliklerle (demirli, demirsiz) kolayca karıştırır, ancak birçok uygulama için çok yararlı olabilir. Ancak bu tür bir sınıflandırmayı, özellik değiştiren veya enerji değiştiren özelliklere sahip akıllı malzemeleri tanımlamak için kullanmak zordur.

3.2. MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Malzemeler genellikle bazıları içsel ve bazıları dışsal olan özellikleriyle ayırt edilir. İçsel bir özellik, malzemenin moleküler yapısı - esasen kimyasal bileşimi - tarafından belirlenir. Bu nedenle, belirli bir malzemenin tanımı aynı zamanda tüm içsel özelliklerini de tanımlar. Örneğin, mukavemet, malzeme yapısını oluşturan moleküller arası kuvvetlerle birlikte molekül içindeki atomlar arası kuvvetlerle ilgilidir: kuvvetler ne kadar yüksekse, malzemenin mukavemeti ve sertliği de o kadar yüksek olur. Aynı kuvvetler maddenin erime ve kaynama noktaları ile de doğrudan ilişkilidir. Elmas gibi güçlü atomlar arası ve moleküller arası kuvvetlere sahip bir malzeme sadece var olan en sert malzemelerden biri olmakla kalmaz, aynı zamanda olağanüstü yüksek bir erime noktasına da sahiptir. Dayanıklılığın yanı sıra, bir malzemenin elastik modül ve tokluk gibi mekanik özellikleri, iletkenlik, özgül ısı ve yoğunluk gibi fiziksel özellikleri ve reaktivite, değerlik ve çözünürlük gibi kimyasal özellikleri yaygın olarak içsel olarak kabul edilir.

Dışsal özellikler, malzemenin makro yapısı tarafından tanımlanan özelliklerdir ve bu nedenle tek başına bileşim tarafından doğrudan belirlenemezler. Bir malzemenin optik özellikleri - yansıtıcılık, geçirgenlik, emicilik - birçok akustik özellik gibi genellikle dışsaldır. Bir metalin yüzeyinin parlatılması, yansıtma özelliğinde önemli bir değişiklik yaratacaktır. Bazı dışsal özellikler de çevrelerindeki enerji alanlarının özelliklerine bağlıdır. Bir malzemenin rengi, tamamen gelen ışığın spektral dağılımına bağlı olduğundan, malzemenin kendi başına bir özelliği değildir. O halde, özellik değişiklikleri ya malzemenin bileşimindeki bir değişiklikle ya da malzemenin mikro yapısındaki bir değişiklikle üretilebilir. Her iki değişiklik de malzemeye bir enerji girişi ile başlatılır. Girdi enerjisi, akıllı malzemeler için en yaygın olanları elektriksel, kimyasal, termal, mekanik ve radyatif olmak üzere birçok biçimde olabilir. Çoğu malzeme enerji girişi ile benzer özellik değişikliklerine uğrarken - örneğin sıcak haddeleme çeliğin mikro yapısını ve dolayısıyla özelliklerini değiştirir - akıllı malzeme değişiklikleri de tersine çevrilebilir: enerji girişi kaldırıldığında, malzeme orijinal özelliklerine geri döner. İster içsel ister dışsal, ister akıllı ister 'aptal' olsun, tüm malzeme özellikleri beş kategoriden birine veya

daha fazlasına girer. Bu kategoriler - mekanik, termal, elektrik, kimyasal ve optik - her malzemenin yanıt vermesi gereken enerji uyaranlarının göstergesidir. Enerji uyaranlarını 4. Bölüm'de derinlemesine inceleyecek olsak da, şimdi birkaç temel bilgi, bir malzeme ile özellikleri arasındaki deterministik ilişkinin niteliksel bir anlayışını geliştirmede yardımcı olacaktır. Tüm enerji uyarıları 'farklılığın' sonucudur. Sıcaklıktaki bir fark ısı üretir, basınçtaki bir fark mekanik iş üretir. Özellikler bu farklılığa aracılık eden şeydir. Bu nedenle, özelliklerin genellikle farkın doğasını yansıtan birimlere sahip olduğunu not edeceğiz.

Mekanik özellikler, bir malzemenin bir yüke veya mekanik bir kuvvete maruz kaldığında nasıl davranacağını belirler. Bu yük bir ağırlık, kesme kuvveti, darbe, burulma veya moment tarafından üretilebilir ve bu yüklerden kaynaklanan davranış gerilme, deformasyon veya kırılmayı içerir. Mekanik özellikler, belirli bir yükün uygulanmasıyla hangi sonucun ve ne derecede üretileceğini belirler. Mekanik özellikler, mevcut atomlar arası bağların türüne, atomların düzenine, daha büyük ölçekli organizasyonlarına, dislokasyon mekanizmalarının varlığına ve tane boyutu ve sınırları gibi kaba fiziksel özelliklere bağlıdır. Bu faktörler, alaşımlama da dahil olmak üzere malzeme türü ve bileşiminden ve malzemenin daha sonra işlenip işlenmediğinden (örneğin, metaller için tavlama, temperleme veya işle sertleştirme) etkilenir. Mekanik özellikler belirli ölçülerle tanımlanır. Mukavemet, bir malzemenin kuvvetlere karşı direncinin bir ölçüsüdür ve genellikle kırılma veya akma gerilimi (birim alan başına kuvvet) seviyeleri açısından tanımlanır. Gerinim bir deformasyon ölçüsüdür. Sertlik, bir malzemenin gerilme-deformasyon özelliklerinin bir ölçüsüdür. Doğrusal gerilme-şekil değiştirme özelliklerine sahip malzemeler için Elastisite Modülü, bir malzemenin sertlik özelliklerinin yararlı bir tanımlayıcısıdır. Gerilme durumuna (gerilme, kesme) bağlı olarak farklı başarısızlık gerilme seviyeleri ve elastik modüller vardır. İlgilenilen ek mekanik özellikler arasında bir malzemenin sünekliği veya kırılganlığı, dövülebilirliği, tokluğu, sertliği, yorulma sınırları, sürünme özellikleri ve diğerleri yer alır. Bu özellikler diğer birçok kitapta uzun uzadıya ele alınmıştır. Birincil ilgi alanı olan elektriksel özellikler, bir malzemenin iletkenliğini ve direncini içerir. İletkenlik - bir malzemenin elektrik akımını iletme kabiliyeti - o kadar önemlidir ki malzemeler genellikle bu özelliğe göre iletkenler, yarı iletkenler ve iletken olmayanlar (yalıtkanlar veya dielektrikler) olarak sınıflandırılır.

Dirençlilik iletkenliğin tersidir. Çok sayıda serbest elektrona sahip malzemeler (örneğin metalik bağlı malzemeler) iyi iletkenlerdir çünkü serbest elektronlar elektrik akımının taşıyıcıları haline gelirler. Genel olarak, bir malzemenin iletkenliği sıcaklık düştükçe artar. Süper iletkenlik, belirli bir kritik sıcaklığın altındaki malzemelerde direncin neredeyse yok olduğu bir olguyu ifade eder. Ancak özel yarı iletken malzemeler farklı davranabilir ve iletkenlik artan sıcaklıklarla birlikte artabilir (bkz. Bölüm 4). Manyetik özellikler elektriksel olaylar ve özelliklerle yakından ilişkilidir. Bilgisayar diskleri, motorlar ve jeneratörler, kredi kartları, vs. hepsi manyetik olaylara dayanır. Malzemenin bir alana nasıl tepki verdiğine bağlı olarak, manyetik malzemeler ferromanyetik, antiferromanyetik, ferrimanyetik, diamanyetik ve paramanyetik olarak sınıflandırılır. Temel öneme sahip termal özellikler, bir malzemenin termal iletkenliğini, ısı kapasitesini ve termal genleşmesini içerir. Metaller gibi iletken malzemelerdeki ısıl iletkenlik, daha önce tartışılan serbest elektron hareketleri açısından büyük ölçüde açıklanabilir. Hızlı atomik kafes hareketleri şeklindeki termal enerji, sıcak uçtan soğuk uca elektron hareketleri yoluyla bir malzeme boyunca iletilir. Dielektrik (yalıtkan) malzemelerdeki termal iletkenlik, serbest elektronların çok az olması ya da hiç olmaması nedeniyle titreşim olayları yoluyla gerçekleştiğinden daha karmaşık bir eylemdir. Isı kapasitesi, bir malzemenin sıcaklığını belirli bir miktarda yükseltmek için malzemeye aktarılması gereken ısı miktarının bir ölçüsüdür. Termal genleşme, sıcaklık değişiminin bir sonucu olarak bir malzemede meydana gelen boyutsal değişim miktarını ifade eder. Buza dönüşen su haricindeki çoğu malzeme, sıcaklık seviyeleri düştükçe küçülme eğilimindedir. Özellikle ilgi çeken kimyasal özellikler arasında bir malzemenin reaktivitesi, değerliği ve çözünürlüğü yer alır. Reaktivite, bir malzemenin kimyasal bir değişim üretmek için başka bir maddeyle kimyasal olarak nasıl hareket ettiğinin bir ölçüsüdür. Çözünürlük terimi genel olarak bir maddenin çözünebilme kabiliyetini ifade eder (bir çözücü ise başka bir maddeyi çözebilme kabiliyetine sahip, genellikle sıvı olan bir malzemedir). Değerlik terimi genellikle bir elementin molekül oluşturmak üzere bir diğeriyle birleşme kapasitesini ifade eder. Bir malzemenin yansıtıcılığı, geçirgenliği ve emiciliği gibi optik özellikleri, hem içsel hem de dışsal faktörlere bağlı olabileceğinden karmaşıktır. Işık bir malzeme üzerine düştüğünde, yansıma veya iletim yoluyla yeniden yayılır ya da ısı enerjisine dönüştürülebilir. Bu olaylar, malzemenin yüzeyindeki elektron alanının doğasına yakından bağlıdır. (Addington ve Schodek, 2005, s.38)

3.3. GENEL MALZEME SINIFLARI

Kısaca, üç ana malzeme sınıfı vardır - metaller, seramikler, polimerler - ve birçok ilgili veya türev tür, kompozitler olarak bilinen dördüncü bir türe girer. Bakır da dahil olmak üzere saf metaller, metalik bağları ve düzenli kafes yapıları ile karakterize edilir. Yüz merkezli kübik organizasyonlara sahip birçok metal oldukça sünektir çünkü dış kuvvetler tercih edilen yönlere sahip düzlemler arasında kolayca kaymaya neden olur. Demir ve nikel hem metalik hem de kovalent bağlar içeren geçiş metalleridir ve diğer metallere göre daha az sünek olma eğilimindedirler. Dislokasyonlar ve ilgili fenomenler metallerin nasıl davrandığını anlamada son derece önemlidir.

Tablo 5

Yüksek performanslı mukavemet veya sertlik uygulamaları için tasarlanan kompozit malzemelerin genel yapısı

<table>
<tr><th colspan="2">Güçlendirme</th><th>Reçineler ve Matris Malzemeleri</th><th>Çekirdek</th></tr>
<tr><th>Takviye Malzemeleri</th><th>Pekiştirme Organizasyonu</th><th>Reçine Malzemeleri</th><th>Çekirdek Malzemeler</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Cam Elyaflar
Polimer Elyaflar (Organik (Örn. Kevlar) Naylonlar, Polyesterler, Vb.)
Karbonfiberler</td><td rowspan="4">Temel Formlar (Teller, Filamentler, Lifler,
İplikler (Bükülmüş Teller),
Fitiller (Demetlenmiş Teller))</td><td rowspan="4">Epoksiler
Polyesterler
Viniller
Diğer</td><td>Köpük
Balsa
Sentetik
Kumaşlar
Diğer</td></tr>
<tr><td>Çekirdeklerin Organizasyonu</td></tr>
<tr><td>Petekler
Laminatlar
Diğer</td></tr>
</table>

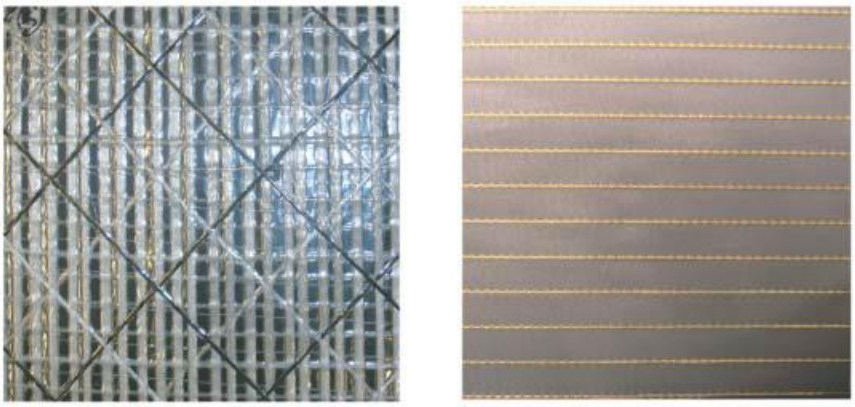
Kaynak: Addington, D.M. ve D.L. Schodek. (2005). Smart Materials and New Technologies for The Architecture and Design Professions. İlk Baskı. Harvard University: Architectural Press - Elsevier.

Seramikler güçlü iyonik ve kovalent bağları ile karakterize edilir. Etrafta hareket eden serbest elektronlar olmadığından, bu malzemeler elektriksel olarak nötr olan ve iyi iletken olmayan kristal yapılara sahiptir. Dislokasyon hareketleri seramiklerde mevcuttur ancak daha az öneme sahiptir. Genel olarak seramikler sert ve kırılgandır ve özel yarılma düzlemleri boyunca bozulma eğilimindedir. Sonuç olarak, seramikler normalde çok sert ve kırılgandır. Isınmaya karşı yüksek direnç gösterirler ve genellikle refrakter malzeme olarak kullanılırlar. Cam, kovalent bağlarla bağlı amorf, kristal olmayan bir yapıdır.

Polimerler uzun zincirli moleküler yapılardan oluşur. Tek tek moleküller kovalent olarak bağlanmıştır. Basit termoplastiklerde zincirler doğrudan bağlı olmayıp sadece zayıf van der Waals bağları ile birbirine bağlıdır. Bu nedenle oldukça yumuşak ve sünektirler, çünkü dış kuvvetler zincirlerin nispeten kolay bir şekilde birbirlerinden kaymasına neden olabilir. Aynı termoplastikler kolayca eritilebilir (ısı van der Waals bağlarını parçalar) ve daha sonra soğutulduklarında katı hale gelirler. Böylece kolayca geri dönüştürülebilirler. Buna karşın termosetlere, uzun zincirli moleküllerin çapraz bağlanmasına veya birbirine bağlanmasına neden olan ilave sertleştiriciler eklenir. Yaygın epoksiler termosetlerdir. Dış kuvvetler zincirlerin birbirleri tarafından kolayca kaymasına neden olamaz. Sonuç olarak, bu malzemeler oldukça güçlü ve sert olabilir. Ancak termoplastikler gibi eritilemezler.

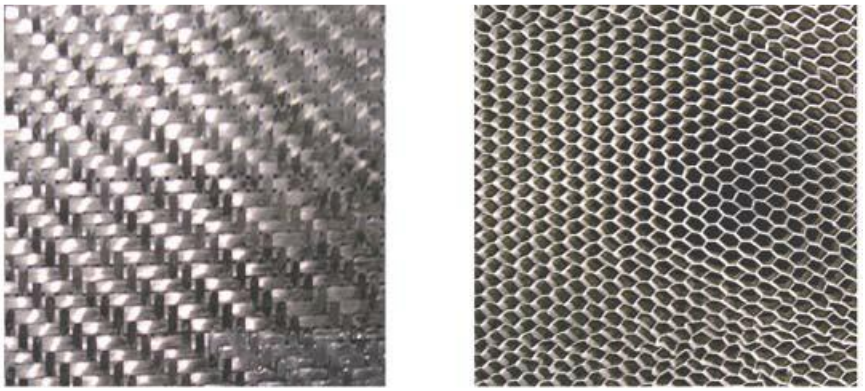
Katlanmış zincirli polimerler, doğası gereği kristal olan, ancak çapraz bağlı olmayan ve çok katmanlı yapılara sahip olan periyodik bir zincir düzenine sahiptir. Seyreltik çözeltilerden kristalleşme de dahil olmak üzere birçok şekilde oluşturulabilirler. Bu yarı kristal polimerler oldukça yoğun olabilir. Kimyasal olarak dirençli ve yüksek ısıya dayanıklı hale getirilebilirler. Elastomerler büyük ölçüde amorf yapıya sahip, ancak hafif çapraz bağlı polimerlerdir. Termoplastikler ve termosetler arasında yer aldıkları düşünülebilir. Birçok doğal malzeme elastomeriktir, diğer elastomerler ise kolayca sentezlenebilir. Yaygın otomobil lastiği yapımında kullanılan vulkanizasyon işlemi, sülfür atomları içeren çapraz bağlar oluşturur. Kauçuk lastiklere esneklik kazandırır, ancak çapraz bağlar lastikleri yeterince sert ve dayanıklı hale getirir.

Kompozitler, iki veya daha fazla birincil malzemenin birleştirilmesiyle elde edilen yüksek performanslı malzemelerdir. Çok büyük bir malzeme sınıfını oluştururlar - kelimenin tam anlamıyla binlerce vardır - ve ayrıntılı olarak tartışmak bu tedavinin kapsamı dışındadır. Kısaca, kompozit malzemeler her zaman özelliklerinin belirli amaçlar için tasarlandığı yüksek performanslı uygulamalar için tasarlanmıştır ve işlevleri açısından genel olarak düşünülebilirler. Mukavemet veya sertlik işlevlerine hizmet etmeleri amaçlanıyor mu? Termal iletkenliği azaltmaları mı amaçlanıyor? Özel yansıtıcı özelliklere sahip olmaları mı amaçlanıyor? Şekil 4'te mukavemet veya sertlik uygulamaları için tasarlanan kompozitlerin genel yapısını göstermektedir. Normalde bu kompozitler takviye malzemeleri, reçineler veya takviye malzemelerinin içine gömülü olduğu matris malzemelerden oluşur ve oldukça sık olarak iç çekirdekler de mevcuttur. Bu tür kompozitlerin farklı biçimleri, gerilme yönleri ve benzerleri de dahil olmak üzere belirli mukavemet veya sertlik uygulamaları için tasarlanabilir. Diğer amaçlar için, gömülü malzemeler mukavemet işlevlerine hiç hizmet etmeyebilir. Örneğin fiber optik kablolar, ana malzemede gerilme veya çatlak detektörü olarak hizmet etmek üzere farklı malzemelere gömülmüştür. Ayrıca, farklı filmler veya tabaka ürünler de birlikte lamine edilebilir. Örneğin, çoklu yansıtma özelliklerine sahip yüksek performanslı parlak renkli filmler, farklı film türlerinden oluşan çok katmanlı laminatlardır.



A **B**

Şekil 4: İki esnek kompozit levha (A-Takviyeli polimer, B-Dacron Kevlar Kumaş)



A **B**

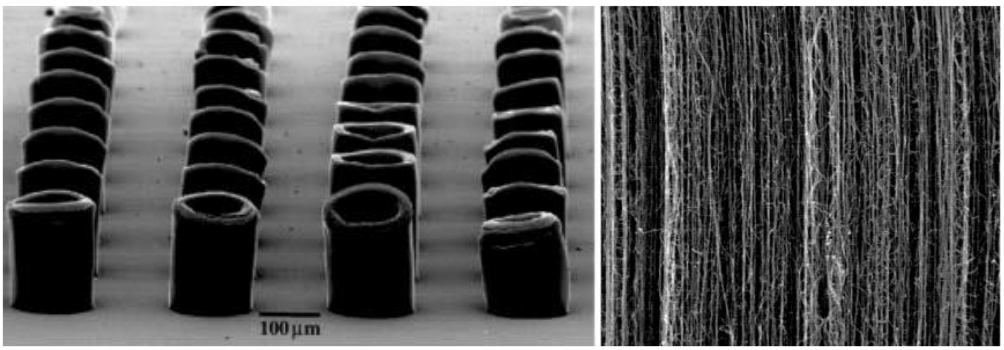
Şekil 5: Kompozitlerde kullanılan tipik malzemeler (A- karbon fiber levha, B- Alüminyum petek çekirdek)

Kaynak: Addington, D.M. ve D.L. Schodek. (2005). Smart Materials and New Technologies for The Architecture and Design Professions. İlk Baskı. Harvard University: Architectural Press - Elsevier.

3.4. NANOMALZEMELER

'Nanoteknoloji terimi son birkaç yıldır önemli ölçüde bilimsel ve kamusal ilgi çekmiştir. 'Nano' ön eki, bir şeyin veya bir davranışın boyutsal ölçeğinin metrenin birkaç milyarda biri mertebesinde olduğunu ve mikro ölçekle temsil edilenden daha büyük olmasa da onun kadar geniş bir alanı kapsadığını gösterir. Karşılaştırma yapmak gerekirse, bir toplu iğnenin başı yaklaşık bir milyon nanometre genişliğindeyken, bir DNA molekülü yaklaşık 2,5 nanometre genişliğindedir. Tek tek atomların nanometre boyutunda olduğu göz önüne alındığında (örneğin, 5 silikon atomu bir nanometreye eşdeğerdir), yapıları her seferinde bir atom inşa etme yeteneği birçok malzeme bilimcisi için kışkırtıcı bir hedef olmuştur. En basit haliyle, nanoteknoloji kavramsal olarak 'aşağıdan yukarıya' inşa etme, hatasız ve yeni özelliklere sahip malzemeler ve yapılar oluşturma potansiyeli sunmaktadır. Bu bölümde daha önce tartışıldığı gibi, farklı içyapıların ve bunlar arasındaki bağ kuvvetlerinin hassas yapısı, katı malzemenin mekanik, elektriksel, kimyasal ve diğer özelliklerini büyük ölçüde belirler. Nanoteknoloji, moleküler yapının eksiksiz bir şekilde oluşturulmasını sağlayarak, makro

ölçekte benzeri görülmemiş ve çarpıcı bir şekilde geliştirilmiş özellikler tasarlamamıza olanak tanıyabilir. Gerçekten de, kimyasal bileşimi değiştirmeden bile önemli ölçüde farklı özellikler üretmek mümkün olabilir. Şimdiden, bir nanomalzemeye - karbon nanotüplere - bakırdan 6 kat daha yüksek bir elektrik iletkenliği ve alüminyumdan 500 kat daha fazla bir mukavemet / ağırlık oranı atfedilmiştir. Esasen, malzeme özelliklerini programlayabileceğiz. Dahası, aşağıdan yukarıya doğru inşa etmek, atomların rastgele (süreklilik arz etmeyen) hareketlerinin bir araya gelmeleriyle sonuçlanacağı kendi kendine montaja veya büyümenin üstel ikiye katlanma yoluyla gerçekleştiği kendi kendini kopyalamaya da olanak sağlayabilir. Malzemeleri sıfırdan 'inşa etme' fırsatının ötesinde nanoteknoloji, nano boyutlu malzemelerin ve sistemlerin geliştirilmesini ve uygulanmasını da kapsar. Nanopartiküllerin boyalara ve aşındırıcılara dahil edilmesi önerilmektedir ve nanoprobların in vivo ilaç dağıtım cihazlarının temelini oluşturması amaçlanmaktadır. Kuantum noktaları - tek bir elektronu hapsedebilen nanometre boyutundaki yarı iletken kristaller - esasen kuantum LED'ler (ışık yayan diyotlar) oldukları için ışıldayan teknolojide yeni nesli temsil etmektedir. Veri depolamadan vücut zırhına kadar nanoteknoloji için potansiyel uygulamalar çoktur, ancak bu heyecan verici alan hala emekleme aşamasındadır ve önerilen uygulama alanlarının çoğu en iyi ihtimalle spekülatiftir. Bununla birlikte, nano ölçekteki davranışlar hakkında düşünmenin içerdiği hem teknolojiler hem de fikirler gelecek için büyük umut vaat etmektedir.



Şekil 6: Karbon nanotüpler (Çapı 1 nm kadar küçük olan boru şeklindeki bir karbon formu, tüplere sarılmış levhalardan üretilir.)

Kaynak: Addington, D.M. ve D.L. Schodek. (2005). Smart Materials and New Technologies for The Architecture and Design Professions.

4. ENERJİ: DAVRANIŞ, OLAYLAR VE ORTAMLAR

Genellikle malzemeleri tartılan, ölçülen ve tanımlanan şeyler olarak hayal ederiz ve böylece somut nesneler olarak görürüz. Ancak, tasarımcılar olarak asıl ilgimiz malzemelerin nasıl davrandığıdır. Bir çelik kolon, bir yükü desteklediğinde kullanışlı hale gelir. Bir cam panel, ışığı ilettiğinde anlamlıdır. Bir malzeme seçtiğimizde, doğası gereği, bir tür enerji uyarıcısıyla etkileşimi için seçeriz ve bu, sadece bir heykelde görmek istediğimiz malzemeler için bile geçerlidir. Sonuç olarak, malzemelerle ilgili bir tartışma, enerjinin anlaşılması olmadan tamamlanamaz.

4.1. ENERJİNİN TEMELLERİ

Enerji nedir? Bu zor bir sorudur çünkü enerji hiçbir şekilde maddi bir şey değildir, ancak tüm varlıklar arasında ve arasındaki süreçlerin temel belirleyicisidir. Bir atomdan ekosisteme kadar herhangi bir varlık herhangi bir değişikliğe uğradığında enerji başka bir yere transfer olmak zorundadır ve/veya şekil değiştirmelidir. Örneğin, bir nesnenin sıcaklığının değişmesi için ısı transfer edilmeli - eklenmeli veya çıkarılmalıdır - ve bir jeneratörde türbin şaftının dönmesiyle kinetik enerji elektrik enerjisine dönüşmelidir. Kavramsal olarak, enerjinin tüm şekilleri iki genel sınıfa ayrılabilir:

- Potansiyel enerji: akabilen depolanmış enerji. Konum, bükülme, gerilme, sıkıştırma veya kimyasal bileşim nedeniyle depolanan enerjidir. Örnekler arasında bir baraj arkasındaki su, bir tepenin üstündeki bir kaya, bir yay, benzin bulunur.

- Kinetik enerji: akan enerji. Yüksek potansiyel enerjiden düşük potansiyel enerjiye doğru hareket eden hareket enerjisidir. Örnekler arasında bir barajdan düşen su, bir tepeden aşağı yuvarlanan bir kaya veya bir motorda benzinin yanması yer alır.

Bu iki sınıfın içinde enerji birçok farklı şekilde mevcuttur ve her bir şekil farklı bir değişken tarafından karakterize edilir ve farkın devreye girdiği zaman enerji yalnızca işlevsel hale gelir. Bir durum ile diğer durum arasında fark olmadığında enerji akamaz. Sonuç olarak, enerji sadece hareket ettiği şekilde veya hareket etme potansiyeline göre nicelendirilebilir ve ölçülebilir.

- ISI: Sıcaklık farkıyla hareket eder.
- İŞ: Basınç farkıyla hareket eder.
- POTANSİYEL: Yükseklik farkıyla hareket eder.
- ELEKTRİKSEL: Yük farkıyla hareket eder.
- KİNETİK: Momentum farkıyla hareket eder.
- ELASTİK: Sapma farkıyla hareket eder.
- KİMYASAL: Atomik çekim farklarıyla hareket eder.
- NÜKLEER: Kuantum farklarıyla hareket eder.
- MANYETİK: Hareketli yük farklarıyla hareket eder.

Peki, bu hareketi ne yönlendirir? Enerjinin akışı, canlı ve cansız her şeyin davranışını ve durumunu belirlerken, bilim insanları bunu anlamayı, Newton fizikinin kurulmasından iki yüzyıl sonra, 1850 yılına kadar geliştirmedi. 19. yüzyılda buhar motoru teknolojisindeki gelişmeler sonunda önemli bir prensibin keşfi gerçekleşti: enerjinin korunumu. Bu prensip, belki de fizik biliminin en temel yapı taşıdır ve aynı zamanda enerjinin bilimi olarak bilinen termodinamiğin temelidir. (Addington ve Schodek, 2005, s.46)

4.2. TERMODİNAMİK YASALARI

Yunanca therme´ (ısı) ve dynamis (kuvvet) kelimelerinden türetilen termodinamik, malzeme sistemlerinin koşullarını ve bu koşullardaki değişikliklerin nedenlerini açıklayan fizik dalıdır. Bir malzeme sistemi, katıdan sıvıya, gazdan karışıma kadar herhangi bir şeyden oluşabilir, ancak belirgin bir sınırla çevreden ayrılabilen tanımlanabilir bir madde miktarı olarak ayırt edilebilir. Bir sistemin herhangi bir anda sahip olduğu koşullar, temel olarak ölçülebilen her şeyi - sıcaklık, basınç ve yoğunluk - ve iç enerjisini kapsar.

Bir sistem ile çevresi arasındaki ilişkinin doğası, Termodinamiğin Yasaları tarafından belirlenir. Dört yasa vardır, ancak tartışmalarımız için ilk üçü daha relevanttir. Her bir yasa, ısıya referans yapar (bu yüzden termodinamik), birlikte tüm enerji formlarının dinamiğini yönetir. (Addington ve Schodek, 2005, s.47)

4.2.1. Termodinamiğin Sıfırıncı Yasası

(Aynı zamanda 'Termometre Yasası' olarak da bilinir)

İki varlık, üçüncü bir varlıkla (örneğin bir termometre ile) termal denge içindeyse, birbirleriyle termal denge içindedir. Temel olarak, bu yasa bize denge durumunun fark olmadan ve dolayısıyla daha fazla enerji değişimi olmadan bir koşul olduğunu söyler. (Addington ve Schodek, 2005, s.47)

4.2.2. Termodinamiğin Birinci Yasası

(Aynı zamanda 'Enerjinin Korunumu Yasası' olarak da bilinir)

Enerji birçok forma bürünse de, toplam enerji miktarı değişemez. Bir formda enerji kaybolurken, aynı anda diğer formlarda görünmelidir - enerji bu şekilde yok edilemez ve yaratılamaz (Newtoncu dünya görüşüne göre). Daha resmi bir ifadeyle, bir sisteme giren enerji transfer hızı, sistemden çıkan enerji transfer hızına eşittir artı sistem içindeki enerji değişimi. Birinci Yasay, aşağıdaki ifadeyle kavramsal olarak temsil edilebilir:

Δ(sistem enerjisi) + Δ(çevrelerin enerjisi) = 0

Eğer enerji dönüştürülebilir ve yok edilemezse, o zaman tüm enerji formlarını aynı birimlerde ölçmek mümkün olmalıdır. Elektrik enerjisi, termal enerji veya kinetik enerji olsun, hepsini kilowatt-saat cinsinden ölçebilir ve kalori, BTU, foot-pound, joule, elektron volt vb. olarak dönüştürebiliriz. Isınmanın foot-pound'ları veya elektrik akımının kalorileri hakkında konuşabilmenin zor olabileceği düşünülebilir, ancak Birinci Yasaları bu denkliği kurar.

Bir enerji santralinde elektrik üretimi, Birinci Yasayın mükemmel bir örneğidir, çünkü enerji, doğrudan insan ölçeğinde kullanışlı hale gelmeden önce birçok dönüşüm sürecinden geçmelidir. Kömürün yanması (kimyasal enerji), suyu buhar haline dönüştüren ısıyı (termal enerji) üretir, buharı tahrik eden bir türbin (mekanik enerji) kullanılır ve jeneratörde bir şaftı döndürerek elektrik enerjisi üretilir. Bunlar sadece bir enerji santralindeki enerji değişimleri, dönüşümleri artırabiliriz: kömürdeki kimyasal

enerji, bitki malzemelerinin çürümesinden (daha fazla kimyasal enerji) kaynaklanır, bu malzemeler başlangıçta enerjilerini güneşten (ışınsal enerji) alır, enerji füzyon ile üretilir (nükleer enerji) ve benzeri. Diğer yönde, enerji santralinde üretilen elektrik, binayı soğutmak için termal enerji sağlayan bir chiller'ın (soğutucu) kompresörünü (kinetik enerji) çalıştırmak için kullanılabilir.

Bu düzenli enerji muhasebesi, enerjinin asla yok edilemediği sonucuna varılmasına yol açabilir. Bununla birlikte, bu noktada İkinci Yasan devreye girer. (Addington ve Schodek, 2005, s.47)

4.2.3. Termodinamiğin İkinci Yasası

(Aynı zamanda 'Entropi Yasası' veya 'Clausıus Eşitsizliği' olarak da bilinir)

Entropi, bir sistemin mikroskobik düzensizliğini açıklayan sistemin bir genişleyici özelliğidir. Bir süreç gerçekleştiğinde, tüm sistemlerin entropisi ya artmalıdır ya da süreç tersine dönebilirse sabit kalmalıdır. 1850'de Rudolf Clausius, bunu yönlülük açısından ifade etti: 'Daha düşük bir sıcaklığa sahip bir rezervoardan ısıyı daha yüksek bir sıcaklığa taşıyabilen ve çevrenin herhangi bir parçasında başka bir etki yapmayan döngüsel olarak çalışan bir makine inşa etmek imkansızdır.' Yani, evrende süreçlere doğal bir yönlülük vardır ve ters yönde hareket etmek için enerji cezası vardır. Bir şelalenin üstündeki su doğal olarak daha düşük bir seviyeye akacaktır, ancak başlangıç noktasına dönmek için bu seviyeden yukarı pompalanması gerekir.

İkinci yasa genellikle 'artan rastgelelik' olarak retorik olarak yorumlansa da, entropi ne rastgele ne de kaotiktir. 'Egzersiz' kavramı, bir süreci tersine çevirmeye çalıştığımızda ödediğimiz cezayı açıklar. (Addington ve Schodek, 2005, s.47)

4.2.4. Ekserji

(Aynı zamanda erişilebilirlik olarak da bilinir)

Termodinamik bir sistemin ekserjisi, bir süreçte üretilebilecek yararlı işin bir ölçüsüdür. İş, bir sistemin çevresiyle etkileşiminin, bir ağırlığı kaldırmak için kullanılabilecek herhangi bir etkileşim olduğu ve bu nedenle işin kullanılabilir olduğu

anlamına gelir. Kaybedilen iş, ideal iş ile süreç tarafından gerçekleştirilen iş arasındaki farktır. Temel olarak, termodinamiğin yasaları enerjinin asla yok edilemeyeceğini belirtse de, kaybedilen iş, israf edilmiş olan ve daha fazla dönüşüm için kullanılamayan ve dolayısıyla insan kullanımı için erişilemez hale gelen işi ifade eder. İsraf edilen iş ısı olarak ortaya çıkar. Örneğin, bir jeneratör, kinetik enerjiyi elektrik enerjisine %90 verimlilikle dönüştürüyorsa, başlangıç enerjisinin %90'ı iş üretirken kalan %10'u ise ısı üretir. İkinci Yasaya geri döndüğümüzde, evrensel bir düzeyde, her bir sürecin yoğunlaşmış enerji miktarını azaltırken yayılmış (ve bu nedenle kullanılamayan) ısı miktarını artırdığını fark etmeye başlarız. Enerjinin bir formdan diğerine dönüştürüldüğü bu kuralları anladığımızda, Birinci Yasayı daha resmi olarak ifade edebiliriz:

ΣQ (ısı) - ΣW (iş) = ΔU (iç enerji değişimi) + ΔE_k (kinetik enerji değişimi) + ΔE_p (potansiyel enerji değişimi)

Isı ve iş, geçici olaylardır; sistemler, iç veya potansiyel enerjiyi olduğu gibi sahip olmazlar. Bunun yerine, ısı ve iş, enerjinin bir sistem ile çevresi arasındaki sınırdan geçişiyle ortaya çıkar. Bu nedenle, termodinamik bir sınır, bir kesinti yerine değişimin olduğu bir bölgedir.

Termodinamik çalışmanın malzemelerin davranışını anlamak için ve daha da önemlisi, akıllı malzemelerin davranışını anlamak için neden önemli olduğunu düşünelim. Mimarlar için, bir malzemenin en tipik etkileşimi yerçekimi kuvveti tarafından oluşturulan yüktür. Sonuç olarak, Young modülü veya akma noktasını temsil eden özellikler en tanıdık olanlardır. Klasik mekanik tartışmaları yeterli olabilir. Ancak, daha önce belirtildiği gibi, bir malzemenin davranışı, enerji uyarıcısıyla etkileşimine bağlıdır. Tüm enerji etkileşimleri, ışıkta bir nesnenin ortaya çıkması veya ısıyla bir malzemenin genişlemesi olsun, termodinamiğin yasaları tarafından yönetilir. Malzeme özellikleri, bu etkileşimlerin birçok yönünü belirler. Örneğin, bir malzeme özelliği enerji transferinin hızını belirleyebilirken, başka bir özellik nesnenin son durumunu belirleyebilir. Bir malzeme sistemi ile enerji uyarıcısı arasında genel bir termodinamik ilişki şu şekilde kavramsallaştırılabilir:

Nesne veya malzeme sistemi durumu × Özellik = Enerji transferinin bir fonksiyonu

Örnek olarak, bir malzeme üzerinden ısı transfer hızını hesaplayan Fourier Kanunu'na baktığımızda, iletkenlik malzeme özelliğinin nesnenin durumunu belirlediğini görebiliriz. Fourier Kanunu şu şekilde ifade edilebilir:

$\Delta T\ (U \times A) = \Delta Q$

Burada, Q ısı transfer hızını, U iletkenliği, A alanı, $\Delta T = T2 – T1$ ise sıcaklık farkını temsil eder. Bu denklemle malzeme özelliği olan iletkenlik, nesnenin durumunu belirleyen ısı transfer hızını hesaplamada kullanılır.

Nesnenin (veya malzeme sisteminin) durumu, sıcaklık durum değişkeniyle belirtilirken, ısı transfer hızı nesne tarafından değiştirilen veya dönüştürülen enerji miktarını temsil eder. Alan, hangi miktarda malzemenin etkilendiğini gösteren bir göstergedir ve iletkenlik özelliği nesnenin sıcaklığının ne olacağını veya nesnenin belirli bir sıcaklığa ulaşması için ne kadar ısı transfer etmesi gerektiğini sonunda belirler.

Bir malzeme sistemi ile enerji uyarıcısı arasındaki bu kavramsal termodinamik ilişkiyi, malzeme davranışını düzenlemek için bir çerçeve olarak kullanabiliriz. Geleneksel malzemelerde ve birçok yüksek performanslı malzemede, özellikler tipik uygulamada karşılaşılan durum koşulları aralığında sabittir. Örneğin, çeliğin iletkenliği, 32°F ila 212°F (0-100°C) arasındaki sıcaklıklarda sabittir ve iletkenlik düşüşü ihmal edilemez hale gelmek için sıcaklık yaklaşık olarak 1000°F (yaklaşık 535°C) olduğunda olur. Bu kategorideki bir malzeme için, nesnenin durumu öncelikle enerji transferinin bir fonksiyonudur. Tip I akıllı malzemelerde, özellikler enerji girişiyle değişir. Örneğin, elektrokromik camlama malzemesinde, bir kaplamanın moleküler özellikleri bir akım uygulanarak değiştirilir ve geçirgenlik faktörü on kat artırılabilir. Bu kategoride, özellik enerji transferinin bir fonksiyonudur. Tip II akıllı malzemeler enerji alışverişi yapar, girdi enerjisini bir formdan diğer bir forma dönüştürür. Fotovoltaikler yaygın bir Tip II malzemedir; durum koşulları aracılığıyla giriş güneş ışınımı elektrik akımına dönüştürülür. Malzemenin özelliği, dönüşümü gerçekleştirmede etkili olabilir, ancak

nesnenin davranışının odak noktası değildir. Şimdi, bu kategoriler için üç kavramsal termodinamik ilişkiyi aşağıdaki gibi özetleyebiliriz (Addington ve Schodek, 2005, s.47):

- Geleneksel malzeme: Nesnenin durumu = *f* (enerji transferi), özellik = sabit.
- Tip I akıllı malzeme: Özellik = *f* (enerji transferi), nesnenin durumu değişebilir.
- Tip II akıllı malzeme: Enerji transferi = *f* (nesnenin durumu), özellik değişebilir.

4.3. TERMODİNAMİK SINIR

Malzemelerin bu termodinamik kavramsallaştırmasını daha da tamamlamak için, davranış olarak sınırların kavramını da anlamamız gerekmektedir. Bu özellikle tasarımcılar için zor olabilir çünkü daha yaygın tanımımızda sınırlar doğrudan çizimlerdeki çizgilere atıfta bulunur. İkinci Bölümde tartışıldığı gibi, termodinamik sınırlar okunabilir ve somut nesneler değildir, ancak genellikle görünmeyen etkinlik bölgeleridir. Bu etkinlik bölgesi - sınır - gerçekten ilginç olayların gerçekleştiği yerdir.

Bu, enerji transferlerinin ve değişimlerin oluştuğu ve işin çevreye etki ettiği yerdir. Bir termodinamik sistemine ait basit bir diyagramı incelediğimizde, sınırın, malzemenin tanımlanabilir durumu ile hemen çevresindeki sıcaklık, basınç, yoğunluk ve/veya iç enerji gibi değişebilen durumda olan çevre arasındaki farkı belirlediğini görürüz. Diyagramsal olarak bu sınır bir kesinti veya sınır gibi görünse de, fiziksel olarak iki durum arasındaki aracılık bağlantısının gerçekleştiği yerdir. Tüm değişiklikler sınırlarda gerçekleşir.

Fizik yasalarının ve özellikle termodinamiğin uygulamalı teknolojilerin geliştirilmesinde temel olduğu disiplinlerde, sınır iki veya daha fazla durum değişkeni arasındaki değişimi aracılayan temel geçiş bölgesi olarak işlev görür. Örneğin, sıcak bir hava kütlesi soğuk bir hava kütlesi ile bitişik olduğunda, birbirinden ayırt edilebilir sıcaklık ve basınca sahip olacaktır, bu kütleler arasında bir sınır tabakası oluşacak ve sıcaklık ve basınç geçişi bu tabakada gerçekleşecektir. Bu düzenleyici sınır, atmosferden bir mikroçipe kadar tüm ölçeklerde mevcuttur ve insan vücudunun termal refahından temel sorumludur.

Daha yaygın ve daha az tanınabilir olan, bir veya daha fazla katı ve hareketsiz sınır yerine akışkan ve hareketli sınırlarla olan sınırlardır. Bir sigaranın dumanı yükseldiğinde veya bir sprey kutusundan aerosol salıverdiğimizde bu tür bir sınır koşuluyla karşılaşırız. Serbest alan olarak adlandırılan bu tür sınır koşulu yaygın ve yaygındır - hava sıcaklığında veya basıncında herhangi bir küçük değişiklik, anında bir aracı sınırın oluşmasına neden olur ve o konumda dengeye ulaşıldığında ortadan kaybolur.

Termodinamiğin anlaşılması, malzemelerin enerji alanındaki rolünü anlamamıza yardımcı olurken, bu sınırların açıklığını da, enerji ortamlarını tanımlamamıza ve oluşturmamıza yardımcı olabilir. Sınır tanımımızdaki ölçeği düşünerek, enerji ortamlarının - termal, aydınlık ve akustik - nesnelerle "sınırlanmış" olduğunu fark edebiliriz. Bunun yerine, bu enerji ortamları birden fazla konumda ortaya çıkabilir ve kaybolabilir ve her biri benzersiz ve tekil bir durumu belirleyecektir. Çevremiz aslında varsaydığımız kadar homojen değil, aksine birden çok ve çeşitli sınırlanmış davranışın geçici bir koleksiyonudur. (Addington ve Schodek, 2005, s.51)

4.4. İNSAN ÇEVRESİNİN YENİDEN KAVRAMSALLAŞTIRILMASI

Tüm çevreler, ısı değişimi, ışığın ortaya çıkması veya sesin alınması gibi enerji uyaranı alanlarıdır. Çevreyi, toplam sıcaklık veya sabit bir aydınlık seviyesi gibi durum koşullarıyla temsil etmek yerine, çevreyi yalnızca sınırlar boyunca gerçekleşen enerji işlemleri veya değişimleri aracılığıyla tanımlayacağız, bu da insan vücudunun sınırları da dahil olmak üzere. Bu yaklaşım, vücudun duyusal sistemine uyumludur. Termal, işitsel veya optik olsun, vücudumuzun duyuları, durum koşullarına - sıcaklık, ışık seviyesi vb. - değil, enerji değişiminin hızına yanıt verir. Örneğin, soğuk hissi, çevre ile vücut arasındaki termal enerji transferinin hızının arttığının bir göstergesidir - çevrenin sıcaklığı bu artışın birçok olası katkısından biri olabilir veya olmayabilir. Temel olarak, vücut, çevreye karşı tepkisiyle kendini hissediyor, ancak çevreyi hissetmiyor. Evrensel gerçek dünya - duyu tarafından sahiplenilen dünya - hiç de göründüğü gibi değildir. (Addington ve Schodek, 2005, s.54)

4.5. TERMAL ORTAM

Öyleyse, çevremizin sadece sıcaklık olmadığı termal çevre nedir? Onu çeşitli eylemler olarak hayal edin. Sınırları sadece ısı ve işin geçebileceğini zaten keşfettik. Bu bize ne olduğunu söyler, ancak nasıl olduğunu söylemez. Farklı sıcaklıklar arasında bir fark varsa, ısı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru akacaktır, ancak ne zaman, nasıl, hangi mekanizma aracılığıyla veya hangi konumda olduğu hakkında herhangi bir özel bilgi vermez. Temelde, ısı nasıl davrandığını bilmemiz gerekiyor. Isı Transferi olarak bilinen termodinamiğin bir alt kümesi, etrafımızda sürekli olarak gerçekleşen belirli termal davranışları tanımlar ve karakterize eder. Hava gibi durgun ve homojen görünen bir odada bile, eşzamanlı olarak gerçekleşen çok çeşitli termal davranışlarla çevrili olacağız - çok çeşitli ısı transferi türleri, laminer ve türbülanslı akışlar, sıcaklık/dansite tabakaları, geniş hız aralıkları vb. İnsan vücudunun termal mekanizmaları bile odanın mekanizmalarından daha karmaşık olabilir. Buharlaşma, radyant, konvektif ve iletken ısı transferine katılır ve hem iç hem de dış fizyolojik termoregülasyonla dengelenerek vücudun homeostazını korur. İnsan durumunun geçiciliği ve tüm farklı mekanizmaların geniş aralıkları, herhangi bir anda muhtemelen benzersiz bir termal sorun ortaya çıkarır. Bu karmaşık ve son derece değişken koşullar için standart bina çevresel sistemleri kullanılır. HVAC (ısıtma, havalandırma ve klima) sistemi bir asırdan daha uzun bir süre önce ortaya çıktı ve o zamandan beri çok az değişiklik geçirdi, çünkü geçici ve heterojen bir ortamda istikrarlı ve homojen koşullar sağlama yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte, farklı termal davranışların heterojenliği, bu davranışların her birini uygun ölçekte ve konumda ele alarak termal çevremizin doğrudan tasarımını ve kontrolünü keşfetmek için benzersiz bir potansiyel sunar. Isı transferi ve akışkan mekaniği hızlı bir genel bakış, ilgili malzeme özellikleriyle birlikte termal davranışların karmaşık kategorilerini oluşturacak ve farklı türler için tek bir yanıt kullanmanın sorununu ortaya koyacaktır. (Addington ve Schodek, 2005, s.55)

4.5.1. Vücudun Termal Çevresi

Tasarımcılar olarak nihai hedefimiz, insan vücudunun sağlığını, refahını ve keyfini sağlamaktır. İnsan vücudu, kendi sağlığını korumada fazlasını yapar. Karmaşık ve çok yönlü bir termoregülasyon sistemi, çevresel koşulların şaşırtıcı bir aralığını

karşılayabilir - sadece deri yüzey sıcaklığı zararsız sonuçlarla yaklaşık 10 ila 42 °C arasında değişebilir. Homeostazis terimi - sabit bir vücut sıcaklığının korunması - biraz yanıltıcıdır, çünkü yalnızca iç organların sıcaklığı istikrarlı bir seviyede tutulmalıdır. Vücudun geri kalanı, radyasyon, iletim, konveksiyon ve buharlaşma gibi mekanizmaları dinamik olarak kullanarak vücudun termal dengesini ayarlamak için bir ısı değiştirici olarak işlev görür. Çevresiyle termal denge halinde olan bir vücut, istikrarlı vücut koşulları ve istikrarlı çevre arasında fark olmaksızın hareketsizdir. Bununla birlikte, HVAC sistem tasarımının amacı, nötr bir ortam oluşturmaktır (%80'in memnun olmadığı bir ortam; göremediğimiz ve hissedemediğimiz duyumlar için).

Termal duygu, insan sinir sisteminin diğer bir farklılaşan yönüdür ve ayrıca yaygın olarak varsayıldığı gibi vücudun termoregülasyonuyla doğrudan ilişkili değildir. Deri reseptörleri (veya geleneksel olarak ' dokunma ' olarak adlandırdığımız) mekanik ve elektromanyetik enerji olmak üzere iki büyük çevresel uyarı sınıfına tepki verir. Bu reseptörler - mekanoreseptörler ve termoreseptörler olarak bilinir - vücudumuz ve çevresi arasındaki arayüzde yalnızca uyarılara tepki verdikleri için termodinamik sistemimizde sınır geçişinin mükemmel örnekleridir. Ancak hatırlayalım ki, enerjinin bir sınırdan geçebilmesi için bir değişkenin farklı olması gerekmektedir. Bu nedenle, termoreseptörler ambiyans sıcaklığını hiç hissetmez, ancak cildimizin sıcaklığı ile çevresi arasındaki farka tepki verirler. Cilt sıcaklığı, vücudun termal düzenleme tepkilerinin en değişkenlerinden biridir, bu nedenle farkın sürekli olarak değiştiğini varsayabiliriz. Termal durumumuzun bu sürekli ayarlamasının farkında olmamız, çevrenin homojenliği nedeniyle değil, değişimin nörolojik sistemde normatif bir durum olmasının bir göstergesidir. Termoreseptörler, değişimin türevidir - hızı - değişmeye başladığında bilinçli bir duyum üretmez. Farkın farkındalığımızın olduğunu söyleyebiliriz. Vücut bir termometre değildir.

İnsan vücudu, bir binada ısı değişimi yapan varlıkların en tipik olanıdır. Bir binanın çevresini, oluşan termal olaylarla karakterize edersek ve bu olayları hafifletmek için kullanılan HVAC teknolojisine göre değil, tanırsak, tüm olayların boyut değiştiren bir davranışa yol açtığını fark ederiz. Yüzenlik, yerçekimi ile yoğunluk etkileştiğinde meydana gelir.

Örneğin, sıcak hava yükselirken soğuk hava çöker. Hava yoğunluğu sıcaklığa ters orantılıdır, bu nedenle sıcaklık yükseldikçe yoğunluk düşer. Yoğun hava yerçekimi etkisiyle yerin yakınına doğru çekilir ve böylece yerden yüksekliğe doğru bir düşükten yükseğe doğru bir sıcaklık tabakalaşması oluşur. Vücüdü saran yüzenlik akımı, aydınlatma, bilgisayarlar, elektrik ekipmanları gibi binadaki diğer ısı kaynaklarının çevresinde ve yemek pişirme, ısıtma, banyo gibi birçok süreç etrafında da bulunur. Hava içinde ısı üreten herhangi bir varlık yüzenlik aracılığıyla ısısını değiş tokuş eder. Ayrıca, bir yüzey varlığı ile çevredeki hava arasında sıcaklık farkı olduğunda, yüzenlik sınır tabakası oluşur. Binadaki yüzey sıcaklıkları, özellikle duvarlar, pencereler, çatılar ve zemin gibi dışa bakan bileşenlerde, genellikle ambiyans hava sıcaklığından farklıdır, bu nedenle yüzeyler boyunca yüzenlik akımı oluşur. İç termal çevre, tek bir sınırlı durum olmak yerine, benzersiz sınırları olan bir dizi yüzenlik davranışının büyük bir koleksiyonudur.

Günümüzün ve geçmiş yüzyılın HVAC sistemleri, bu çoklu enerji sistemlerini karıştırır ve ardından tüm hava hacminin sıcaklığını kontrol etmek amacıyla seyreltir. Bu, insan termal dengesini yönetmenin en az verimli yollarından biridir. Bu yaklaşımı ortak bir yüzenlik sınır tabakası sorununa verilen başka bir yanıtla karşılaştırın - aerodinamik kaldırma. Bir hava kanadı ile atmosfer arasındaki sınır tabakası koşullarını etkileyen ince ve sık sık mikroskopik değişiklikler, dramatik bir şekilde değişebilir. Eğer bu enerji değişimi sorununu bir binada enerji alışverişlerini hafifletmek için kullandığımız şekilde yönetmeye çalışsaydık, o zaman tüm atmosferin basıncını yönetmeye çalışıyor olurduk, sadece uçağın yüzeyinden birkaç santimetre içindeki basıncı değil. Saçma, evet, ancak bu, birinci bölümde tartıştığımız bilim ve bina teknolojisi arasındaki garip ilişkinin başka bir örneğidir. Aerodinamikte, teknoloji fiziksel sorunlara yanıt vermek için geliştirilir ve değiştirilir. Bina tasarımında, çevreyi (fiziksel davranışı) optimize etmek için teknolojiyi değiştiririz.

En stratejik ve verimli seviyede hareket etmek için enerji işlemlerinin doğal olarak gerçekleştiği ve ölçeğini anlamamız gerekmektedir. HVAC sistemleri, binanın ölçeğiyle ilişkili olarak tasarlanırken, termal davranışlar çok daha küçük ölçeklerde işler. İdeal yanıt, davranışın sınırında ve ölçeğinde gerçekleşecektir. Akıllı malzemeler ve yeni

teknolojiler - küçük ölçeklerinden dolayı - nihayetinde doğrudan ve yerel bir etkileşim sağlayacak ve bize yalnızca çevremizi ortadan kaldırmak yerine bir termal çevre tasarlamamıza olanak tanıyacaktır. (Addington ve Schodek, 2005, s.55)

4.6. AYDINLIK ORTAM

Işık ve ses, termal enerjilerdir - ışık elektromanyetik radyasyon olarak, ses ise basınçlı konveksiyon olarak. Bu nedenle, ışıltılı ve akustik davranışların tartışmalarını termal çevre ile aynı bağlam içine yerleştirebiliriz. Ancak, ışığın anlamı yalnızca hayvan algısı için geçerlidir ve amacımız için bu insan algısına daralır. Gerçekten de, ışığın tanımı 'görsel olarak değerlendirilen ışıltılı enerjidir'. Işıltılı enerji veya elektromanyetik radyasyon, elektriksel bir yükün ivmelenmesi sonucu ortaya çıkar ve atomlardaki elektronların hızlı salınımı sonucunda gerçekleşir. Salınım, titreşen kaynaktan ışığın hızında sinusoidal bir desende uzaklaşan enerji "paketleri" veya "fotonlar" yayınlar. Foton terimi, Yunanca photos kelimesinden türetilmiş olsa da, elektromanyetik spektrum gama ışınlarından mikrodalgalara kadar fotonlardan oluşur. Elektromanyetik radyasyon, enerjisi (E), dalga boyu (λ - dalga tepesi arasındaki mesafe) ve frekansı (ν) ile karakterize edilebilir ve bu üçü birbirleriyle ilişkilidir.

$\lambda = c/\nu$

burada c = ışığın hızı (299,792,458 m/s)

$E = h\nu$

burada h = Planck sabiti (6.626 x 10^-27 erg-saniye)

Elektromanyetik spektrum, bir dağın yüksekliği kadar büyük ve bir atom parçacığının çapı kadar küçük olan dalga boyunu kapsar - yaklaşık 15 büyüklük sırası aralığı. Bu muazzam enerji aralığında, ışık neredeyse ihmal edilebilir bir dalga boyu aralığındadır - yaklaşık 400 ila 750 nm arasında veya spektrumun %0.00000000000000003'ünden azı! Işık, dünyayı algılamamızdan sorumlu olan fiziksel bir olgudur ve yine de bizi çevreleyen ve evrendeki diğer her şeyle bağlantı kuran elektromanyetik enerjinin neredeyse ihmal edilebilir bir bölümüdür.

Elektromanyetik radyasyonla ilgili bir kural, arayüz sınırının dalga boyuyla aynı ölçekte olduğudur. Örneğin, radyo sinyallerinin dalga boyu yaklaşık 100 ila 1000 metre arasında değişir ve FM, AM'den daha kısa bir dalga boyuna sahiptir. Sonuç olarak, dağ sıraları FM ile daha fazla etkileşebilirken, binaların sinyirne daha az etkisi vardır. Mikron ila milimetre arasında dalga boyuna sahip kızılötesi radyasyon, bir nesnenin yüzeylerinden en çok etkilenir. Spektrumun diğer ucunda, 10^-12 metre büyüklüğünde dalga boyuna sahip gama ışınları yüzeylerin ve moleküllerin içine nüfuz edebilir ve atomik ölçekte etki eder. Işığın dar bantı, yüzey özelliklerinin ölçeğinde en etkilidir. Bir nesnenin yüzey özellikleri, renk, doku, yönelim, şekil gibi birçok şeyi bize anlatır ve temel olarak fiziksel nesneler dünyasında gezinmek için gerekli bilgileri sağlar.

Kilometreler kadar büyük ve atomik bir parçacığın çapı kadar küçük olacak şekilde geniş bir dalga boyu aralığı, elektromanyetik radyasyonun davranışını tanımlamak için üç farklı modelin ortaya çıkmasına yol açmıştır. İlk iki model spektrumu kapsar ve birlikte "dalga-parçacık ikiliği"ni oluşturur. Fotonlar yalnızca enerji miktarına göre farklılaşır, ancak davranışlarını açıklayan "dünya görüşü açıklamaları" onlara hem dalga benzeri hem de parçacık özellikleri atfeder, düşük enerjili fotonlara önceki, yüksek enerjili fotonlara ise sonraki özellikler verilir. Fotonlar hem dalga hareketinde ilerleyen ayrık bir pakettir, ancak bu tanımlamalar, sorunun ölçeklerinde ilgili olayları basitleştirmeye yardımcı olur. Üçüncü model sadece ışığın davranışını açıklamak için kullanılır. Geometrik optik, dalga veya parçacık özelliklerine sahip olmamasına rağmen, ışığın yolunu belirlemede çok etkili bir modeldir. Işığın nereye gideceğini tahmin etmemize yardımcı olmak için geometrik optiğin dört kuralını izole edebiliriz.

4.6.1. Işığın Nitelikleri

Işıkla etkileşime giren birçok malzemenin özelliği, moleküler yapının dışında kalan koşulların da etkileyeceği dışsal özelliklerdir. Yansıtma, soğurma ve geçirgenlik bu kategoriye girer. Yüzey yapısında yapılan değişikliklerin bu özellikler üzerinde büyük bir etkisi olduğunu zaten konuştuk, ancak ışığın iki temel parametresi - yoğunluğu veya enerjisi ve spektral bileşimi - çok daha etkilidir. Yoğunluk, belirli bir yönde birim alan başına düşen foton miktarıdır. Yoğunluğu anlatmak için yaygın bir benzetme, bahçe hortumudur. Hortumun nozulu bir yöne döndürüldüğünde, dar ve yüksek basınçlı bir akış

oluşur. Nozul diğer yöne döndürüldüğünde ise ince bir sis yayılır. İlki yüksek yoğunluklu, ikincisi ise düşük yoğunlukludur. Yoğunluk, nihayetinde görsel sistemimizin bir nesneyi çevresiyle ilişkilendirme şeklini belirleyecektir.

Güneş bizim için temel ışık kaynağıdır ve aynı zamanda yapay ışık kaynaklarını karşılaştırmak için bir ölçüt oluşturur. Tüm nesneler radyasyon üretir, ancak bunu spektrumun farklı bölgelerinde yapar. Güneş radyasyon enerjisini temel olarak (yüzde 95) yaklaşık 2x10^-7 ila 4x10^-6 m aralığındaki dalga boylarında yayınlar ve elektromanyetik spektrumun görünür kısmına (solar radyasyonun yüzde 45'i) kadar uzanırken ultraviyole (yüzde 10) ve yakın kızılötesi (yüzde 45) bölgelerine kadar uzanır. Görünür spektrum boyunca göreli olarak sürekli bir yoğunluk seviyesi, yüzeylerde düzgün bir aydınlatma sağlar ve yüzey özelliklerine bağlı olarak herhangi bir renk yansıtabilir. Bununla birlikte, erken deşarj lambaları spektrum boyunca kesintili olma eğiliminde olmasının yanı sıra enerji seviyelerini dar bant genişliklerinde yoğunlaştırmışlardır.

Her ne kadar genellikle renkleri nesnelere aitmiş gibi konuşsak da - mavi su, yeşil çim, kırmızı arabalı tahta kasa - renk sadece ışığa aittir. Tüm yüzeyler, ışıktan enerji ve renk çıkarmak için çıkarma yapabilen öğelerdir, ekleyemezler. Örneğin, düşük basınçlı bir sodyum lambasının spektral dağılımı çok dar bir bant genişliğine sahip olup, dalga boyları yalnızca sarı aralığa sınırlıdır. Bu lambanın altında mavi bir araba park ettiğinde, arabanın yüzeyi sadece sağlananı yansıtabilir ve bu durumda yalnızca sarı yansıtabilir. En iyi ihtimalle, araba koyu kahverengi gibi görünecektir ve boya içinde sarı bileşenler yoksa siyah gibi görünebilir. Aynı araba ertesi öğleden sonra hala dışarıda ise, boya rengi seçilirken amaçlanan mavi olarak görünecektir.

Kaynakların ve yansıyan nesnelerin rengini enerji, dalga boyu ve bant genişliği olmak üzere üç miktarla tanımlayabiliriz. Enerji seviyesi ne kadar parlak olduğunu, dalga boyu hangi renk olduğunu ve bant genişliği ne kadar doygun olduğunu bize söyler. Aşağıdaki iki spektral profili karşılaştırın. İlk olarak bir lazerin spektral profili. Yüksek enerji seviyesi, ışığın son derece parlak olacağını gösterir; dalga boyu 640 nm civarında merkezlenmiştir, yani kırmızı üretir ve bant genişliği çok dar olduğundan kırmızının çok saf bir kırmızı olduğunu düşünürüz. İkinci profil bir ışık ampulüne aittir. O da kırmızı bir

dalga boyunda zirve yapmasına rağmen, profili tüm görünür spektrum boyunca dağılımı, doygun olmadığını gösterir ve kırmızı kısmı spektrumdaki diğer dalga boylarından daha fazla dalga boyunu içerir. Bu nedenle, bir ışık ampulü bize kırmızı gibi görünmez, ancak beyaz ışığının gün ışığı tarafından üretilen ışıktan daha "sıcak" olduğunu fark ederiz. Ayrıca, düşük enerji seviyeleri, lazerin yatak lambamızdan çok daha parlak ışık ürettiğini beklentimizle uyumludur.

Yüzeyin rengi, kaynağın rengiyle aynı şekilde spektral bir profille tanımlanabilir. Örneğin, bir domatesin spektral profillerini bir mavi pigmentin profilleriyle de karşılaştırabiliriz. Yüzey rengi ile kaynak rengi arasındaki temel fark, renk görünmesi için yüzey ve kaynak profilleri arasında oldukça spesifik bir eşleşme olması gerektiğidir (doğa tarafından veya tasarımcı tarafından amaçlanan renk!). Uzun dalga boylu ışığa sahip bir kaynak, domatesi oldukça doğru bir şekilde görüntüleyecektir, ancak mavi pigment, ışık kaynağında kısa dalga boylu bileşenler yoksa tamamen absorbe (siyah) gibi görünebilir. Bu nedenle, renklerin doğru bir şekilde yansıtıldığından emin olmak için genellikle sürekli spektrumlu beyaz ışığı tercih ederiz. Yüzeye yansıyan ışık, azalmış bir kaynak haline gelir. Enerjideki azalmanın yanı sıra, belirli dalga boylarının çıkarılması, bir yüzeyin ışığın bir başka niteliği olan polarizasyon üzerinde de etkisi olabilir.

Daha önce elektromanyetik dalga kavramını tanıttığımız tartışmamıza geri dönersek, bu enerji darbelerinin genellikle tasvir edildiği gibi iki boyutta değil, üç boyutta salınım yaptığını bilmemiz gerekir. Bir kaynaktaki her atom, farklı bir düzlemde ışık yayacaktır. Sonuç olarak, güneş ve diğer birçok yaygın ışık kaynağı, birbirine rastgele yönelmiş düzlemlerde salınan fotonlar üretir - bu duruma "polarize olmamış ışık" denir. Düzlemler arasında tercihli bir yönelim olduğunda, ışık "polarize" olduğu söylenir. Bu ayrım birçok optik olayda hayati öneme sahip olsa da, insan gözü normalde polarize ve polarize olmamış ışık arasında ayırt edemez.

Polarizasyon koşulu birçok nedenden dolayı ortaya çıkabilir. Birçok malzeme elektrik alanlar için tercih edilen yönlere sahiptir. Işık bu malzemelerden geçtiğinde, malzemenin iç yapısı doğal olarak polarize ışık üretir. Emilim veya yansıma, bir yöndeki polarizasyon için diğer yöndekinden daha yüksek olabilir. Örneğin, kalsit, geçerken

polarize ışık üreten doğal olarak bulunan bir malzemedir. Daha genel olarak, malzemenin bir yönde diğer yönde olduğundan daha güçlü bir şekilde titreşen ışığı emme özelliği olan "dikroizm" özelliğine sahip herhangi bir malzeme, polarize malzeme olarak kullanılabilir. Örneğin, turmalin, geleneksel olarak bir polarizör olarak kullanılan doğal bir dikroik kristaldir. Birçok sentetik olarak üretilen malzeme de aynı etkiyi üretebilir. Genellikle uzun çubuk veya plaka yapılarını içerirler ve bu hizalanmış yapılar bir düzenli düzen içinde bulunur. Bu hizalanmış yapılar bir polarize ışığın bir düzlemi emerken diğer düzlemi iletebilir.

Farklı malzemelerin polarize ışık üretmek için seçici özellikleri birçok şekilde kullanılabilir. Sadece dikey olarak polarize olan bir polarizasyon malzemesi, yatay olarak polarize olan bir ışığa maruz kaldığında malzemeden hiç ışık geçmez (yatay olarak polarize olan tüm fotonlar malzemeden geçmeye çalışırken durdurulur). Bu durum genellikle "polarize" güneş gözlüklerinde kullanılır. Güneş ışığı yatay bir yüzeyden, su ve kar dahil olmak üzere yansıdığında kısmen yatay olarak polarize olur. Dikey olarak yönlendirilmiş polarizasyon malzemeye sahip güneş gözlükleri bu yansıyan ışığı engelleyebilir, böylece parlamayı azaltır. (Addington ve Schodek, 2005, s.64)

4.6.2. Vücudun Aydınlık Ortamı

Ancak bu yeterli bir arka plan değildir, çünkü aydınlık ortamı açıklamak için de gözlerimizin termal ortamla ilgili sınırlayıcı bir rol oynadığını bilmemiz gerekmektedir. Daha spesifik olarak, bu sınırlayıcı rol gözlerimizin arka kısmında, çubuklar ve konilerden oluşan görsel reseptörlerimizin yer aldığı küçük bir bölgede bulunur. Diğer yüzeyler gibi, bu reseptörler belirli enerji seviyelerinde belirli dalga boylarını seçici olarak absorbe eder. Çocukken birçoğumuz çubuklar ve koniler hakkında öğretildik, çubukların gece görüşü için, konilerin ise renk görüşü için olduğunu düşündük. Bu özelliklere dalga boyları bağlandı ve konilerin kırmızı, yeşil ve mavi olduğunu, çubukların ise sadece siyah ve beyaz gördüğünü varsaydık. Son on yılda yapılan nöroloji ve fiziksel psikoloji ilerlemeleri, gözdeki fotoreseptörler hakkında çok farklı bir "görüş" sağladı. Tüm reseptörlerin pik dalga boyları görülebilen spektrumun daha kısa ila orta aralığında bulunur - üç koninin pik dalga boyları sırasıyla 420, 530 ve 560 nm'de, çubukların pik dalga boyu ise 500 nm'de bulunur.

Esas olarak, görülebilen sistemimiz yeşile en duyarlıdır. Gözün mevcut modelleri, nörolojik yanıtını iki temel kategoriye ayırır: "ne" sistemi ve "nerede" sistemi, eski çubuk/koni sisteminin yerine geçen bu iki kategoriye farklı tipte gangliyon hücreleri eşlik eder. Büyük hücreler "nerede" yanıtını üretirken, küçük hücreler "ne" yanıtını üretir. Her iki tür gangliyon hücresinin temel amacı, retina küçük alanları arasında foton alımının göreli karşılaştırmalarını yapmaktır. Karşılaştırmaların çoğu merkez-çevre reseptör alanı aracılığıyla gerçekleşir - alanın merkezinde fotonlar hücreyi uyarırken, çevrede fotonlar alanı engeller. Sonuç olarak, alan boyunca sabit bir ışık seviyesi, seviyenin ne kadar ışık veya karanlık olursa olsun nötr bir sinyal üretir. Vücut bir termometre olmadığı gibi, göz de bir ışık ölçer değildir. Reseptör alanı yalnızca alan boyunca fotonlardaki farklılıklarla karşılaştığında beyine sinyal gönderir.

"Nerede" sisteminde, bu farklılıklar hareket, derinlik ve uzamsal organizasyonun algılanmasından, figür/zemin ayrımına kadar algılama sürecine katkıda bulunur. "Nerede" sistemi renk körüdür, ancak parlaklık farklarına karşı son derece hassastır. Öte yandan, "Ne" sistemi renge oldukça seçici olmasına rağmen, parlaklık kontrastına karşı nispeten duyarsızdır. Bu sistem nesne ve yüz tanıma ile renk algısından sorumludur. Keskinlik "Ne" sisteminde en yüksek olsa da, "Nerede" sistemi daha hızlı olduğu için hareket algılaması için idealdir.

Bu görsel sistemle ilgili yeni anlayış, tasarımcılar ve özellikle mimarlar için derin etkileri vardır. Eğer yalnızca parlaklık bir şeyin nerede olduğunun belirlenmesinden sorumlu ise, o zaman hiç olmayan bir yüzeyin görsel bir şekilde belirginleştirilmesi mümkün olabilir, aynı şekilde tersi de mümkündür. Eğer yalnızca renk nesne tanıma için sorumlu ise, benzer nesneler renk kullanımının planlı bir şekilde farklılaştırılmasıyla daha da ayrıştırılabilir. Artık bir kişinin nasıl gördüğünü ve bilgileri nasıl yorumladığını tasarlamak mümkün olacak, sadece önlerine yerleştirilenleri tasarlamaktan daha fazlasını yapabileceğiz. (Addington ve Schodek, 2005, s.64)

4.7. AKUSTİK ORTAM

Bir binadaki akustik ortam, zorunlu olarak nötr olabilirken, termal ortam genellikle ikinci planda düşünülür ve aydınlık ortamı da daha sonra ele alınırken, akustik ortam tarih öncesi dönemlerden beri iyi belgelenmiş ve incelenmiştir. Bununla birlikte, akustiğin anlaşılması ısı ve ışığın anlaşılmasından daha sonradır, aslında 20. yüzyılın başlarına kadar gelmemiştir. Kulağın nasıl çalıştığına dair mevcut model bile 20. yüzyılın sonunda geliştirildi ve kulak sinir sisteminin göze kıyasla hala tam olarak anlaşılmadığı kabul edilmektedir. Peki, o zaman mimarların bu ortamı tasarlamada büyük uzmanlık geliştirdiği neden?

Cevap, sesin iletimini belirleyen termal davranışın ölçeğinde olabilir. Sıvı bir ortamda basınç darbeleriyle üretilen ses, konveksiyon yoluyla iletilir. Daha önce de bahsettiğimiz gibi, konveksiyon termal fenomenlerin en büyük ölçeğinde çalışır. Mimari nesnelerin aynı ölçekte olması nedeniyle, mimari nesnelerle sesin alınması arasında her zaman doğrudan ve anında bir bağlantı olmuştur. Bir beton duvarı ahşap panellerle kaplarsak, mekandaki akustik özellikleri çok tahmin edilebilir bir şekilde değiştireceğiz. Termal ve aydınlık ortamlarda benzer davranış türlerini tahmin etme yolları geliştirdik, ancak termal tahminler büyük ölçüde deneysel gözlemlere dayanırken, ışık tahminleri yüzeylerle ve gözümüzle etkileşime giren ışığın mikroskobik davranışını hesaba karamaz.

Işık gibi, ses de dalga benzeri bir davranışla karakterize edilebilen termal enerjidir. Ses, ortamdaki moleküllerin titreşimiyle bir "esnek" ortamda yayılan mekanik (kinetik) enerji tarafından üretilir. Esneklikten kastımız, sıkıştırılabilir bir bileşen içeren herhangi bir ortamdır; hava gibi akışkanlar açıkça esnektir, ancak beton gibi katı maddeler de sesi iletebilecek aralıklı hava boşluklarına sahiptir. Sesin kaynağı, çevre ortamının bir yer değiştirmesine neden olan herhangi bir bozulma (aynı zamanda bir kaynak olarak da bilinir) olabilir. Bu, bir katı cismin mekanik etkisi, bir düdük veya kornanın salınan hava basıncı veya bir zar üzerinde etkisi olan elektrik enerjisi olabilir. Ortaya çıkan bozulma, ortamdaki ardışık sıkıştırmaları ve seyreltmeleri tetikleyecek ve kökeninden itibaren dalgalar halinde küresel olarak yayılacaktır. Eğer ışık elektromanyetik enerji darbeleri serisi olarak tarif edilebilirse, o zaman ses basınç

darbeleri serisi olarak tarif edilebilir. Ses dalgaları, frekansı, dalga boyu, basınç (genlik) ve fazıyla karakterize edilir. Dalga boyu ve frekansı aşağıdaki denklemde ters orantılıdır:

$$V = f * \lambda$$

Ortamda sesin hızı (m/s) = frekans (devir/s) * dalga boyu (m/devir)

Bu denklem ışık için gösterilen denkleme benzer ve hız yerine sesin hızı olan bir sabit içerir. Temel fark ise ışığın hızının sabit olması, sesin hızının ise ortama bağlı olmasıdır. Örneğin, hava ortamında ses hızı yaklaşık olarak 345 m/s'dir (hava sıcaklığı ve basınca bağlı olarak), su ortamında ise bu hız dört kat daha hızlıdır (1450 m/s) ve granit gibi malzemelerde ise neredeyse yirmi kat daha hızlıdır (6000 m/s). Bu hızları ışığın 300 milyon m/s hızıyla karşılaştırdığımızda, sesin son derece yavaş olduğunu görürüz. Işık ne zaman üretildiğini ayırt edemeyiz, çünkü güneşten gelen ışık bizimle masa lambamızdan gelen ışığın bize ulaşmasından hemen önce gelir. Ancak sesin yavaşlığı her zaman fark edilir. Bir şimşek çaktığında ve gürültüsünü duymamız arasındaki saniyeleri sayarak, şimşeğin ne kadar uzakta olduğunu anlayabiliriz. Bir müzik grubunun hareketleri ile müziklerini duymamız arasındaki gecikmeyi fark etmişizdir. Kaynak ile hedeflenen alıcı arasındaki mesafe tasarım için önemli bir değişken olarak karşımıza çıkar. Sonuç olarak, ışık hakkında yapılan birçok gözlemi sese uygulayabiliriz. Ses, elektromanyetik radyasyonla birçok önemli fiziksel özelliği paylaşan bir ışın taşıma fenomenidir:

- Her ikisi de dalga veya dalga benzeri hareketlerle iletilir ve iletim yolları geometrik optiği takip eder.

- Her ikisi de kaynaklarından küresel olarak yayılır ve yoğunlukları kaynaktan uzaklık karesiyle azalır.

- Ses ve ışık için iletim, yansıma ve emilme süreçleri geçerlidir.

- Hem ses hem de ışık, frekans ve dalga boyundan neredeyse bağımsız bir hızda seyahat eder (kırmızı bileşenleri spektrumun mavisini gördüğümüzde, yüksek frekanslı sesleri düşük frekanslı seslerle aynı anda duyarız).

Bu benzerlikler, sesin bir kaynaktan yayılmasını belirlemek için görüş çizgilerinin kullanılmasına ve günümüzde birçok akustik simülasyon aracının ışık simülasyonu için geliştirilen aynı ışın izleme tekniklerini kullanmasına yol açmıştır. Bir kural olarak, kaynağı görebiliyorsanız, duyabilirsiniz. Yüzyıllardır tiyatro tasarımları bu kabul edilen kurala dayanarak şekillendirilmiştir, klasik amfitiyatronun basamaklı merdivenlerinden Barok opera evinin nal şekline kadar. 20. yüzyılın başında akustik biliminin gelişimi, ışığın davranışlarından farklı olan ses davranışlarını tanımlamak temeline dayanıyordu ve akustik tasarımda belirleyici faktör olarak malzemeler ortaya çıktı. Bu etki, malzemenin absorpsiyon özelliğinin çok yönlü rolleriyle sağlanır. Malzeme, basınç darbelerinden ne kadar kinetik enerji absorbe edebileceğini ve böylece darbelerin genliğini azaltabileceğini gösteren absorpsiyon özelliğine sahiptir. Yüzeye gelen kinetik enerji, ses dalgasında bulunan akustik enerjinin büyüklüğü olarak ölçülebilir. Ses yoğunluğu, belirsiz atmosfer basıncının üzerinde ve altındaki basınç farkının genliğiyle orantılıdır. İnsan ortamlarıyla en çok ilgilendiğimiz için, ses yoğunluğunun bir ölçüsü olarak kullanılan ses yoğunluğu seviyesini kullanırız. Ses yoğunluğu seviyesi, ses yoğunluğunun bir ölçüsü olup, insan kulağının hassasiyetini dikkate alır.

4.7.1. Kulakların Akustik Çevresi

Belki de her iki ortamdan daha fazlası hakkında akustik çevre hakkında bilinenler, göze ve cilde nasıl tepki verildiğinden daha azdır. Sadece son 20 yılda, kulaktaki iki temel mekanoreseptörün rolleri belirlendi ve özellikleri hala doğrulanmaktadır. Gözle karşılaştırıldığında, fotoreseptörlere fotonların bir bir eşlemesinin olduğu gözde, mekanoreseptörlerin aynı anda örtüşen frekanslara, amplitüdlere ve sesin yönlerine tepki vermesi gerekmektedir. Ayrıca, gözün yaklaşık olarak 150 milyon reseptöre sahip olmasına karşın, kulak daha karmaşık görevini yalnızca 20.000 reseptörle gerçekleştirmelidir. Kulak hassasiyetinin anlaşılmasında kilit rol oynayan saç hücreleri olduğunda evrensel bir anlaşma olsa da, bunların tam olarak nasıl çalıştığına dair henüz tutarlı bir teori bulunmamaktadır.

Tasarımcılar olarak en çok ilgilendiğimiz özellik, kulağın sesi mekansal olarak nasıl yerleştirdiğidir. Çevremizi çevreleyen alan hakkındaki farkındalığımızın büyük bir kısmı görsel olmayan uyarılardan gelir. Alt vücudumuzdaki propriyoseptörler bize bir duvarın ne kadar yakın veya uzakta olduğunu hissettirirken, kulaktaki mekanoreseptörler bize bir odanın ne kadar geniş olduğuna dair ipucunu verir. Ganzfeld etkisi, ışık şiddet farkını ortadan kaldırarak, bir alanın boyutlarına dair görsel anlayışımızı siliyor olduğu gibi, bir anekoik odada da ses açısından aynı durum söz konusudur. Çevremizden gelen ses geri bildirim olmadan, bir odadaki konumumuzu mekansal olarak yerleştiremeyiz, hatta duvarları görsel olarak net bir şekilde tanımlanmış olsa bile. Birçok kurulum sanatçısı, ses manipülasyonuyla deney yapmaya başlıyor, mekansız alanlar yaratıyor ve istediği şekilde sesin yerelleşmesini yönlendiriyor.

Akıllı malzemeler, piezoelektrikler şeklinde, zaten ses tasarımında merkezi rol oynamaktadır, ancak akustik çevreyi, termal ve ışık ortamlarını doğrudan tasarlama potansiyeli, tasarım alanında en tartışmaya açık uygulama olabilir. (Addington ve Schodek, 2005, s.72)

5. AKILLI MALZEMELERİN TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

5.1. TEMEL ÖZELLİKLER

Akıllı malzemeler genellikle malzeme geliştirmede daha seçici ve özelleşmiş performansa doğru gidişin mantıksal bir uzantısı olarak kabul edilir. Yüzyıllar boyunca ahşap veya taş gibi standart bir malzemenin özelliklerini kabul etmek ve bunlarla çalışmak, malzemenin sınırlamalarına uyum sağlayacak şekilde tasarım yapmak gerekirken, 20. yüzyılda özel olarak tanımlanmış bir ihtiyacı karşılamak için yüksek performanslı bir malzemenin özellikleri seçilmeye veya tasarlanmaya başlanmıştır. Akıllı malzemeler daha da ileri bir özgüllüğe izin verir - özellikleri değiştirilebilir ve böylece geçici ihtiyaçlara cevap verebilir. Örneğin, fotokromik malzemeler ışığa maruz kaldıklarında renklerini (spektral geçirgenlik özelliği) değiştirirler: gelen ışık ne kadar yoğunsa yüzey o kadar koyu olur. Tek bir durum için optimize edilmek yerine birden fazla duruma yanıt verme yeteneği, akıllı malzemeleri tasarım paletine baştan çıkarıcı bir katkı haline getirmiştir.

Maliyet ve bulunabilirlik, genel olarak geleneksel malzemelerin akıllı malzemelerle yaygın bir şekilde değiştirilmesini kısıtlamıştır, ancak uygulama aşamaları, 'yeni' malzemelerin geleneksel olarak endüstriyel tasarıma dahil edildiği modeli takip etme eğilimindedir: başlangıçta oldukça görünür vitrinler (termokromik sandalye arkalıkları ve elektrokromik tuvalet kabini kapıları gibi) ve daha sonra Diller ve Scofidio'nun Mies van der Rohe'nin çığır açan Seagram's Binası'nın zemin katındaki Brasserie Restaurant gibi yüksek profilli 'tanıtım' projeleri aracılığıyla. Birçok tasarımcı, tamamen akıllı malzemelerden oluşan ürünler hayal etmekte. Gerçekten de, etkileşim ve dönüştürülebilirlik gibi terimler, gerekli malzeme ve teknolojiler çoğu projenin ekonomik ve pratik gerçekliğinin çok ötesinde olsa bile, tasarımcının kelime dağarcığının standart parçaları haline gelmiştir.

Bu nedenle bu çalışmanın amacı iki yönlüdür: akıllı malzemeleri daha yaygın olarak kullanılan endüstriyel malzemelerden ayıran özelliklere temel bir aşinalık geliştirmek ve endüstriyel tasarımda kullanıldığında bu özelliklerin potansiyeline ilişkin spekülasyonlar yapmak. (Addington ve Schodek, 2005, s.79)

Malzeme bilimlerinde alışılmış olan, kullanılan malzemelerin kullanım süresince mümkün olduğu kadar özelliklerini değiştirmemesidir. Yani bu klasik malzemeler kullanım boyunca herhangi bir değişime uğramamaları için ve sadece bulundukları yerde durmaları için "programlanıyor". Ancak bu klasik anlayış yavaş yavaş değişmektedir. Artık malzemelerden kullanım sırasında bir şeyler yapmaları ve faydalı değişimlere uğramaları bekleniliyor. Örneğin eski çağlardan beri bina yapımında geçerli olan "ortam şartları ile mücadele etme" anlayışı yerini "ortam şartlarına uyum gösterebilen ve çevresel uyarılara cevap veren" anlayışa bırakıyor. Deprem bölgelerindeki binalarda yer sarsıntılarına direnen değil, ağaçların rüzgarda kırılmamak için sallanarak ayakta kalmaları gibi yer sarsıntılarına cevap veren binaların yapımı arzulanıyor. Bu değişimi tüm diğer mühendislik dallarında da gözlüyoruz. Akıllı malzemeler çevreden gelen uyarılara özelliklerini veya şeklini değiştirerek cevap veren malzemeler olarak tanımlayabiliriz. Ancak bir anlamda tüm malzemelerin belli bir derece akıllılığı söz konusu. Örneğin ısıtıldıklarında genişlerler veya daha kolay işlenirler, bazılarının ısıtılması ile iletkenlikleri artar. Ancak malzemeyi gerçekten akıllı yapan bu tip değişimlerin malzemenin tasarımı ile ortaya çıkması. Çevreden gelen bir uyarıya hemen tüm malzemeler tepki vermezken sadece onlar tepki verirler, tepki boyutları çok fazladır ve tepkileri çevreden gelen uyarının boyutlarına bağlı olarak değişiyor. Örneğin ısıtıldıklarında yüzlerce misli hacimlerini değiştirirler.(Özel, 2013)

Ekolojik sistemlerdeki doğal akıllı malzemeler, çevresel uyaranlara etkin bir şekilde cevap verme yeteneğiyle dikkat çeker. Bu malzemeler, elektriksel, kimyasal, mekanik, manyetik ve optik gibi farklı uyaranlara karşı tepki gösterebilirler. Akıllı malzemelerin sentetik olarak tasarlanması ve üretilmesi için araştırmacılar doğadaki değişimlerden ilham almaktadır. Bu çalışmalar sonucunda sağlık, mimari, tasarım, altyapı, havacılık ve uzay gibi birçok alanda kullanılabilecek yeni akıllı ürünler geliştirilmiştir.

Akıllı malzemeler arasında renk değiştiren malzemeler, faz değiştiren malzemeler, piezoelektrik materyallerle çalışan ışık yayan diyotlar ve fotovoltaik malzemeler bulunmaktadır. Ayrıca, belirli bir uyaran karşısında istenen yanıtı sağlamak amacıyla tasarlanan ve mekanik, fiziksel veya elektromanyetik özelliklerini değiştirerek optimum yanıtı verebilen akıllı malzemeler de mevcuttur.

Akıllı malzemelerdeki şekil hafıza etkisi, tek yönlü veya çift yönlü olarak ortaya çıkabilir. Tek yönlü şekil hafıza etkisi, malzemenin ısıtma ile östenit fazına geçiş yapabilme yeteneğini ifade ederken, çift yönlü şekil hafıza etkisi ise ısıtma ile östenit fazına geçiş ve tekrar soğutma ile martensit fazına geçiş yapabilme yeteneğini ifade eder. Çift yönlü etki, malzemenin sentezlenmesi sırasında uygulanan mekanik ve ısıl işlemlerle kontrol edilebilir hale gelir. Eğer malzeme, yüksek sıcaklıktaki şekli ve düşük sıcaklıktaki şekli aynı anda hatırlayabiliyorsa, çift yönlü şekil hafıza etkisi gerçekleşir. Tek yönlü şekil hafıza etkisi ise sadece bir şekli hatırlama yeteneğine sahiptir.

Akıllı malzemeler öncelikle biyomedikal uygulamalarda (süperelastik ve biyouyumlu malzemeler) ve mühendislik uygulamalarında (mukavemet ve korozyon gibi) kullanılmıştır. Ancak günümüzde tekstil, uzay çalışmaları, makine-teçhizat, yapı malzemeleri, tıbbi cihazlar, endüstriyel ürünler ve birçok farklı alanda ileri düzey uygulamalarda da kullanılmaktadır. Örneğin, cerrahi aletler, ortodontik malzemeler, implante edilebilir cihazlar, protezler, dokunsal göstergeler gibi birçok akıllı ürün akıllı malzemelerden faydalanmaktadır.

Akıllı malzemeler kullanmanın avantajları şunlardır;

- Uygun maliyet
- Yüksek mukavemet, tokluk
- Artırılmış dayanıklılık
- Kimyasal korozyona, aşınmaya karşı yüksek dirence sahip
- Doğal afetlere karşı dayanıklı
- İmalat ve montaj prosedürleri kolay

Akıllı malzemelerin daha yaygın kullanılabilmesi için düşük maliyetli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, ekonomik, güvenli ve istenilen özelliklere sahip malzemelerin üretimi ve daha hafif malzemelerin araştırılması da akıllı malzemelerle ilgili sorunların çözülmesine katkı sağlayacaktır. Bu nedenle, akıllı malzemeler alanındaki araştırma ve geliştirme çalışmaları hızla devam etmektedir. (Tüylek, 2019, s. 81-95)

Akıllı malzemeler;

- Şekil Hafızalı Alaşımlar (Shape Memory Alloys)
- Şekil Hafızalı Polimerler (Shape Memory Polymers)
- Manyetik Şekilli Bellek Alaşımları
- Manyetostriktif Malzemeler
- Elektrostriktif Malzemeleri
- Piezoelektrik Malzemeler
- Dielektrik Elastomerler
- Foto-mekanik malzemeler

Akıllı malzeme dönüşümünün ilk kaydedilen gözlemi, 1932'de altın-kadmiyum üzerinde yapıldı. Ayrıca, 1938'de pirinçte (bakır-çinko) faz dönüşümü gözlemlendi. Ancak, 1962'de Beehler ve meslektaşları Deniz Donanması Silah Deposu'nda Nikel-Titanyum'da dönüşümü ve eşlik eden şekil hafızası etkisini buldular. Bu alaşım ailesine labaratuvarlarına atfen Nitinol adını verdiler.

Nitinol'ün keşfinden birkaç yıl sonra, şekil hafızası etkisine sahip diğer birçok alaşım sistemi bulundu. Nitinol'ün keşfinden sonra akıllı malzemeleri kullanarak ürün geliştirme hızlanmaya başladı, ancak birçok akıllı malzeme pahalı ve egzotik elementler içeriyordu. Sadece bakır bazlı alaşımlar, Nitinol ailesini ticari olarak çekici bir sistem olarak zorlamaya yaklaştı. 1980'lerin ve 1990'ların başında, birçok şirket Ni-Ti malzemeleri ve bileşenleri sağlamaya başladı ve özellikle tıbbi ürünler olmak üzere birçok ürün geliştirildi. (Ge ve diğerleri, 2016)

Şekil hafızalı alaşımlar, mekanik özelliklerini sıcaklık değişimi ile değiştiren metalik malzemelerdir. Isıtıldığında, kristalimsi fazın, martensitik veya östenitik fazın değişmesi nedeniyle orijinal şekillerini yeniden kazanırlar. Tipik olarak, Nikel-Titanyum alaşımlarından veya bakır bazlı üçlü alaşımlardan yapılır. Şekil hafızalı alaşımların ana dezavantajı, daha yavaş tepki süresi ve bir yedekleme sisteminin gereksinimidir, ancak bunlar büyük gerilimlere (% 5), E = 70GPa'ya dayanır ve düşük mutlak kuvvetlerle(N) yüksek spesifik kuvvet ve güç yoğunluğu gösterir. Aktüatörlerin yanı sıra enerji toplama yapısı olarak da kullanılabilirler. Şekil hafızalı polimerler, deforme olmuş bir durumdan bir sıcaklık değişiminin neden olduğu orijinal şekillerine dönme kabiliyetine sahip polimerik akıllı malzemelerdir. Şekil hafızalı alaşımlardan farklı olarak Şekil hafızalı polimer mekanizması, polimerin bir geçiş sıcaklığının üstünde veya altında, genellikle Tg'nin geçişine dayanır. Birçok polimerik malzeme, şekil hafızalı alaşımlara kıyasla daha düşük kuvvetler üreten ve bu nedenle mühendislik uygulamaları için daha az alakalı olan bu özellikleri sergiler. (Spaggiari ve diğerleri, 2016, s.1-29)

Tablo 6

Akıllı Malzemelerin Uyarıcılara Göre Kuvvet Üretimi

Uyarıcı	**Akıllı malzemeler**
Termal alan	Şekil Hafızalı Alaşımlar Şekil Hafızalı Polimerler
Manyetik alan	Manyetik Şekil Hafızalı Alaşımlar Manyetostriktif Malzemeler
Elektrik alan	Elektrostriktif Malzemeler Piezoelektrik Malzemeler Dielektrik Elastomerler Fotomekanik Malzemeler

Kaynak: Spaggiari, A., D. Castagnetti, N. Golinelli, E. Dragoni ve G. Scirè Mammano. (2016). Smart Materials: Properties, Design and Mechatronic Applications. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L Journal of Materials Design and Applications. Vol 233. Sayı 4, 1-29.

Kullanılan farklı malzeme ve yöntemlerin çevre üzerinde olduğu kadar ekonomi üzerinde de önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle, malzeme verimliliğini, yapısal bütünlüğü, uzun ömürlülüğü, maliyeti ve endüstriyel uygunluğu etkilemeden çok sayıda çevre dostu, ekonomik seçim yapma yeterliliği büyük önem taşımaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için yeni ileri teknolojiler ve yüksek performanslı malzemeler geliştirilmekte ve uzun vadeli sorunlar için daha yenilikçi çözümler sunulmaktadır. İster yapısal sağlamlık, ister çevre, ister bakım ve onarım amaçlı olsun, hepsi fayda sağlamaktadır. Akıllı malzemeler ve akıllı yapılar olmak üzere iki tür akıllı vardır. Akıllı yapılarda akıllı malzeme çalışması ve uygulaması çeşitli yazarlar tarafından geliştirilmiştir. Şekil hafızalı alaşım, manyetostriktif malzemeler, piezoelektrik malzemeler, Titanyum Dioksit kaplı nano malzemeler gibi akıllı malzemeler, bu akıllı malzemelerin akıllı yapılardaki mimari uygulamaları ayrıntılı olarak verilmiştir.

Akıllı malzemeler, elektrik, manyetik dalgalar veya ısıdaki herhangi bir değişikliğe yanıt verebilen malzemelerdir. Hem çevreden hem de kendi içlerinden gelen her türlü uyarıyı alabilmekte, bunlara yanıt verebilmekte ve işlevselliği yapılarına entegre ederek değişikliklere uyum sağlayabilmektedirler. Genellikle akıllı yapılar akıllı malzemeleri özümser. Bunlar sadece bileşim olarak akıllı değil, aynı zamanda yapısal değişikliklere uyum sağlama konusunda da akıllıdır. Akıllı malzemelerin, çevresel koşullardaki değişiklikleri anında ve doğuştan tanımlama ve bu değişikliklere bir tür harekete geçirme veya eylemle yanıt verme konusunda ustaca oldukları bilinmektedir. Dahası, belirlenen çevresel değişikliklere yanıt olarak ortaya konan bazı uygun eylemleri veya hareketleri gösterirler ve söz konusu malzemenin durumlarını korurlar. Uyarıcı ve tepki elektriksel, kimyasal, radyan, termal, manyetik vb. gibi çeşitli türlerde olabilir. Akıllı malzemeler aşağıdaki kategorilerde sınıflandırılır. (Addington ve Schodek, 2005, s.79)

Piezoelektrik

Bunlar bir elektrik yüküne veya voltajdaki bir dalgalanmaya yönlendirildiğinde, piezoelektrik malzeme bazı mekanik değişikliklerden geçecek ve bunun tersi de geçerli olacaktır. Bu fenomenler doğrudan ve ters etkiler olarak adlandırılır.

Elektrostriktif

Piezoelektrik malzeme ile aynı özelliklere sahiptirler. Bu özellik her zaman aynı yolda yer değiştirmeler üretecektir. Mekanik değişim elektrik alanının karesi ile orantılıdır.

Manyetostriktif

Manyetik alan sağlandığında veya tam tersi olduğunda (doğrudan ve ters etkiler), bu malzeme indüklenmiş bir mekanik gerilmeye maruz kalır. Sonunda, sensör ve/veya aktüatör olarak kullanılabilir. (Örn: Terfenol-D).

Şekil Hafızalı Alaşımlar

Termal bir alan sağlandığında, bu şekil değişikliklerine yardımcı olan faz değişikliklerine uğrayacaktır. Düşük sıcaklıkta 'martensitik' durumunu geri kazanır ve yüksek sıcaklıkta ısıtıldığında 'östenit' durumundaki ilk şeklini geri kazanır. (Örn: Nitinol *TiNi*).

Optik Fiberler

Gerinim, sıcaklık, elektrik/manyetik alanlar, basınç ve diğer ölçülebilir parametreleri belirlemek için polarizasyon, faz, yoğunluk veya frekans kullanan fiberler. Mükemmel sensörler oldukları bilinmektedir. (Addington ve Schodek, 2005, s.79)

5.2. TİP 1 AKILLI MALZEMELER - ÖZELLİK DEĞİŞTİREN

Termokromik - malzemeye termal enerji (ısı) girişi moleküler yapısını değiştirir. Yeni moleküler yapı, orijinal yapıdan farklı bir spektral yansıtma özelliğine sahiptir; sonuç olarak malzemenin 'rengi' - elektromanyetik spektrumun görünür aralığında yansıyan radyasyonu - değişir.

Manyetoreolojik - manyetik alan (veya elektroreolojik - elektriksel alan) uygulaması mikro yapısal oryantasyonda bir değişikliğe neden olarak akışkanın viskozitesinde bir değişikliğe yol açar.

Termotropik - malzemeye termal enerji (veya fototropik için radyasyon, elektrotropik için elektrik vb.) girdisi, bir faz değişikliği yoluyla mikro yapısını değiştirir. Farklı bir fazda, çoğu malzeme iletkenlik, geçirgenlik, hacimsel genişleme ve çözünürlük dahil olmak üzere farklı özellikler gösterir.

Şekil Hafızası - bir termal enerji girişi (bir elektrik akımına direnç yoluyla da üretilebilir) kristal faz değişimi yoluyla mikro yapıyı değiştirir. Bu değişim birden fazla şekle olanak sağlar çevresel uyaranla ilişki. (Addington ve Schodek, 2005, s.83)

5.2.1. Şekil Hafızalı Alaşımlar

Şekil Hafızalı Alaşımlar (SMA'lar), normal şekillerini geri kazanan ve deforme olduklarında orijinal hallerine geri dönen alaşım türleridir. Malzeme, hidrolik, pnömatik, motor tabanlı sistemler gibi alışılmış aktüatörlere göre daha az ağırlığa sahip, katı hal seçeneğidir. Uygulamalar aşağıda kısaca ele alınmıştır:

- Kaplinler.

- Aktüatörler.

- Akıllı malzemeler

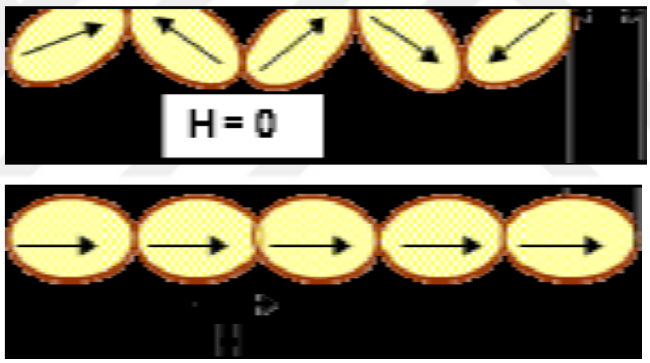
Kaplinler, SMA'ların etkin kullanımı ile bilinmektedir. Elektrik bileşenleri, otomobil, robotik vb. gibi çeşitli alanlarda aktüatör olarak uygulamalar yapılmaktadır. SMA'nın termal iletkenliği daha iyidir, bu da ısı uygulamasına mükemmel yanıt verir. Yukarıda bahsedilen bir aktüatör olarak kullanılan SMA, hem aktüatör hem de sensör olarak işlev görür. Bu nedenle, SMA'lar akıllı veya akıllı malzemeler olarak adlandırılır6. Yaygın olarak bulunan bu şekil hafızalı alaşımlar *Cu-Al-Ni* ve *Ni-Ti* alaşımlarıdır. Ayrıca SMA'lar çinko, bakır, altın, demir vb. alaşımlarla da yapılabilmektedir. SMA'lar ikizlenmiş martenzit, detwinned martenzit ve östenit gibi üç farklı kristal yapıya sahip çeşitli formlarda bulunur. Bunlar genellikle büyük gerilmelerin geri kazanılması ile karakterize edilir. Sıcaklığa yanıt olarak martensit ve östenit fazları arasındaki faz dönüşümü mekanik strese neden olabilir. Tipik olarak döküm, indüksiyon ergitme ile yapılırlar. (Roy, Mishra ve Mohapatro 2016, s.1-9)

5.2.1.1. *Yüksek Sıcaklık Şekil Hafızalı Alaşımları*

Zr bazlı yarı-ikili intermetalikler, 1100 K'e kadar yüksek sıcaklığa sahip olduklarından, görünüşte daha yüksek bir sıcaklık şekil bellek fenomeni ile ilişkili olarak daha gelişmiş olarak kabul edilirler. *Ni-Ti-Zr, Ni-Ti-Hf* ve *Zr-Cu* bazlı yarı-ikili intermetaliklerde olduğu gibi ilişkili özellikleri ile yüksek sıcaklık şekil hafızalı alaşım davranışının bir değerlendirmesini yapmak, çünkü bunlar daha ucuz HTSMA'nın tümü arasında en umut verici avantajdır. (Roy, Mishra ve Mohapatro 2016, s.1-9)

5.2.1.2. *Manyetostriktif Malzeme*

Manyetostriksiyon, Şekil 1'de gösterildiği gibi mıknatıslanma sürecinde şekillerini, boyutlarını değiştirmelerine neden olan ferromanyetik malzemelerin karakteristik bir özelliğidir.



Şekil 7. Alan göçü ve yeniden yönlendirme nedeniyle uygulanan manyetik alan H etkisi altındaki malzemelerde manyetostriksiyon (e).

Kaynak: Roy, S., H. Mishra ve B. Gopal Mohapatro. (2016). Creating Sustainable Environment Using Smart Materials in Smart Structures. Indian Journal of Science and Technology. Vol 9. Sayı 30, 1-9.

Manyetostriktif malzemeler manyetik enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürebilir veya tam tersi, aktüatörler ve sensörler oluşturmak için kullanılabilir. Manyetik alan uygulanan bir gerilim yönünde verilirse, ortaya çıkan manyetostriksiyon ön gerilimsiz olandan daha büyük olacaktır. Demir, nikel ve kobalt ilk üç manyetostriktif malzemedir. Daha sonra Terfenol-D olarak adlandırılan alaşımlar, normal oda sıcaklığında daha büyük

bir manyetostriksiyon ve daha düşük bir manyetik alan arasında en iyi seçeneği gösteren Terbiyum, Disprosiyum ve Fe'den oluşur. 50 kA/m-200 kA/m alanlarla 1000-2000 ppm'lik kesin bir manyetostriksiyon elde edilir. Terfenol-D birçok alanda kullanım için en uygun malzemedir. Kurşun Zikronat Titanat (PZT), düşük maliyetli, hafif, yüksek enerji yoğunluğuna sahip ve uygulaması kolay bir piezoseramik malzemedir.

5.2.1.3. *Piezoelektrik Malzemeler*

Piezoelektrik, elektriğe maruz kaldığında ve aynı zamanda mekanik gerilime maruz kaldığında yüklenen malzemelerin gösterdiği bir özelliktir. Kuvars, Rochelle tuzu ve turmalin gibi kristaller piezoelektrik etki gösterir. Bu etki, mekanik deformasyon ve elektrik dipol farklılaşması arasındaki ilişki ile birincil hücredeki bir hizasızlıktan kaynaklanmaktadır. Piezoelektrik yük katsayısı, yük ile yükü üreten kuvvet arasındaki ilişkidir ve birimi Coulomb/Newton'dur.

Akıllı Yapılarda Piezoelektrik Malzeme Uygulamaları

- Aktif Titreşim Kontrolü: Farklı piezoelektrik yamalar, akıllı yapılardaki ince plakalarla ilişkili titreşimi düzenlemeye yardımcı olur.

- Aktif Ses Kontrolü: Üretilen farklı ses türlerini ortadan kaldırmak veya yok etmek için kullanılmıştır. İşyerinde aktif ses kontrolünün önemi son derece büyüktür, çünkü işyeri sesine uzun süre maruz kalındığında işitme kaybı meydana gelebilir.

- Şekil için Aktif Kontrol: Mümkün olan en iyi sonuçlar için doğru boyutları koruyan yansıtıcılar ve antenler olarak kullanılır. Hafif malzemeden oluşan ve termal bozulmaya izin verilen 3D yapılarda birincil öneme sahiptir.

- Aktif Sağlık Bakımı: Bir dizi aktüatör ve sensörden oluşan yapısal panel, yapısal bütünlüğü aktif olarak düzenler ve kusurları daha erken tespit eder, böylece yapısal kusurlar ve ömrü hakkında bilgi sağlar. Şekil 2'de piezoelektrik fan kanatlarında aktüatör ve sensörlerin konumu gösterilmektedir. (Roy, Mishra ve Mohapatro 2016, s.1-9)



Şekil 8. Piezoelektrik fan kanadı testi

Kaynak: Roy, S., H. Mishra ve B. Gopal Mohapatro. (2016). Creating Sustainable Environment Using Smart Materials in Smart Structures. Indian Journal of Science and Technology. Vol 9. Sayı 30, 1-9.

5.2.1.4. *Kaynaklı Enerji Tasarrufu Teknolojisi Olarak TiO_2 Kaplamalı Yüzeyler*

TiO_2 bazlı beyaz pigmentli tozlar, düşük maliyet, düşük toksisite, yüksek kimyasal stabilite ve bulunabilirlik nedeniyle endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu malzemeler, foto-indüklenmiş hidrofiliklik/hidrofobiklik ve ayrışmış foto reaksiyonlarına dayalı olarak foto-katalitik, antibakteriyel, kendi kendini temizleyen doğaya sahip yüzeyler üretmek için kullanılır. Nano taneciklerin yüzey/hacim ilişkisi nedeniyle ışık emme kapasitesinin artmasına yardımcı olur. Bu çok avantajlıdır çünkü az miktarda su bile binalar üzerinde ince bir su filmi oluşturmak için yeterli olur ve geleneksel iklimlendirme ile elektrik tedarikini azaltır. Harcın Hazırlanması; TiO_2'nin sulu çözeltisi, harç taze iken harç yüzeyine püskürtülür. Bu çözelti ağırlıkça %1 TiO_2 ve %1 akrilik bağlayıcı ile hazırlanır. Püskürtme işlemi önemlidir çünkü güneş ışığı TiO_2 partikülleri tarafından emilir, TiO_2 nano partiküllerinin hacimsel olarak eklenmesinden kaynaklanan yarı iletken malzeme maliyetinin israfını önlemeye yardımcı olur. (Roy, Mishra ve Mohapatro 2016, s.1-9)

5.3. TİP 2 AKILLI MALZEMELER - ENERJİ DEĞİŞİMİ

* Fotovoltaik - görünür spektrumdan (veya termo-fotovoltaik için kızılötesi spektrumdan) radyasyon enerjisi girişi bir elektrik akımı üretir (voltaik terimi daha çok akımı sürdürmek için voltaj potansiyeli sağlayabilmesi gereken malzemeye atıfta bulunur).

* Termoelektrik - elektrik akımı girişi malzemenin karşıt taraflarında bir sıcaklık farkı yaratır. Bu sıcaklık farkı, termal enerjinin bir bağlantı noktasından diğerine aktarılmasını sağlayan bir ısı motoru, esasen bir ısı pompası üretir.

* Piezoelektrik - elastik enerji (gerilme) girişi bir elektrik akımı üretir. Çoğu piezoelektrik, girişlerin değiştirilebilmesi ve uygulanan bir elektrik akımının bir deformasyon (gerilme) üretmesi açısından çift yönlüdür.

* Fotolüminesan - ultraviyole spektrumundan bir radyasyon enerjisi girişi (veya bir elektrolüminesan için elektrik enerjisi, bir kemolüminesan için kimyasal reaksiyon) görünür spektrumda bir radyasyon enerjisi çıkışına dönüştürülür.

* Elektrostriktif - bir akımın (veya manyetostriktif için bir manyetik alanın) uygulanması, polarizasyon yoluyla atomlar arası mesafeyi değiştirir. Bu mesafedeki bir değişiklik molekülün enerjisini değiştirir ve bu durumda elastik enerji - gerilme üretir. Bu gerilme malzemenin şeklini deforme eder veya değiştirir. (Addington ve Schodek, 2005, s.95)

6. ŞEKİL HAFIZALI MALZEME UYGULAMALARI

6.1. FENOMENOLOJİK BİR BAKIŞ AÇISI

Gördüğümüz gibi, çoğu akıllı malzeme aslında mikro ölçekte (bir mikrondan daha küçük) çalışır ve bu nedenle insan gözüyle görülemez. Bununla birlikte, bu mekanizmalar tarafından üretilen etkiler genellikle mezo ölçekte (yaklaşık bir santimetre) ve makro ölçektedir (bir metreden daha büyük). Fiziksel mekanizma - malzemenin nasıl çalıştığı - tamamen malzeme bileşimine bağlıyken; fenomenolojik etkiler - malzemenin etkisiyle ortaya çıkan sonuçlar - miktar, montaj yapısı, konum ve çevre dahil olmak üzere malzeme bileşiminden bağımsız birçok şey tarafından belirlenir. Sonuç olarak, görünüşte birbirine benzemeyen malzemelerden genellikle çok benzer etkiler üretilebilir.

Bu etkileri, bir tasarımcının niyetine benzer olarak düşünülebilecek eylem alanları açısından kategorize edebiliriz - malzemenin ne yapmasını istiyoruz? Kullandığımız akıllı malzemeler enerji ortamları (ışık, termal ve akustik) üzerinde doğrudan etkiler üretebilir veya sistemler (enerji üretimi, mekanik ekipman) üzerinde dolaylı etkiler üretebilir. Aşağıdaki kategoriler, akıllı malzemeleri tasarımcıları doğrudan ilgilendiren etkilerine göre genel olarak düzenlemektedir. Bazı malzemelerin enerji girdisine bağlı olarak birden fazla etkiye sahip olacak şekilde yerleştirilebileceğini unutmayın. (Addington ve Schodek, 2005, s.138)

6.2. ÜRÜN TEKNOLOJİLERİ VE FORMLARI

Şekil hafızalı malzemeler, bulundukları ortamın etkisiyle deforme olduklarında maruz kaldıkları kuvvetin etkisi ortadan kalktığında tekrar orijinal şekline kendi kendine dönebilen akıllı materyallerdir. Bu materyaller, kendisinde geçici olarak oluşan şekli alsa da, daha sonra duyarlı olduğu ortam değişikliği sayesinde orijinal şekillerine tamamen kendi kendilerine dönerler. Bu akıllı yapılar geri dönme işlemini ilk şekillerini hafızalarında tutabilme kabiliyetleri sayesinde gerçekleştirirler. Sağlık alanında kullanılan şekil hafızalı materyaller bulunmaktadır. Özellikle şekil hafızalı polimerler, bu alanda önemli bir rol oynamaktadır.

Şekil hafızalı polimer (Shape-Memory Polymer) materyaller, bileşenlerine göre organik veya inorganik olabilirler. Metal alaşımlar, seramikler ve camlar inorganik şekil hafızalı materyallere örnek olarak verilebilirken, polimerler ve jeller organik şekil hafızalı materyallere örnektir (Behl, 2007). İki şekil tutabilme kabiliyeti olan şekil hafızalı polimerler, genellikle ortam sıcaklığından etkilenir. Bunun yanı sıra, manyetik alan, ışık veya bir solüsyon gibi farklı değişkenlerin etkisi de söz konusu olabilir. Bu çeşitlilik, akıllı polimerlerin kullanım alanlarını genişletmektedir.

Işığa duyarlı polimerler, mikrosistem ve doku mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, optik veya veri depolama, güvenlik kontrollü bant uygulamaları gibi farklı alanlarda da kullanımları mevcuttur (Jeong, 2002). Şekil hafızalı polimerlerin önemli bir özelliği ise erime sıcaklığına ek olarak camsı geçiş sıcaklığına sahip olmalarıdır. Camsı geçiş sıcaklığı, malzemenin amorf özelliğinden ağdalı bir yapıya geçiş yaptığı sıcaklık değeridir. Şekil hafızalı polimerler için camsı geçiş sıcaklığı, önemli bir faktördür çünkü bu malzemelerin kalıcı ve geçici şekilleri bulunur. Geçici şekiller, camsı geçiş sıcaklığının üzerinde meydana gelirken, soğutulduğunda bu geçici şekillerini korurlar. Ancak dış etkenler yardımıyla tekrar kalıcı şekillerine dönebilirler.

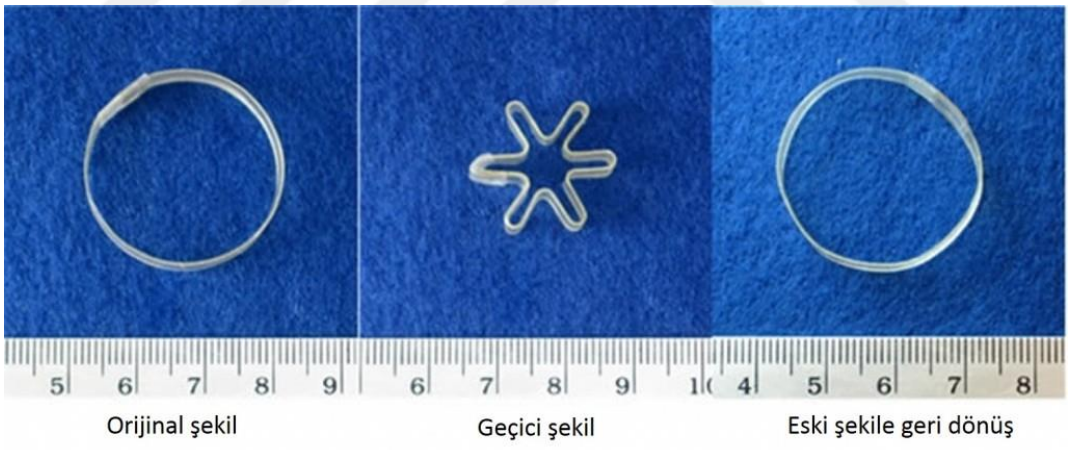
Örneğin, poliüretan esaslı şekil hafızalı polimerler, camsı geçiş sıcaklığı üzerindeki ve altındaki sıcaklıklarda elastik özelliğinde büyük değişim gösterir (Leng, 2010). Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde poliüretan materyal kauçuk hale geçer ve kolayca farklı bir şekle dönüşebilir. Ancak materyal camsı geçiş sıcaklığına indiğinde, şekli sabitlenir ve sertleşir. Yine de poliüretan materyal, camsı geçiş sıcaklığı üzerine çıkarıldığında kolayca orijinal şekline geri dönebilir. Bu özelliği, moleküler yapısına ve hareketliliğine bağlıdır.

Şekil hafızalı polimerlerin bu benzersiz özellikleri, geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir. Özellikle sağlık, mikrosistem, doku mühendisliği ve güvenlik gibi alanlarda kullanımları yaygınlaşmaktadır. Gelecekte, akıllı malzemelerin maliyetlerinin düşmesi ve daha hafif malzemelerin geliştirilmesiyle birlikte şekil hafızalı polimerlerin kullanımı daha da yaygınlaşabilir. (Tüylek, 2019, s.81-95)

Günümüzde teknolojik alandaki hızlı gelişmeler ve endüstriyel alandaki hızlı tüketim bilim insanlarını yeni ürünler ve üstün özellikteki yeni malzemeler üretmeye ve geliştirmeye teşvik etmektedir. Bu malzemelerden bir tanesi de gün geçtikçe yeni özellikleri, türleri ve uygulama alanları ortaya çıkan akıllı malzemelerdir. Akıllı malzemeler sıcaklık, nem, basınç, ortamın asitlik derecesi (PH), elektriksel ve manyetik alan gibi çevresel veya dışarıdan uygulanan etkiler karşısında istenilen tepkilerin alınabildiği malzemelerdir. Bu akıllı malzemelerden bazıları; şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA), termopiezoelektrik materyaller, fotovoltaik malzemeler, magnetik şiddetli materyaller, piezo malzemeler, elektrolojikal akıcılar, ışık yayan diyotlar, renk değiştiren malzemeler ve akıllı polimerlerdir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları şekil hafızalı alaşımlardır. Şekil hafızalı alaşımlar uygun bir ısıl işlem veya mekanik deformasyon ile önceden tanımlı şekline ya da boyutuna dönebilme özelliğine sahip malzemelerdir. Bu alaşımlar; sağlık sektöründe (ortodontik diş telleri, stentler, endodonti alanında kullanılan aletler, ortopedik ürünler), robotik teknolojide, otomotiv endüstrisinde, sönümleme elemanlarında, havacılık ve uzay çalışmalarında, bina ve alt yapı gibi alanlarda akıllı malzeme olarak kullanılmaktadır.

Şekil hafızalı alaşımların ana karakteristiği, kritik bir sıcaklığın (dönüşüm sıcaklığı) alt ve üst değerlerinde farklı iki şekil veya kristal yapıya sahip olabilmeleridir. Alaşım bu kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda martensit yapıda, üzerindeki sıcaklıklarda ise austenit yapıdadır. Bu özellik mikro ve makro yapılar arasındaki faz dönüşümleriyle ilgilidir. Bu faz dönüşümü; metal ve alaşımlarının farklı özellikler sergilemesinde ana etken olup fiziksel metalurjide büyük öneme sahiptir. Difüzyonsuz bir şekilde gerçekleşen bu faz dönüşüm olayı ilk olarak alman fizikçi metalurjist Adolph Martens tarafından demir esaslı alaşımlarda gözlemlendiği için martensitik faz dönüşümü diye de adlandırılmaktadır. Daha sonraki birçok araştırma ve çalışma sonucunda martensitik dönüşüm üzerine büyük gelişmeler kat edilmiş ve demir esaslı alaşımların yanı sıra soy metaller, bakır esaslı alaşımlar ve metal dışı bazı malzemelerde de gözlenmiştir.

Alaşımlardaki şekil hafıza olayı, ilk kez 1932 yılında Chang ve Read tarafından Altın-Kadmiyum (Au-Cd) alaşımları üzerine yapılan bir çalışma sırasında görülmüştür. Aynı yıl İsveçli fizikçi Gustav Arne Ölander Au-Cd alaşımının pseudoelastik (süperelastiklik) davranışını keşfetmiştir. ŞHA'ın teknolojik alanda kullanımı 1960'lı yıllarda gerçekleşmiştir. 1962 yılında Buehler ve arkadaşları Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) Deniz Savaş Araçları Laboratuvarında eş atomlu NiTi alaşımının şekil hafıza etkisini (ŞHE) keşfetmişlerdir. Bu alaşım; bileşenleri olan NiTi ve çalıştıkları laboratuvarın isminin baş harfleri NOL (Naval Ordence Laboratuar) kullanılarak NİTİNOL adında ticarileştirilmiştir. 1968 yılında Johnson ve Alicandri tarafından şekil hafızalı NiTi alaşımı implant malzeme olarak kullanılmıştır. Söz konusu alaşım, 1972 yılında geleneksel metal alaşımlarında olmayan ısıl şekil hafıza etkisi ve süperelastiklik özelliklerinden dolayı ortodonti alanında biyomalzeme olarak, 1990'lı yılların ortalarında da tıpta stent olarak kullanılmıştır. Günümüzde şekil hafızalı alaşımların yeni özellikleri ve yeni uygulama alanları keşfedilmekle birlikte bu alandaki çalışmalar hızla devam etmektedir. (Çakmak ve Kaya, 2017, s.541-555)



Şekil 9: Şekil hafızalı polimer örneği

Kaynak: Çakmak, Ö. ve M. Kaya. (2017). Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi. Cilt 6. Sayı 2, 541-555.

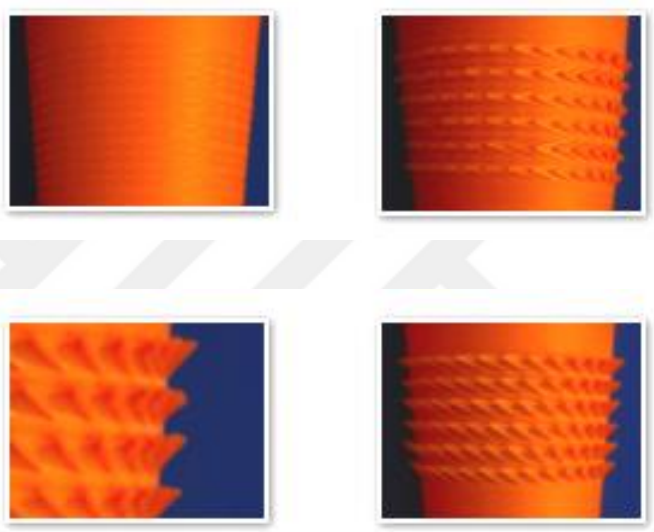
Şekil hafızalı polimerler, deforme edildikleri şekillerinden orijinal şekillerine kendi kendilerine dönebilen akıllı malzemelerdir. Malzemelerin belli bir erime sıcaklıkları varsa, konu polimerler olduğunda erime sıcaklığına ek olarak bir de camsı geçiş sıcaklığından bahsetmemiz gerekiyor. Camsı geçiş sıcaklığı (Tg) kısaca, maddenin camsı (amorf yani kristal bir yapı bulundurmayan) özelliklerini kaybedip ağdalı (hareketlilik kazanarak daha esnek bir yapıya bürünmeleri) özellikler kazanmaya başladığı sıcaklık sınırıdır ve bu sıcaklık sınırı erime sıcaklığından daha düşüktür. Bu camsı geçiş sıcaklığı şekil hafızalı polimerler için oldukça önemlidir. Çünkü bu polimerlerin kalıcı ve geçici olmak üzere iki farklı şekli vardır. Deforme halindeki geçici şekil, camsı geçiş sıcaklığının üzerindeyken verilir. Akıllı polimerler daha sonra soğutulduklarında bu geçici şekillerini korurlar ancak istenilirse dış etmenler ile (kuvvet gibi) kalıcı şekillerine döndürülebilirler. Dış etmenler ile kalıcı şekline döndürülen şekil hafızalı polimerler, herhangi bir ortamda camsı geçiş sıcaklığının üzerine çıkarıldığında hafızalarındaki geçici şekillerine geri dönerler.



Şekil 10: Camsı geçiş sıcaklığındaki değişimine göre şekil değişimi

Kaynak: Çakmak, Ö. ve M. Kaya. (2017). Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi. Cilt 6. Sayı 2, 541-555.

Deforme edilen şekil hafızalı polimerler diğer herhangi bir malzeme gibi eğilip büküldüğünde bunu kalıcı bir şekilde bünyesinde tutmadan, eski haline döndürülebilmekte çünkü biraz önce de dediğimiz gibi bu deformasyonlar camsı geçiş sıcaklığının üzerinde gerçekleştiriliyor ve bu sıcaklığın üzerinde bu polimerler süper esnek bir özellik gösteriyorlar. Bu polimerler istendiği gibi deforme edilse de, verdiğiniz bu şekilden kalıcı şekline dönüş ve kalıcı şeklinden geçici şekline dönüş mümkün olabiliyor. (Rauscher, 2008)



Şekil 11: Isıyla formu değişen şekil hafızalı polimerden yapılmış bardak kılıfı.

Kaynak: Rauscher, S.G. (2008). Testing and Analysis of Shape-memory Polymers for Morphing Aircraft Skin Application. Mechanical Engineering Thesis. Pennsylvania: University of Pittsburgh.

Bu özelliklere sahip şekil hafızalı polimerler, ağırlıklı olarak laboratuvar ölçekli üretim ve araştırmalarda geniş yer bulsalar da aynı zamanda endüstriyel kullanım aşamasında da kendisine yer bulabilmiş malzemelerdir. Farklı uygulama alanlarında yer bulabilmesi için araştırmalar ise devam etmektedir. Akıllı polimerler sadece inşaat, havacılık, otomobil, ya da ileri mühendislik uygulamalarında değil, hepimizin ortak noktası sağlık sektöründe de çeşitli uygulamalarda karşımıza çıkmaktadır. pH 1-2 civarında iken midede, pH 7 üzerinde olduğunda bağırsakta, ya da vücut sıcaklığı 37 ºC'yi geçtiğinde ilaç salınımını yapan akıllı polimerler mevcuttur. Ek olarak, vücuttaki glikoz

seviyesi kritik bir değerin üzerine çıktığında cevap olarak insülin salınımı gerçekleştiren sentetik pankreaslar, yüzeyine kaplanan ilaçları belirli bir zaman içerisinde verebilen akıllı polimerler, balon tedavisinde kalp damarlarının içine takılan stentler, bu uygulama alanında bahsedebileceğimiz temel örneklerdendir.

Tekstil sektöründe mevcut uygulamalar, buruşan kumaşlara sıcak hava üflenmesiyle eski düz hallerine dönmeleri gibi. Tasarımcılar burada ortam değişkeni olarak sıcaklık değişimini kullanıyorlar ve deforme (buruşukluk) haldeki kıyafetin, tekrardan orijinal olan düz haline dönmesini sağlıyorlar. Yine tekstil sektöründe, uzun kollu kıyafetlerin, sıcaklığın artması ile birlikte kısa kollu hale gelmeleri de benzer örneklerden birisi. Burada da sıcaklık artışı nedeniyle tetiklenecek olan uzun kumaşın, orijinal haline dönmesi için kendiliğinden katlanması ve toplanmasından yararlanılmakta. Aynı zamanda, açık denizlerde görev yapan denizciler için üretilen üniformalarda da şekil hafızalı polimerler kullanılarak ortamdaki sıcaklık değişimlerine duyarlı bir üniforma üretiliyor. Buradaki amaç ise üniformanın sıcaklık değişimlerine göre kendisini adapte etmesi ve bu sayede kişinin vücut ısısını sabit tutabilmesi.

Şekil hafızalı akıllı polimerler, inşaat sektöründe de sıklıkla kullanılan malzemeler. Örneğin, pencere izolasyonunda kullanılan akıllı polimerler (köpük şeklinde üretilenler) yine ısı değişiklikleri ile genişleyebilen bir özelliğe sahiptirler. Bu genişleme özelliği pencere çerçevelerini kaplayıp, tam bir izolasyon sağlanması noktasındaki avantajı nedeniyle kullanılmaktadır. Son zamanlarda özellikle keman üretimlerinde, enstrümanı çalan kişinin temas ettiği boyun ve omuz bölgelerinde akıllı polimer kullanarak, bu bölgelerin her enstrüman çalan kişinin kendi özelliklerine göre şekil almasını ve çalan kişiye herhangi bir acı vermemesini sağlıyorlar. Sağlık, tekstil veya gündelik malzemelerdeki uygulamalarının yanında, ileri mühendislik uygulamalarında da yer almaktadır. Şekil değiştiren uçak (morphing aircraft) olarak bildiğimiz uygulamalarda, uçak kanatları, uçuş sırasında verilen komutlar neticesinde istenilen şekli alabilmektedirler. Bu sayede bu tip uçaklar farklı uçuş koşulları altında en uygun uçuş performansı verebilmektedirler. Bu performans iyileşmesi de, yakıt ekonomisini, çok rollü görev kabiliyetini ve görev performansını iyileştirmektedir. (Rauscher, 2008)

6.3. UYGULAMALAR:

ŞEKİL HAFIZALI MALZEME ÜRÜN FORMLARI

Bir polimerin veya daha genel tanım ile malzemenin akıllı olması demek, sıcaklık, nem, pH, ışık yoğunluğu, elektriksel veya manyetik alan gibi ortam değişikliklerine, renk veya transparanlığını değiştirerek, iletken hale gelerek, su geçirgen hale gelerek ya da şekil değiştirerek yanıt vermesi demektir.

Akıllı malzeme kullanılarak üretilen bir uçak kanadının herhangi bir çatlak veya hasar anında renk değiştirerek bunun fark edilmesini sağlaması ve hatta bunu kendi kendine onarması, bir otomobil camının çok güneşli bir günde kararark sizi güneşten koruması ve bulutlu havalarda berraklaşması, akıllı bir tuğla ile inşa edilmiş bir evin dışarıdaki hava değişimi ile enerji tasarrufu imkanı sağlayabilmesi gibi direkt olarak kullanıma yönelik örnekler akıllı malzemelerin hayatı kolaylaştırdığını gösterir. Ayrıca bu malzemeler kendileri için büyük olan bu değişiklikleri, küçük ortam farklılıkları ile gerçekleştirebilmekteler ve bu sayede oldukça aktif olarak kullanılabilmelerine imkan tanımaktadırlar. Çok farklı ortam değişkenlerine çok farklı yanıtlar alabildiğimizden, akıllı malzemeler büyük bir çalışma alanı demek oluyor.



Şekil 12: Şekil hafızalı polimer malzeme

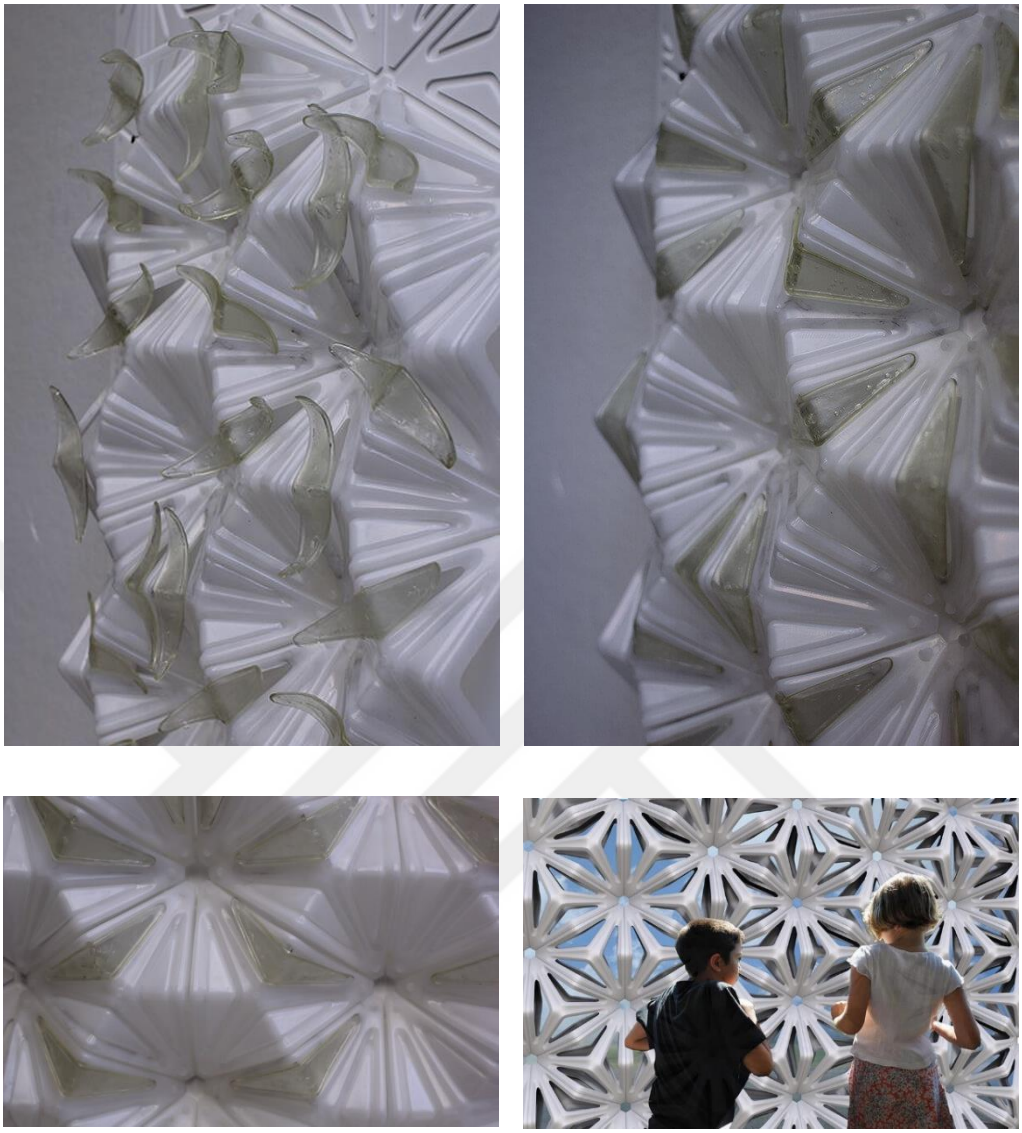
Şekil hafızalı polimerlere geçmeden önce, akıllı malzemelerin farklı çevresel değişikliklere farklı tepkiler veren malzemeler olduğundan bahsedilmişti. Akıllı malzemelerin farklı özellikleri ile nerelerde ve nasıl kullanıldıklarını aşağıdaki gibi örneklendirebiliriz.



Şekil 13: Alterswohnen Binası, İsviçre, 2004

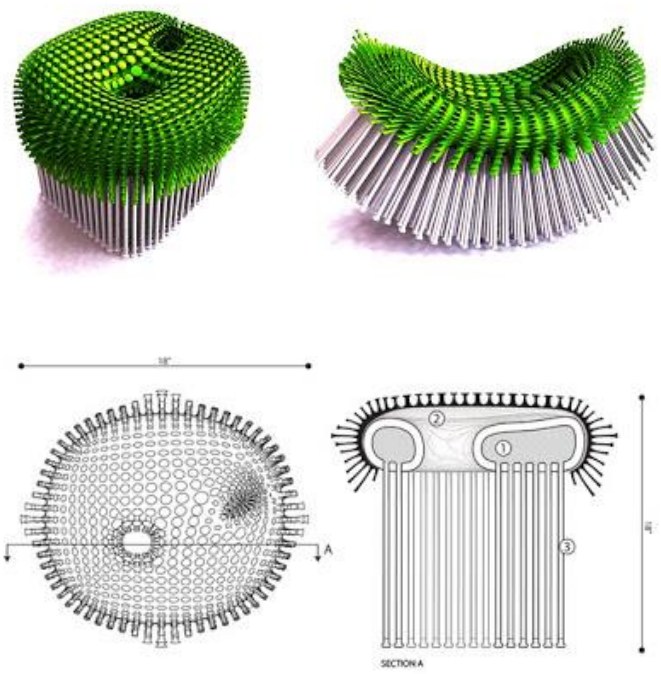
Mimarlık alanında akıllı malzemelerin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Örneğin, bina cepheleri inşa edilirken akıllı malzemeler kullanılmakta ve bu malzemelerin sıcaklık farklılıklarına verecekleri tepkilerden yararlanılması düşünülmektedir. Kullanılan akıllı malzemenin faz dönüşümü 27 ºC'de başladığından dolayı, iç mekanın ısısı bu derecenin altına düştüğünde, faz değiştiren akıllı malzeme depoladığı ısıyı mekana vermekte, yani bir nevi termostat görevi görmektedir. Bu faz değişimine bağlı olarak cephenin saydamlığı da değişmektedir. Bu tarz bir sisteme örnek olarak Alterswohnen (Domat/Ems, İsviçre, 2004, Dietrich Schwarz) binası verilebilir.

Bir başka örnekte ise yapılarda dış cephe kaplamak için tasarlanan üründe şekil hafızalı polimer kullanılmıştır. Bu malzemenin sıcaklık farklılıklarına vereceği tepkilerden yararlanılarak nefes alan bir cephe tasarlanmıştır. Şekil 11'de görülen sıcaklığa göre açılıp hava soğuduğunda kapanabilen bir ürün tasarlanmıştır.



Şekil 14: Yapı dış cephe kaplama ürünü

Sağlık sektöründe, özellikle ilaç taşıma (istenilen etkin maddenin vücuttaki hedefe ulaşması sırasındaki taşınım) sistemlerinde akıllı malzemelerin büyük bir kullanım alanı mevcut. Bu tarz akıllı polimerler, pH veya sıcaklığa karşı duyarlı olan polimerlerdir. Bu sayede hassas değişikliklerde bile, vücudun istenilen bölgelerinde, taşıdığı aktif maddenin salınımını gerçekleştirmek üzere, değişen pH ve sıcaklık gibi değerlere göre görevlerini yerine getirmektedirler.



Şekil 15: Multi-Pede sandalye

Multi-Pede Sandalye, mekanik parça içermeyen ayarlanabilir bir sandalyedir; Sandalye, bir Elektroaktif Şekil Hafızalı Polimer çekirdeği etrafında tasarlanmıştır. Sandalye standart bir elektrik prizine takıldığında, malzeme özellikleri katıdan elastikliğe dönüşür, formu değiştirildiğinde sandalye yeniden yapılandırılabilir.

Sandalyenin tüm vücudunu kaplayan yüzlerce ayağı var. Bacaklar materyali değiştirir, uzatır, kısaltır ve yönlerini değiştirdikçe bölümlerini değiştirir, bazen bacak olduklarında ve diğer zamanlarda oturma yerlerindedir.

New York merkezli tasarımcı Francis A. Bitonti, bu tuhaf görünümlü Multi-Pede sandalyenin tasarımının aslında harika bir eğlence ve rahatlık kaynağı olabileceğini söylemiştir. Bu sandalyenin sırrı, bacakların üzerine yerleştirilmiş aktif Şekil Hafızalı Polimer özüdür. Oturma gereksinimlerinize uyacak şekilde kalıplama ve şekillendirme işleminden önce bu sandalyeyi standart bir elektrik prizine takılabilir.

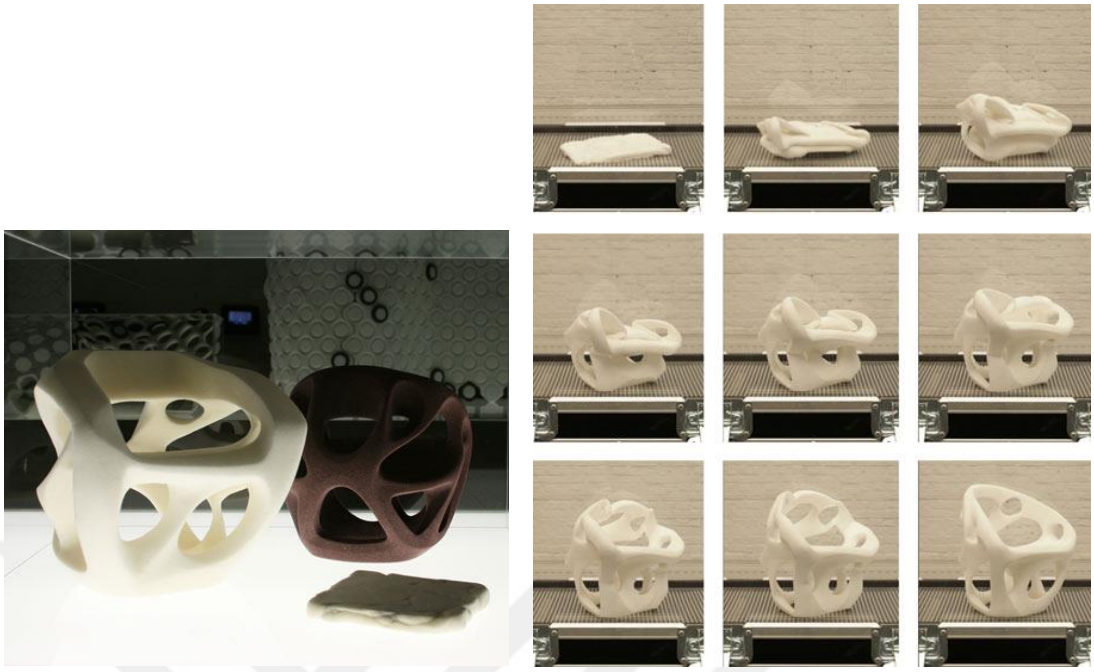


Şekil 16: Şekil hafızalı koltuk

Interieur 2012: Belçikalı tasarımcı Carl de Smet, nakliyesi kolay, orijinal boyutunun %5' ine sıkıştırabilen yüksek teknoloji köpük mobilyalar geliştirdi ve ambalajından çıktığında "patlamış mısır gibi" ısıtarak genişletti.

Şu anda, 70 derecelik istenen sıcaklığa ulaşmak için, sauna gibi geniş ve ısıtılmış bir ortama yerleştirilmeleri gerekiyor, ama de Smet sıkıştırılmış formdan genişletilmiş forma geçişi tetiklemenin başka yollarını araştırıyor. Örneğin "programlama", elektrik içinden geçtiğinde malzeme hatırlanan şekline geri dönecektir.

Smet, taşımacılık lojistiği nedeniyle 70 derecede genişlemeye programlandığını söylüyor. Yaz aylarında ve taşıma aracı trafiğe sıkıştığında, ortamın sıcaklığı 50 dereceye kadar çıkıyor ve mobilyalar ambalajlarını patlatabilir.



Şekil 17: Şekil hafızalı koltuk

Proje, bir uzay gemisinde daha küçük bir taşıma yükü oluşturmak için sıkıştırılacak ve daha sonra güneş ışınlarına maruz kaldığında tam boyuta genişleyen parabolik bir anten tasarlamak için bir araştırma projesinden ortaya çıkmıştır. Bu proje, şekil hafızalı polimerlerle aynı performansı gösteren ancak oldukça pahalı olan gelişmiş metalleri (şekil hafızalı alaşımlar) içeriyordu.

Smet, "Onu günlük hayata geri getirmek istedim, sadece yüksek teknolojili projeler için kullanmak istemedim ve bu yüzden metaller çok pahalıydı" diyor. "Polimerlerde, bunları büyük miktarlarda ürettiğinizde ekonomik olur." Araştırma aşamasında olan öneriye göre, poliüretan şekil hafızalı polimerlerden üretilen ürünler yassı, hafif plakalar halinde sıkıştırılmış, yani talep edilinceye kadar çok az yer kaplıyorlar. Isıtıldığında, malzemenin "hafıza köpüğü" özellikleri sayesinde mobilyalar orijinal haline döner.

6.3.1. Malzeme Odaklı Tasarım Uygulamaları

Tartışıldığı üzere, malzemeler ve onların doğal özellikleri, yeni işlevsel olasılıkları keşfetmek ve araştırmak için olduğu kadar, farklı deneyimler tasarlamak veya arzu edilen uygulamaları şekillendirmek için de temel bir çıkış noktası olabilir. Son yıllarda, etkileşimli sanatlar alanı teknolojik bileşenlerin ve malzemelerin kullanımını yaratıcı bir şekilde genişletmiştir (örneğin, Loop.ph'nin elektrolüminesan tellerle yaptığı çalışma). Malzemeyi bir giriş noktası olarak alan bir tasarım projesi, kişisel merak veya belirli bir malzemeye duyulan hayranlıkla motive edilebilir ya da bilim insanları veya harici bir firma tarafından görevlendirilebilir.

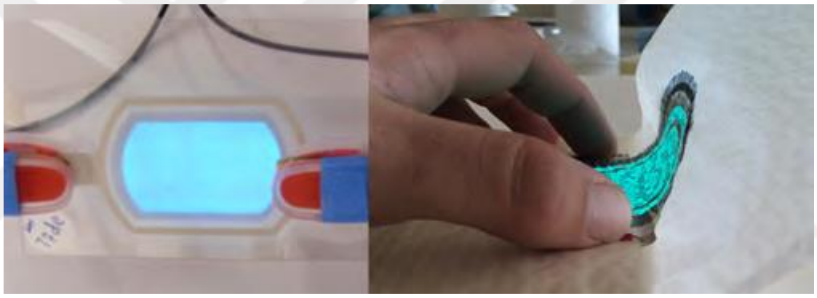
Bununla birlikte, akıllı malzemelerden biomalzemelere kadar çok çeşitli yeni malzemelerle tasarım projeleri alanda yaygınlaştıkça, tasarım akademisyenleri malzemelerin potansiyelinin keşfedilmesi ve sermayeye dönüştürülmesine yönelik bilinçli bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgulamışlardır. MDD olarak adlandırılan bu yaklaşım, ister hali hazırda geliştirilmiş ve pazarlanmış olsun, isterse henüz gelişmemiş olsun, malzemelerin mevcut gelişim durumlarının ötesine geçmektedir. MDD uygulamaları, tasarımın "geçmişte zaten gerçekleşmiş olanı", yani malzemeleri verili, bitmiş ve uygulanacak olarak yeniden işlemek olduğu varsayımına meydan okumakta ve bunun yerine malzemeleri açık, bitmemiş ve tasarlanacak olarak ele almaktadır.

MDD uygulamalarını farklı ve kasıtlı kılan şey, doku ve şekil gibi ürün özelliklerinin ötesine geçen tasarım değişkenlerini, örneğin mikro ölçekli yapıyı veya bir kompozitteki ipliklerin veya liflerin yönünü de içerecek şekilde dikkate almalarıdır; böylece malzeme de tasarlanması (veya yeniden tasarlanması) gereken bir şey haline gelir. 'Bitmiş malzeme' kavramının tam da bu şekilde parçalanması ve "maddenin durumuna karşı malzemelerin akışları ve dönüşümleri" konusundaki duyarlılık, hem tasarımcıya hem de malzemeye şimdiye kadar mümkün olduğu düşünülenden farklı kombinasyonlarda yeniden ilişki kurabilecekleri bir alan açmaktadır.

MDD uygulamaları, tasarımcıların dikkatini malzemelerin doğrudan deneylerde sunduklarına kaydırarak, malzemenin yeteneklerini çok ince taneli bir şekilde ortaya çıkarmanın bir yolu olarak yaklaşır. Yetenekler sadece mühendislik ve teknik terimlerle

değil, aynı zamanda malzeme deneyimleriyle, yani "deneyimsel karakterizasyon" ile de tanımlanır. Malzemenin etkileşim içinde ortaya çıkardığı niteliklere ve eylemlere karşı duyarlılık, tasarımcıyı yetenekler konusunda geniş bir anlayışla donatır.

MDD uygulamaları, malzemelerle çalıştığınızda ve onları pratik olarak deneyimlediğinizde ne yaptıkları açısından malzemenin süreçsel ve performatif anlayışını ön plana çıkarır. Bu makale, MDD uygulamaları aracılığıyla kolaylaştırılan akıllı malzeme kompozitlerine ilişkin bu tür bir anlayıştan yararlanmakta ve performatif düzeyde deneyimsel nitelikler yaratmada daha ince taneli giriş noktalarını araştırmaktadır. Performatif olasılıklarda, yani bu kompozitlerin performatif karakterizasyonu ile ilgili tasarım alanında gezinirken ortaya çıkan belirli olguları ve stratejileri belirtmektedir. (Barati, Giaccardi ve Karana, 2018, s. 1-11)



A



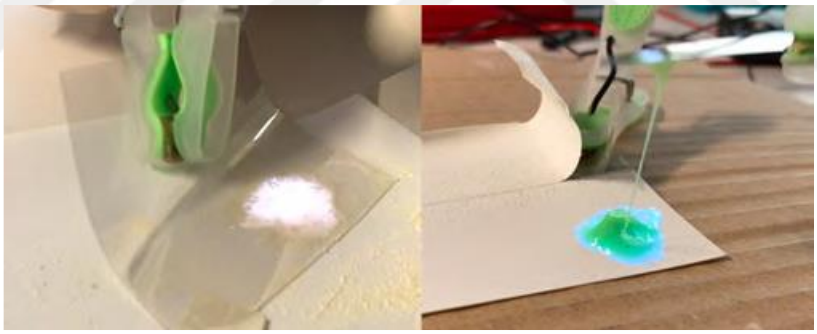
B



C



D



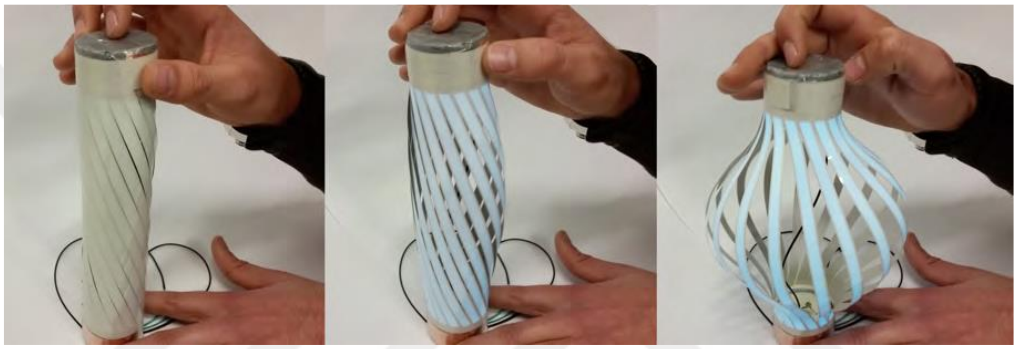
E

Şekil 18: A- Alttan yayan elektrolüminesan numune ve üstten yayan elektrolüminesan numune için iki farklı katmanlama dizisi kullanılması. B -Alttan yayan ve üstten yayan örneklerde basılı iletken yerine su kullanılması. C-Ayrılmış yapı arasında farklı iletken malzemeler kullanılması. D-Basılı malzemenin formunu değiştirerek elde edilen gradyan etkisi üst iletken. E- Fosfor tozu ve Silly-Putty ile tamir işlemi.

Kaynak: Barati, B., E. Giaccardi ve E. Karana. (2018). The Making of Performativity in Designing [with] Smart Material Composites. Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Paper No.: 5, 1-11.



Şekil 19: Birden fazla şişkin temas noktasına sahip elektrominesans örnek.



Şekil 20: Elektrolüminesan ışık yoğunluğu ile hesaplamalı olarak karşılık gelen eylem.



Şekil 21: Thick Cutlery Set (left) and Chained Fork (right), Katherina Kamprani



Şekil 22: Paper Torch, Nendo

6.3.1.1. Renk Değiştiren Malzemeler

(Nasıl Çalışırlar, Nasıl Uygulanırlar ve Çok Yönlü Doğaları)

Renk değiştiren malzemeler bilimsel olarak kromojenik olarak adlandırılır ve "bukalemunik" olarak tanımlanırlar çünkü çevresel koşullardaki değişikliklere (sıcaklık, parlaklık vb. değişikliği gibi) veya uyarılmış uyaranlara yanıt olarak renklerini geri dönüşümlü olarak değiştirirler. Bu malzemelerin renk değiştirdiği teknik prensip, kimyasal bağların kopması veya molekül içinde elektronlar arasında meydana gelen değişiklikler gibi uyaranın neden olduğu elektronların dengesindeki bir değişiklikle ve bunun sonucunda yansıma, emilim, emisyon veya iletim gibi optik özelliklerin değişmesiyle açıklanabilir. Uyaran sona erdiğinde, malzeme orijinal elektronik durumuna geri döner, orijinal optik özelliklerini, dolayısıyla ilk rengini veya şeffaflığını yeniden kazanır. Kromizm olarak adlandırılan bu süreç, 'pi' ve 'd' elektron pozisyonlarını ifade eder, böylece fenomen, bileşiğin veya bir maddenin elektronik yoğunluğunu değiştirme yeteneğine sahip çeşitli dış uyarıcılar tarafından indüklenir. Birçok doğal bileşik kromizm sergiler ve şimdi spesifik kromik özelliklere sahip bir dizi yapay bileşik sentezlenmiştir. Kromik malzemeler, dış uyaranlara tepki verme ve renkte değişiklik sergileme gibi ilginç bir yeteneğe sahiptir. Bu malzemeler, isimlerini optik özelliklerin değişmesine neden olan enerji kaynağından alan kategoriler halinde gruplandırılır. En önemli kategorilerin ve en yaygın uygulamalarının genel bir referans çerçevesi aşağıda verilmiştir.

- Fotokromik malzemeler gelen ışığın yoğunluğu değiştiğinde renk değiştirir.
- Termokromik malzemeler, renklerini değiştirerek çevre sıcaklığındaki bir değişime yanıt verir.
- Elektrokromik malzemeler, bir elektrik alanının uygulanması üzerine optik bir değişim ile karakterize edilir.
- Mekankromik/Piezokromik malzemeler, mekanik bir uyarıcı, yani stres uygulandığında renkte bir değişiklik gösterir.
- Kemokromik malzemeler ortamdaki kimyasal değişikliklere renk değiştirerek yanıt verir.

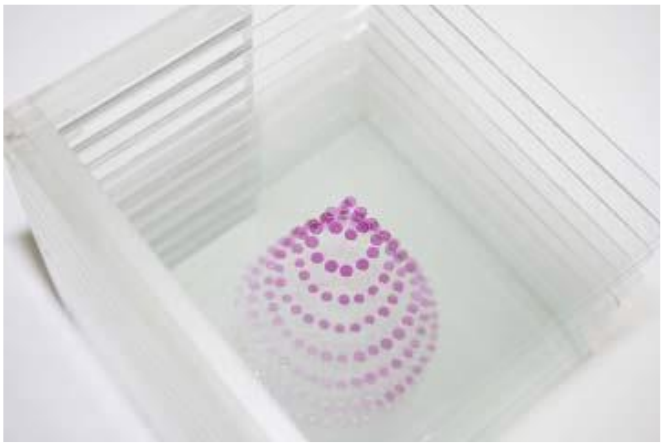
- Solvatochromic malzemeler, belirli bir çözücüye (sıvı veya gaz) duyarlı olan bazı kimyasal maddelere özgü solvatochromism adı verilen fenomeni gösterir.
- Biyokromik malzemeler, patojenlerin varlığını bir renk kayması ile tespit etmek ve bildirmek için geliştirilmiştir.

6.3.1.2. Renk Değiştiren Malzemelerle Tasarım (Vaka Geçmişleri)

Malzemeler ve teknolojiler değiştikçe tasarım süreci de değişiyor. Tasarım alanında akıllı malzemeler, malzemelerin tek dekorasyonunun doğal renk ve dokuları olması gerektiğini iddia eden rasyonalist teoriyi çoktan krize sokmuş ve onun yerine "samimiyet ve belirsizlik" sloganını getirmiştir. Aslında, akıllı malzemeler, yaygın olanlardan farklı olarak, otonomi, tersine çevrilebilirlik ve uygulanan enerji alanlarına duyarlılıkları sayesinde olası tekrarlama ile karakterize edilen çoklu renklere ve görünümlere sahiptir. Bu özellikler, tasarım sürecinin karmaşıklığını artıran yeni değişkenler ekledikleri için nesnelerin tasarımında bugüne kadar kullanılan araçların yeterliliğine meydan okumaktadır. Dolayısıyla, nesneler ve onların malzeme ortamları akıllı malzemelerle değişirken, kavramsallaştırıldıkları, denendikleri, tasarlandıkları ve üretildikleri mod da değişmektedir. Akıllı malzemelerle tasarım için bir diğer kritik unsur, nano-akıllı malzemeler söz konusu olduğunda boyutlarıyla ilgilidir. Yakın zamanda geliştirilen birçok akıllı malzeme, nano ölçekli malzemeler veya nano-malzemeler kategorisine girmektedir. Son derece küçük boyut ölçeği, üretim sırasında bu tür malzemelerin görüntülenmesinde ve kullanılmasında ciddi sorunlar yaratmaktadır ve halen araştırılmakta olan bazı potansiyel sağlık riskleri vardır. Bununla birlikte, nano-malzemelerin geleneksel malzemeler üzerinde kaplama olarak kullanılması veya polimer gibi geleneksel bir matris içinde ikinci bir faz olarak kullanılması gibi bu sorunlarla başa çıkmak için hali hazırda çeşitli stratejiler bulunmaktadır. Akıllı malzemelerin tasarımcılar tarafından denenmesi, devam etmekte olan çok ilginç bir süreçtir. Aşağıdaki bölümde, akıllı malzemelerin kullanıldığı ürünler, projeler, konseptler ve deneyler gibi bir dizi örnek olay ele alınmaktadır. Bu örnek olaylar, ürün, iç mekan, moda ve iletişim tasarımı gibi farklı tasarım alanlarındaki yeni tasarım bölgelerini, rollerini ve fırsatlarını keşfetmek için seçilmiştir. Örnek olaylar, tasarım yöntemlerini ve sonuçlarını göstererek,

renk değiştiren malzemelerin hem işlevsel hem de etkileyici doğasını anlamak için faydalıdır. Ayrıca, farklı tasarım alanlarındaki belirli deneysel yöntemlerin anlaşılmasına da yardımcı olmaktadır.

"Fotokromik heykel" oluşturan sistem temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Temelde bir projektör olan kontrol kısmı, istenildiğinde ultraviyole (UV) ışık kaynağını sağlar. Kontrol kısmı, 365 nm'de bir UV ışık kaynağı ve iki boyutlu görünmez desenleri dinamik olarak kontrol edebilen dijital bir mikromirror içeren gizli bir sistemdir. İkinci kısım ise UV ışığı altında görünür hale gelen üç boyutlu bir ekrandır. Fotokromik bir heykel, fotokromik spiropiran granülleri ile kaplanmış birkaç şeffaf plaka katmanıyla oluşturulur. Spiropiranlar, tersine çevrilebilir anahtarlama yeteneklerine sahip bir grup organik fotokromik moleküldür. Renk açma-beyazlatma döngüleri 1000 defaya kadar tekrarlanabilir. UV radyasyonu istiflenmiş katmanlara çarptığında, renkli pikseller saniyeler içinde ortaya çıkar. Benzer şekilde, UV radyasyonu engellendiğinde, katmanlar şeffaf hale gelene kadar renkler yavaş yavaş kaybolur. Bu sistemdeki bir gereklilik, UV ışığının alt katmanlardaki istenen piksellere etkili bir şekilde vurabilmesi için üst katmanlardaki granüllerin alttakileri engellememesidir. Renkli piksellerden oluşan heykel, kontrol parçası tarafından yansıtılan UV ışığının deseni değiştirilerek dinamik olarak değiştirilebilir.



Şekil 23: UV radyasyonuyla görünür hale getirilen Tomoko Hashida, Yasuaki Kakehi ve Takeshi Naemura'nın Fotokromik Heykelleri, Tokyo Üniversitesi, 2011

Kaynak: Ferrara, M. ve M. Bengisu. (2014). Materials that Change Color – Smart Materials, Intelligent Design. Çevrimiçi Yayın. Politecnico di Milano: Springer.

Bu proje, 3 boyutlu nesneleri yeni bir şekilde temsil etmek için 2 boyutlu fotokromik yüzeylerin kullanılma potansiyelini vurgulamaktadır. Temel fikir, sanat gösterimleri ve interaktif tasarım projeleri için kullanılabilir. Ayrıca, reklamcılık için uygun maliyetli ve sürdürülebilir görüntüleme teknolojileri olarak daha da geliştirilebilir.

Alman mimar Jürgen Mayer, mimariden sanata, tasarımdan felsefeye kadar geniş bir alanda faaliyet göstermektedir. İlgi alanlarından ikisi veri güvenliği kalıpları ve ısıya duyarlı yüzeylerdir. Bu iki tema, enstalasyonlarının ve nesnelerinin çoğunda karşımıza çıkıyor. Mayer, veri güvenliği örüntülerini veri izleme için "kurye hizmetlerinin kullandığı çok yapraklı formlar" olarak tanımlıyor. Bir röportajında, sergilerinden birinde bu desenleri ısıya duyarlı baskı ile birlikte bir ziyaretçi defterinde kullandığını açıklamıştır. Böylece desenler, örneğin yorum yazan ziyaretçinin elinin ısısıyla ısındığında görünür hale geliyor ve ziyaretçinin eli ziyaretçi defterinden uzaklaştığında kayboluyordu. Ona göre, topladığı bu desenler, şeylerin uçuculuğunu ya da yok oluşunu simgeleyen "stratejik süslemeleri" temsil ediyor. Isıya duyarlı yüzeyler, tıpkı veri güvenliği desenleri gibi, enstalasyonlarının çoğunda metafor olarak karşımıza çıkıyor. Buna bir örnek "In Heat". Bu, 2005 yılında New York'taki Henry Urbach Architecture (HUA) Gallery'de sergilenen bir enstalasyondur. Bu enstalasyondaki duvarların ve koltukların belirli kısımlarında, dokunma ya da vücut ısısına tepki olarak renk kaybeden termokromik boya kullanılmıştır (Şekil 24). Isıya duyarlı yüzeyler, "izleyicinin dokunarak bir sıcaklık gölgesi yarattığı ve genel sergi tasarımının içinde eridiği" üç boyutlu bir tabloyu temsil etmektedir. "In Heat", Friedrich Kiesler'in 1947 yılında New York'taki Hugo Galerisi'nde açtığı sergiden esinlenmiştir. Aynı zamanda bir mimar olan Kiesler, duvarın, zeminin, tavanın sınırlarını kaldırmayı ve bunları kesintisiz, sonsuz bir yüzey ve mekânda birleştirmeyi amaçlamıştır. Hatta izleyiciyi de dahil ederek onu da enstalasyonun bir parçası haline getirdi. Mayer'in çalışmaları Kiesler'in fikirlerini bir adım öteye taşıdı. Yeni malzeme ve tekniklerin yardımıyla, kesintisiz iç ve dış yüzeyler yaratmayı başardı. Dahası, ısıya duyarlı yüzeylerin yardımıyla dördüncü bir boyut deneyimlenebiliyor: zaman. Ziyaretçi, tıpkı Kiesler'in Blood Flames sergisinde

olduğu gibi, ısıya duyarlı yüzeyler üzerinde bir iz, bir "sıcaklık gölgesi" bırakarak enstalasyonun bir parçası haline geliyor. Böylece izleyici "genel sergi tasarımının içinde erir".



Şekil 24: In Heat: Isıya Duyarlı Yüzeylerle Enstalasyon (solda) enstalasyonun genel görünümü, (sağda) ısıya duyarlı boya ile duvarlardan detay(Jürgen Mayer, HUA Gallery New York, 2005).

Kaynak: Ferrara, M. ve M. Bengisu. (2014). Materials that Change Color – Smart Materials, Intelligent Design. Çevrimiçi Yayın. Politecnico di Milano: Springer.

İsveç Tekstil Okulu'nda Tekstil ve Etkileşim Tasarımı alanında araştırmacı olan Linda Worbin, bir süredir etkileşimli tekstiller yaratmak için akıllı malzemeleri araştırıyor. Fabrication Bag, renk değiştiren statik formların bir deseni üzerine bir araştırma veya dijital bilgi (cep telefonu verileri) ile statik formun dinamik bir tekstil deseni üzerine bir araştırma olarak tanımlanabilir. Bu proje, gri renkte termokromik mürekkep (ısıya duyarlı pigment - variotherm 27°C), genel tekstil pigmenti (beş farklı renk: pembe, açık mavi, açık yeşil, sarı, turuncu), termokromik baskının renk değişimini kontrol etmek için arka tarafta iletken iplik ile birlikte pamuklu tekstiller üzerine uygulanmaktadır. Akıllı sistem, güç kaynağı için 14 V pil, bir program basic X ve bir mikrodenetleyici BX24 ile tamamlanmıştır. Fabrication Bag, cep telefonları için ses ve titreşim sinyallerini bir çantanın dışındaki ve içindeki tekstil desenlerinde değişen renklerle değiştiren bir aksesuar olarak kavramsallaştırılmıştır. Başlangıçta çantanın

kumaşı beyazdır ve üzerinde farklı nüanslarda gri noktalar bulunur ve telefona çağrı veya kısa mesaj geldiğinde renkli noktalar yavaş yavaş donuktan renkliye dönüşür.



Şekil 25: Hanna Landin & Linda Worbin'in İmalat Çantası.

Kaynak: Ferrara, M. ve M. Bengisu. (2014). Materials that Change Color – Smart Materials, Intelligent Design. Çevrimiçi Yayın. Politecnico di Milano: Springer.

Çantanın kumaşı, altına yerleştirilen ısı yamaları tarafından etkinleştirilen noktalar halinde basılmış çok sayıda termokromik mürekkep katmanı içerir. Dokuz ısı elemanı çantanın içine monte edilmiştir ve bir ısı elemanı açıldığında (tek tek veya grup halinde), yüzey baskısı renk değiştirir. Gelen bir çağrı algılandığında, termokromik baskının bölgesel olarak ısınmasına neden olmak için ısı yamalarının farklı alanları etkinleştirilir. Programlamanın arkasındaki fikir, farklı veri türlerini, çağrıları vb. farklı görsel tasarım ifadeleriyle birbirine bağlamaktı. Kod soyutlama seviyesine bağlı olarak çantanın 'okunması' az ya da çok kolay olacaktır. Veri ve görsel ifade arasındaki ilişki yeni tasarım olasılıkları ve değişkenler sunabilmektedir. Veriler, zamandan zamana değişen dinamik örüntülerin görsel ifadesine katkıda bulunur. Bu gerçek zamanlı olarak yapılabileceği gibi, önceden ya da gecikmeli olarak da kaydedilebilir. Proje aynı zamanda tekstil desenlerinin yeni davranışlarını ve cep telefonlarıyla etkileşimi önermekte ve örneklemektedir. (Ferrera ve Bengisu, 2014, s.81-100)

New York'ta yaşayan etkileşim tasarımcısı ve programcı Sue Ngo ve Nien Lan, New York Üniversitesi'nde İnteraktif Telekomünikasyon Yüksek Lisans Programı sırasında bir dizi kirlilik izleme tişörtü tasarladı ve prototipini üretti. 80'li ve 90'lı yılların aşırı renkli tişörtlerinden ilham alan "Uyarı İşaretleri" serisi doğdu. Bu giysiler, genellikle görünmez organik uçucu maddeler şeklinde, hava kirliliğine dair görünür sinyaller yayabiliyor. İki genç tasarımcının yarattığı prototipler arasında pembe kalpli beyaz sweatshirtler veya termokromik kumaştan yapılmış bir dizi akciğer var. Tişörtler yüksek seviyede karbon monoksit (CO) ile temas ettiğinde bir uyarı işareti yayıyor: başlangıçta görünmez olan akciğerler veya kalp üzerindeki damarlar, CO' nun insan vücuduna nüfuz ettiğini ve organlara ulaştığını göstermek istercesine, sağlıklı bir pembeden hafif endişe verici bir mavi-gri renge dönüşüyor (Şekil 26). Sweatshirt'ün dönüşümü, tişörtün ön tarafındaki iki tekstil katmanı arasına gizlenmiş akıllı bir sistemle mümkün kılınmıştır. Bu akıllı sistem bir MQ-7 gaz sensörü, termokromik tekstil, ısıtma için dirençli bir tel, bağlantı kabloları ve güçlü bir mikro denetleyiciden oluşmaktadır. MQ-7 sensörü, kalay dioksitten (SnO2) yapılmış yarı iletken bir gaz sensörü katmanı sayesinde yakındaki havadaki CO konsantrasyonunu ortaya çıkarıyor. Bu sensör, 20 ila 2000 ppm (milyonda parça) aralığındaki gazın varlığını çok hızlı tepki süreleriyle algılar ve gaz konsantrasyonuyla doğru orantılı direnç olarak bir çıkış sağlar.

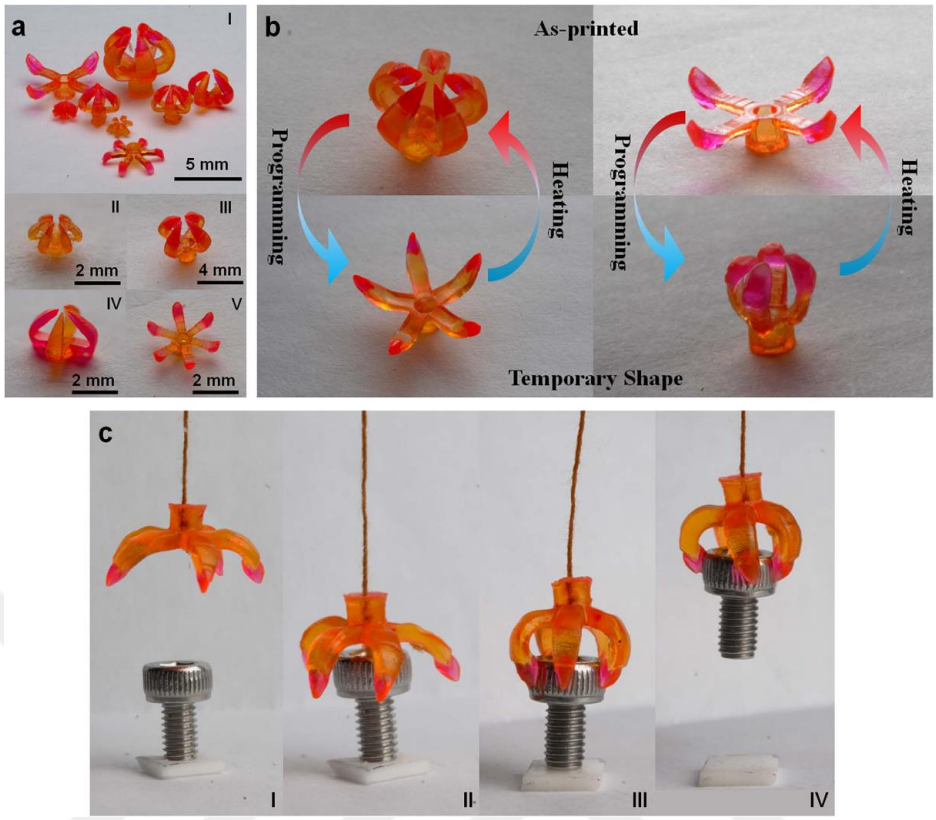


Şekil 26: Kirlilik izleme modası, Sue Ngo ve Nien Lan, New York, 2011

Kaynak: Ferrara, M. ve M. Bengisu. (2014). Materials that Change Color – Smart Materials, Intelligent Design. Çevrimiçi Yayın. Politecnico di Milano: Springer.

Çoklu şekil hafızalı polimerlerle üç boyutlu yazdırılmış yapılar (Şekil 27) A- potansiyel olarak nesneleri kavrayabilen mikro tutucular olarak işlev görebilen çoklu şekil hafızalı polimerlerden (SHP) oluşan 3D yazdırılmış bir yapıyı göstermektedir. B- Farklı tasarımlara sahip çoklu malzeme tutucuları göstermektedir, bu tasarımlar farklı boyutlara ve parmak sayılarına farklı konumlara yerleştirilmiş farklı malzemelere ve farklı fonksiyonellikleri sağlamak için tutucuların farklı mekanizmalarına sahiptir. Kapanık tutucular nesneleri kavramak için, açık tutucu ise nesneleri serbest bırakmak için, yazdırılmış bir kapanık (açık) tutucu programlandıktan sonra açıldı (kapandı) ve nesneleri kavrama (serbest bırakma) işlevselliği ısınma ile tetiklendi. C- bir tutucunun bir nesneyi kavrama sürecinin zamanla değişen görüntülerini göstermektedir.

Gevşetme veya açma konusunda katmanlar arasında gerilim farkları yaratarak kıvrılma veya açılma tutucu deformasyonunu gerçekleştiren çağdaş imalat yaklaşımlarına kıyasla, yaklaşımımız basit ve doğrudandır ve kalın eklemelerden oluşan daha sert tutucuların şekil hafızalı polimerlerle yapıldığı bir imkan sunar. Ayrıca, çoklu malzeme imalat yeteneği, tutucuların uçlarını eklemeleri oluşturan şekil hafızalı polimerlerden farklı malzemelerle yazdırmamıza ve uç sertliğini nesnenin sertliğine göre tasarlamamıza olanak tanır. (Ge ve diğerleri, 2016, s.7)



Şekil 27: 3B yazdırılmış çoklu malzeme tutucular. (a)-Farklı tasarımlara sahip çoklu malzeme tutucular üretildi. (b)- Çoklu malzeme tutucuların yazdırılmış şekil ve geçici şekil arasındaki geçişi gösterimi. (c)- Bir nesneyi kavrama sürecinin görüntüleri.

Kaynak: Ge, Q., A.H. Sakhaei, H. Lee, C. Dunn, N. Fang ve M. Dunn. (2016). Multimaterial 4D Printing with Tailorable Shape Memory Polymers. Scientific Reports. 6(1):31110

Dikroik cam bir malzeme, gelen ışığın açısının ya da izleyicinin açısının bir fonksiyonu olarak izleyiciye renk değişiklikleri gösterir. Değişen renk değişimleri çok çarpıcı ve beklenmedik olabilir. Benzer görsel etkiler uzun zamandır yusufçukların yanardöner kanatlarında ve bazı kuş tüylerinde ya da su yüzeylerindeki yağ filmlerinde görülmektedir. İnce tabaka biriktirme tekniklerindeki son yenilikler, camlar üzerinde dikroik özellikler sergileyen kaplamalar üretmek için kullanılmıştır. Dikroik camda, belirli renk dalga boyları - izleyiciye yansıma olarak görülenler - yansıtılırken, diğerleri emilir ve iletilen ışık olarak görülür. Algılanan renkler ışığın yönüne ve görüş açısına göre değişir. Dikroik (orijinal olarak iki renkli anlamına gelir) etki teknik olarak uzun yıllardır anlaşılmaktadır. Yeni dikroik camlarda, bir cam alt tabaka, her biri farklı optik özelliklere sahip çok ince şeffaf metal oksit kaplamaların çoklu katmanları ile kaplanır.



Şekil 28: Dikroik Işık Alanı - James Carpenter'ın bir enstalasyonu, New York

Kaynak: Al-Baldawi, M.T. (2015). Application of Smart Materials in the Interior Design of Smart Houses. Civil and Environmental Research. Vol.7. Sayı 2, 12-13.

Işık bu katmanlara çarptığında veya bu katmanlardan geçtiğinde, çeşitli karmaşık optik etkiler meydana gelir. Temel olarak yansımalar, bir optik kırılma indisine sahip bir katmandan geçen ışık, farklı bir optik kırılma indisine sahip bir katmanla karşılaştığında oluşur. Birden fazla şeffaf katman mevcut olduğunda, farklı malzeme değişim noktalarında farklı yansıma yönleri gelişebilir.

6.4. ÖRNEK UYGULAMA:

Bu tezde, endüstriyel ürün tasarımında şekil hafızalı malzemelerin potansiyel uygulamalarını incelendi ve bu malzemelerin tasarım süreçlerine nasıl entegre edilebileceği araştırıldı. Şekil hafızalı malzemeler, belirli koşullara yanıt verme yetenekleri sayesinde endüstriyel ürün tasarımında yenilikçi çözümler sunabilirler. Bu bölümde, şekil hafızalı malzemelerin kullanım potansiyelini vurgulamak için bir örnek uygulama olarak "Tıbbi Cihaz Akıllı Ambalaj Tasarımı" sunulacaktır.

6.4.1. Tıbbi Cihaz Ambalajı

Şekil hafızalı malzemelerle tıbbi ambalaj tasarlarken hasta güvenliğini, mevzuat uyumluluğunu ve sağlık uzmanları ve hastalar için kullanım kolaylığını dikkate almak kritik öneme sahiptir. Bu yenilikçi çözümlerin tıp ve ilaç endüstrilerinin katı gereksinimlerini karşıladığından emin olmak için malzeme bilimi, ambalaj tasarımı ve mevzuata uygunluk konularında uzmanlarla işbirliği yapılması şarttır. Ayrıca, doğru kullanımı sağlamak için ambalajla birlikte açık ve kısa talimatlar bulunmalıdır.

Tıbbi Cihaz Nedir?

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre tıbbi cihaz, üretici tarafından tek başına kullanılması amaçlanan herhangi bir alet, aparat, alet, makine, gereç, implant, in vitro kullanıma yönelik reaktif, yazılım, malzeme veya diğer benzer veya ilgili eşya olabilir (veya tıbbi bir amaç için kombinasyon halinde). Tıbbi cihazlar steril veya steril olmayabilir.

Tıbbi Cihaz Ambalajının Amacı

Uygun ambalaj olmadan cerrahlar ve sağlık hizmeti sağlayıcıları tıbbi bir cihazı kullanamayacaktır. Bir tıbbi cihazın ambalaj sistemi, steril bariyer sistemi ve koruyucu ambalajın (steril cihazlar için) bir kombinasyonudur. Koruyucu ambalaj, steril bariyer sisteminin ve içeriğinin montajından kullanım noktasına kadar zarar görmesini önlemek için tasarlanmış malzemelerin konfigürasyonu olarak tanımlanır. Koruyucu ambalaj steril olmayan implantlar ve aletler için de kullanılabilir. Steril bariyer sistemi (SBS), mikroorganizmaların giriş riskini en aza indiren ve kullanım noktasında steril içeriğin

aseptik sunumuna izin veren minimum paket olarak tanımlanır. Kalp pilleri veya koklear implantlar gibi tıbbi cihazlar açılması için hassas ısıtma gerektiren ambalajlara sahip olabilir. Tıbbi cihaz ambalajı ise kurcalama riskini azaltır. (Bonner, 2021)

Tıbbi Cihazlar İçin Kapsamlı Malzeme Yelpazesi

Tıbbi cihaz ambalajlarında, kağıt bazlı malzemeler, ayırma özelliği olan ve olmayan plastik filmler, ısıyla şekillendirilebilir malzemeler ve alüminyum laminatlar dahil olmak üzere eksiksiz bir esnek malzeme yelpazesi vardır. Karton bazlı çözümler güvenli koruma, doğru baskı ve serileştirme, izlenebilirlik, braille, ekler ve etiketler, çocuk korumalı ve çok daha fazlası gibi özellikler sağlar. (Bonner, 2021)

Tıbbi cihaz ambalaj özellikleri ve seçenekleri şunları içerir:

- Çocuk korumalı seçenekler
- Sahteciliğe ve kurcalamaya karşı kanıt
- Serileştirme ve kodlama
- Broşürler ve etiketler
- Katlanır karton, esnek laminatlar ve tıbbi kağıtlar
- Dokunsal efektler (örn. Braille alfabesi)
- Akıllı Paketleme

Tıbbi Cihaz Ambalaj Türleri

Hem steril hem de steril olmayan tıbbi cihazlar için kullanılabilecek birçok ambalaj malzemesi türü vardır. Tıbbi cihazların birincil, ikincil ve üçüncül ambalajları vardır. Birincil ambalaj steril olmayan bir bariyer, tek steril bariyer, çift steril bariyer veya bir karton olabilir. Genellikle üçüncül ambalaj, müşteriye gönderilmek üzere kullanılan nakliye çantasıdır.

Steril implantlar için birçok steril bariyer poşeti ve sert/yarı sert tepsi kullanılabilir. Poşetler arasında Naylon/Naylon poşetler, Tyvek/Mylar poşetler, Folyo/Naylon poşetler, Folyo/Mylar poşetler ve Folyo/Folyo poşetler bulunmaktadır. Tyvek, sürekli, rastgele yönlendirilmiş, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)

filamentlerden yapılmıştır. Mikroplara ve diğer kirleticilere karşı büyük bir direnç sağlayan eğrilerek bağlanmış bir olefindir. Folyo malzemeler ultraviyole (UV) ışığa, neme ve oksijene karşı iyi bariyerler sağlar. Söz konusu poşetler tek veya çift steril bariyerli olabilir. Torbalar genellikle ağır olmayan küçük cerrahi plaklar ve vidalar için kullanılır. Tek veya çift bariyerli tepsiler, yapay dizler, kalçalar, tibia tabanları vb. gibi daha ağır ve hacimli tıbbi implantlar için kullanılır. Çoğu tepsi termoform polietilen tereftalat-glikolden (PETG) yapılır ve tepsinin üstüne bir kapak kapatılır. Kapak stoğu Tyvek, folyo ve bazı durumlarda tıbbi sınıf kağıt olabilir.

Katlanır kartonlar steril veya steril olmayan ambalaj bileşenlerini içermek için kullanılır. Günümüzde kartonların çoğu katı ağartılmış sülfattır (SBS) ve genellikle 20, 22 veya 24 nokta (pt) kaliper karton kullanılır. Oluklu astarlara ve oluklara sahip katlanır kartonlar da kullanılır ve daha fazla yapı ve sağlamlık sağlar. Kartonlar düz, körüklü veya otomatik tabanlı olabilir. Ambalaj mühendisi genellikle kartonun içine ne gireceğine bağlı olarak hangi tarz kartona ihtiyaç duyulduğunu belirler. (Bonner, 2021)

Ambalaj Tasarımı Doğrulama Testi

Steril veya steril olmayan paketleme sistemi belirlendikten sonra, seçilen paketleme sisteminin tıbbi cihaz için uygun olup olmadığını belirlemek için bir paketleme tasarımı doğrulama testi yapılmalıdır. Ambalaj tasarımı testi için en yaygın iki kılavuz belge Uluslararası Güvenli Taşıma Birliği (ISTA) ve Amerikan Standart Test Yöntemi'dir (ASTM). ISTA, nakliyeciler, taşıyıcılar, tedarikçiler, test laboratuvarları ve nakliye ambalajının özel sorunlarına odaklanan eğitim ve araştırma kurumlarından oluşan küresel bir birliktir. ISTA'nın yedi tür test protokolü vardır. Tıbbi cihaz ambalaj tasarım doğrulama testleri için, yedi tip test prosedürü arasında en yaygın olarak ISTA 3A kullanılır. ISTA 3A testi, gerçek nakliye tehlikelerinin genel simülasyonunu kullanırken, ambalajın ve ürünün nakliye tehlikelerine dayanma kapasitesini zorlamak için tasarlanmış gelişmiş bir testtir. Test, koli dağıtım sistemi aracılığıyla gönderilen ayrı ayrı paketlenmiş ürünler için genel bir simülasyon testidir ve bir koli dağıtım sisteminde taşıma ve nakliye sırasında normal olarak karşılaşılan titreşimler, şoklar ve diğer streslerle ilgili olarak paketlenmiş bir ürünün koruyucu performansını değerlendirmek için kullanılır.

Steril paketleme sistemleri için ISTA 3A kapsamında aşağıdakiler gereklidir: Atmosferik ön koşullandırma, düşme testi yoluyla şok, titreşim (üst yük ile ve üst yük olmadan rastgele titreşim) ve bütünlük testi. Ambalaj sisteminin arka planını, kapsamını ve amacını, test için kullanılan numune boyutunu ve hangi fiziksel test yöntemlerinin gerekli olduğunu ana hatlarıyla belirtmek için bir Ambalaj Tasarımı Doğrulama protokolü yazılmalıdır. Protokol ayrıca bir kabul kriteri de içermelidir. Steril paketleme sistemleri için, steril bariyer(ler) sağlam kalmalı ve delik, delinme, yırtılma veya steril bariyerlerde bir ihlale neden olacak herhangi bir şey olmamalıdır. Steril olmayan ambalaj sistemleri için, kabarcık sızıntısı veya boya penetrasyonu gibi bütünlük testleri.

Sterilizasyon Yöntemleri

Sterilizasyon yöntemi, steril ürün için kullanılabilecek ambalaj malzemelerinin türünü etkileyecektir. Farklı sterilizasyon yöntemleri arasında Gama Işınlama, Etilen Oksit (EtO), Elektron Işını (E-Beam) ve Otoklav bulunmaktadır. Gama sterilizasyonu gerektiren ürünler için, ambalaj malzemelerinin sterilizasyona izin vermek için nefes alabilir olması, ancak aynı zamanda ürünü mikroorganizmalardan koruması gerekir. Gama sterilizasyonu için kullanılabilecek yaygın ambalaj bileşenleri Tyvek poşetler, Naylon poşetler ve Tyvek kapaklı PETG tepsilerdir. Etilen Oksit, uygun şekilde tahliye edilmediği/havalandırılmadığı takdirde çok zararlı olabilecek kalıntılar bırakabilen bir gazdır. EtO sterilizasyonu için tasarım yaparken, etiket yerleşimi ve IFU yerleşimi çok önemlidir, çünkü bu öğeler sterilizasyonu engelleyebilir ve/veya kalıntıların tahliyesini engelleyebilir. Gama için kullanılan ambalaj malzemeleri EtO için de kullanılabilir.

Bazı tıbbi cihazlar oksijen veya nem bariyeri gerektirir. Ürünü ve ne tür bir bariyere ihtiyaç duyulduğunu anlamak önemlidir. Yanlış ambalaj malzemesi seçilirse ürün korozyona uğrayabilir veya kontamine olabilir. (Bonner, 2021)

Malzeme Performansı

Ambalajın belirli iklim koşulları altında belirli bir süre sonra nasıl davranacağını anlamak önemlidir. Bu, Gerçek Zamanlı (RT) Yaşlandırma testi ile birlikte bir Hızlandırılmış Yaşlandırma (AA) testi yapılarak değerlendirilebilir. Zaman içinde contalar yumuşayabilir ve gevşeyebilir. Bu da malzemenin delaminasyonuna ve hatta renk değiştirmesine neden olabilir. Günümüzde ambalaj malzemeleri normal hastane ameliyat merkezi iklim koşullarında 10 yıla kadar stabilitesini koruyabilmelidir.

Paketleme Süreci

Bir paketleme sistemi seçildikten ve doğrulandıktan sonra, üretim ortamında montaj için doğru yapıştırma ekipmanına sahip olmak önemlidir. İster poşet ister sert tepsi mühürleyin, her seferinde iyi bir mühür üretildiğinden emin olmak için doğru mühürleme parametreleri de doğrulanmalıdır. Mühürleme gücü, müşterinin veya son kullanıcının steril bariyer poşetini veya tepsisini açamayacağı kadar yüksek olamaz. Sonuç olarak, sterilizasyon yöntemi veya neme ya da oksijene duyarlı olup olmadığı gibi ürün gereksinimlerine göre doğru ambalaj malzemeleri seçilmelidir. Steril veya steril olmayan bir paketleme sistemi, nakliye tehlikelerine ve iklim koşullarına dayanabileceğini göstermek için doğrulanmalı ve onaylanmalıdır.

Tıbbi Cihaz Ambalaj Pazarı

Mikro ambalajlama, ilaç dağıtım sistemlerini değiştiren nanoteknoloji gibi pazarı etkileyen mevcut eğilimdir ve tıbbi cihaz ambalajlarında da aynı etkiye sahip olması beklenmektedir. Mikro ambalaj, ışığı yangına dayanıklı hale getirmek için yoğunlaştırmak amacıyla filmlere ve şekillendirilmiş nesnelere belirli nano partiküllerin eklenmesini içerir ve termal ve mekanik performansı artırmanın yanı sıra gaz geçirgenliğini azaltır. Nanoteknoloji platformu üzerine kurulan mikro ambalaj, tıbbi cihazların stabilitesini artırma özelliği nedeniyle ambalaj üzerinde güçlü bir etki yaratmaya hazırlanıyor. Nano kompozit bazlı ambalaj filmleri ve nano kaplamalar gibi nano mühendislik malzemelerinin bir araya getirildiği mikro ambalajlar, mikrobiyal büyümeyi kontrol eder ve oksidasyonu geciktirerek tıbbi cihazların daha uzun süre güvenliğini sağlar. (Bonner, 2021)

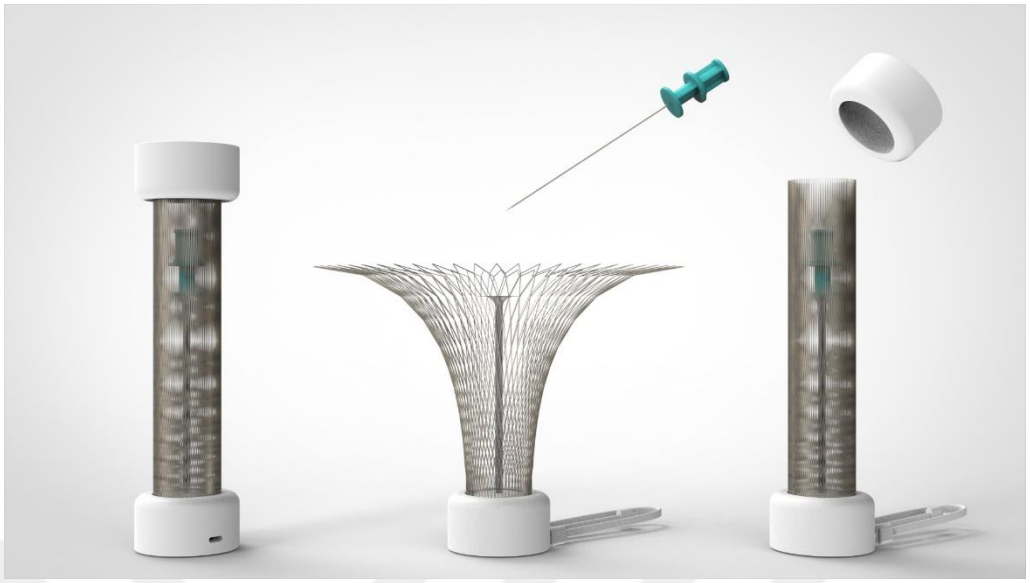
6.4.2. Tıbbi Cihaz Akıllı Ambalaj Tasarımı

Tıbbi teknoloji ve malzemeler, sağlık hizmetlerinin verilmesinde devrim yaratan bir dizi yenilikçi ürün ve yaklaşım geliştirmiştir. Bu gelişmelerin bir parçası olarak, akıllı tıbbi ambalajlar, tıbbi ürünlerin saklanması, taşınması ve kullanılması açısından yeni olanaklar sunmaktadır. Bu bölümde, şekil hafızalı Nitinol malzemesinin kullanımıyla tasarlanan bir Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı konsept tasarımı sunulacaktır.



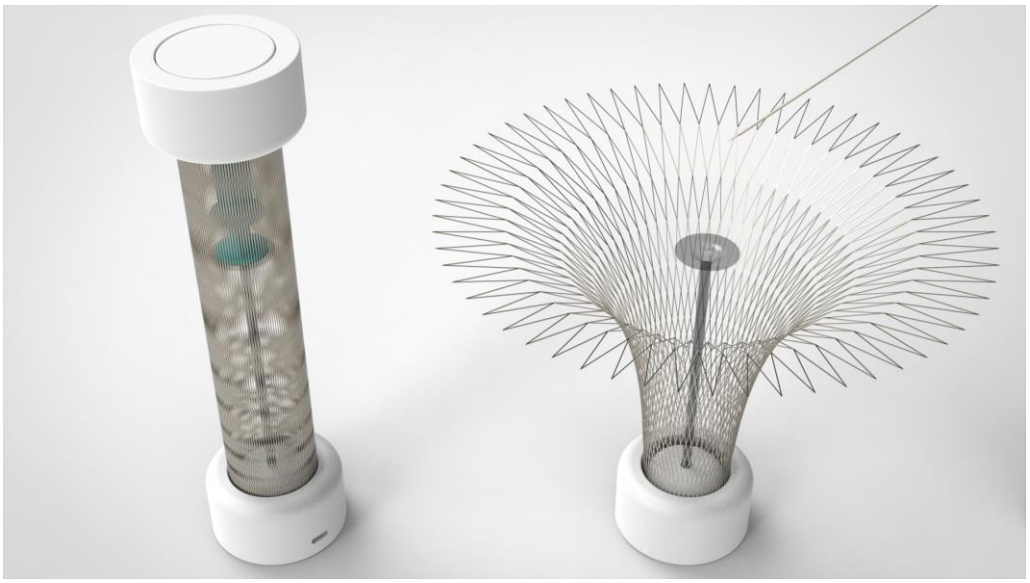
Şekil 29: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın steril kutusunda perspektif görüntüsü

Tıbbi dünyada, teşhis ve tedavi yöntemleri her geçen gün gelişmektedir. Bu ilerlemelerin bir sonucu olarak, biyopsi iğneleri gibi tıbbi cihazlar da sürekli olarak iyileştiriliyor. Şekil 28'de bu tez için konsept olarak geliştirilen Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı steril kutusunda perspektif açıdan görülmektedir. Şekil 29'da Şekil hafızalı Nitinol malzemesinin kullanımıyla tasarlanan Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın kullanım aşamalarını, potansiyel tasarım özelliklerini ve avantajlarını incelenebilir.

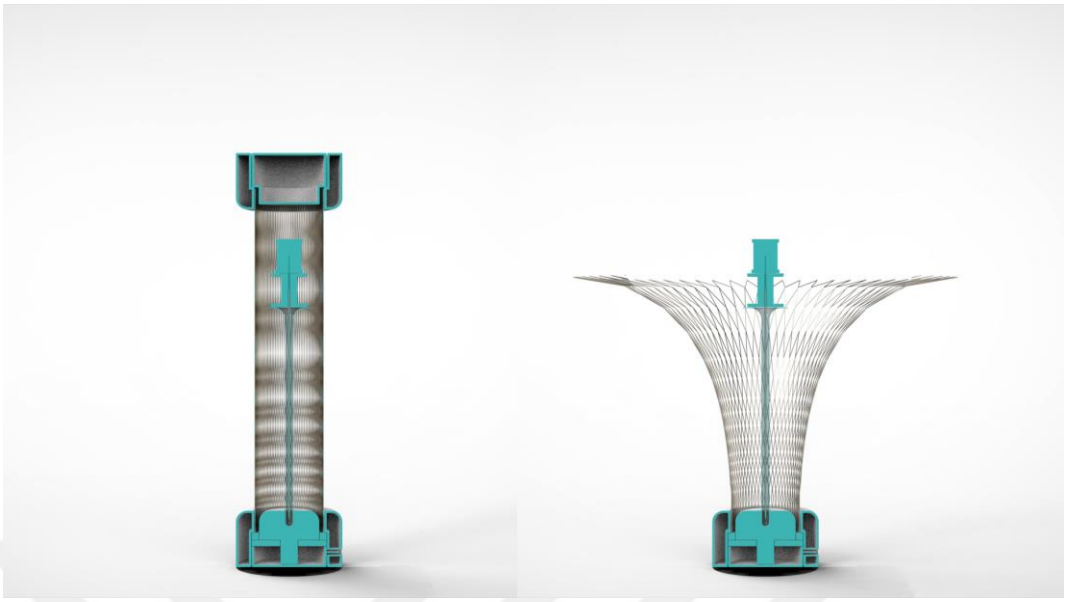


(a) **(b)** **(c)**

Şekil 30: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın kullanım aşamaları. (a)-Steril kutusundan çıkarılmış Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın ön görüntüsü. (b)- Ambalajın üst kapağı çıkarılıp Nitinol örgüyü açarak, tam ortada konumlanmış steril Biyopsi İğnesinin ambalajın içinden çıkarılması. (c)- İğne kullanıldıktan ve biyopsi örneği alındıktan sonra İğne tekrar yuvaya oturtulur ve Nitinol örgü elektrik enerjisi ile ısıtılarak eski şekline geri döner ve kapak kapatılır.



Şekil 31: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın kapalı ve açık Nitinol örgüsünün yakın plan ayrıntı görüntüsü



Şekil 32: Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı'nın kapalı ve açık Nitinol örgüsünün kesiti

Şekil hafızalı Nitinol kullanılarak tasarlanmış bir biyopsi iğnesi ambalajının potansiyel tasarım özelliklerini ele alınırsa:

1. **Sterilizasyon Kolaylığı**: Ambalaj, iğnenin sterilizasyon sıcaklıklarına dayanabilen bir yapıya sahip olmalıdır. Bu, iğnenin ambalajının steril bir şekilde depolanmasını ve taşınmasını sağlar.

2. **Otomatik Açılma ve Kapanma**: Ambalaj, iğnenin kullanımı sırasında otomatik olarak açılmasını ve kapanmasını sağlamalıdır. Bu, cerrahların işlem sırasında daha fazla kontrol ve hassasiyet elde etmelerine yardımcı olur.

3. **Darbelere Karşı Koruma**: Ambalaj, iğneyi darbelere karşı korumalıdır. Nitinol'un darbeleri absorbe etme yeteneği, iğneyi taşıma ve saklama sırasında korur.

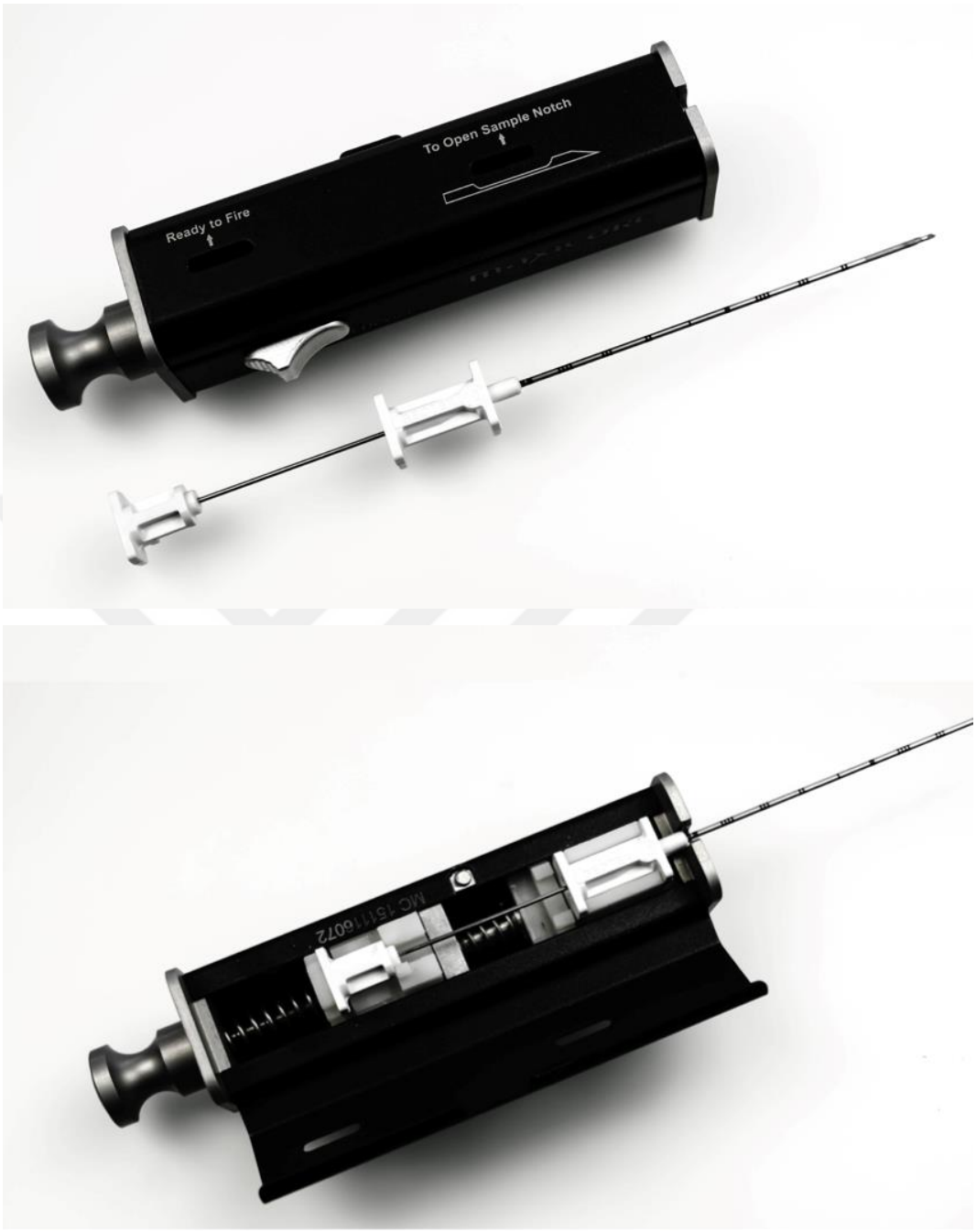
Şekil hafızalı Nitinol malzemesi kullanılarak tasarlanmış bir Biyopsi İğnesi Akıllı Ambalajı, hijyen, sterilizasyon ve ürün koruma gibi önemli gereksinimleri karşılamak için mükemmel bir seçenektir. Bu tasarım ile, biyopsi iğnesinin daha güvenli ve etkili kullanılmasının sağlaması ve bununla birlikte tıbbi profesyonellerin ve hastaların daha iyi sonuçlar elde etmelerine yardımcı olması amaçlanmıştır.

Biyopsi İğneleri

Otomatik biyopsi tabancaları ile birlikte kullanılmak için tasarlanmış, yumuşak doku ve organlardan parça biyopsi almak için kullanılan, tek kullanımlık bir biyopsi iğnesidir. Boyu 10-25cm arası değişmektedir. (Geotekmedical, 2023)



Şekil 33: Tek kullanımlık Biyopsi İğnesi



Şekil 34: Tekrar kullanılabilir Biyopsi Tabancası

6.4.3. Şekil Hafızalı Nitinol Kullanımı

Akıllı tıbbi ambalajlar, tıbbi ürünlerin korunması ve kullanımının daha güvenli ve etkili hale getirilmesine yardımcı olabilir. Şekil hafızalı Nitinol malzemesi, bu ambalajların tasarımında önemli bir rol oynayabilir. Gelecekte, bu tür ambalajların daha yaygın bir şekilde benimsenmesi ve tıbbi endüstrinin standart uygulamaları haline gelmesi muhtemeldir, çünkü bu tür inovasyonlar sağlık hizmetlerinin kalitesini artırabilir.

Şekil hafızalı Nitinol, benzersiz termal özelliklere sahip olan bir nikel-titanyum alaşımdır. Bu malzeme, belirli bir şekle sahip olabilme özelliğine sahiptir ve sıcaklık değişikliklerine tepki vererek bu şekle geri döner. Bu, tıbbi ambalaj tasarımında son derece yararlıdır. Nitinol, tıbbi cihazlar ve ilaçlar gibi hassas ürünlerin ambalajlanmasında birçok avantaj sunar.

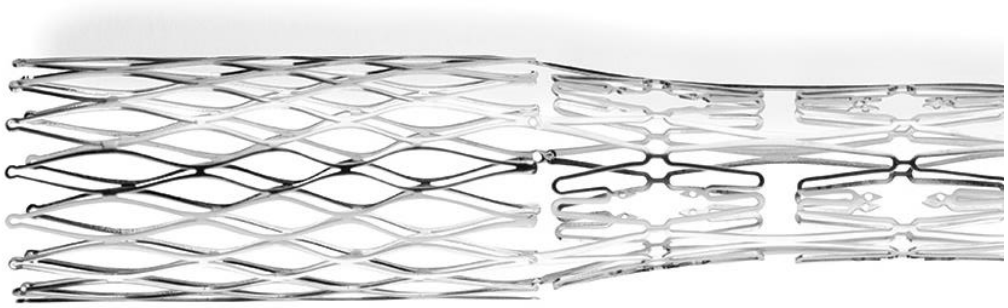
Tıbbi ürünlerin ambalajlanması, ürünlerin korunması ve güvenli bir şekilde taşınmasının yanı sıra sterilite ve kullanım kolaylığı gibi faktörleri içerir. Şekil hafızalı Nitinol, bu gereksinimleri karşılamak için mükemmel bir seçenek sunar.

1. Hijyen ve Sterilite: Nitinol, yüksek sıcaklıklarda sterilize edilebilir. Bu, tıbbi ürünlerin ambalajlanması sırasında sterilite koşullarına uyulmasını sağlar. Aynı zamanda ürünlerin hijyenik bir şekilde saklanmasını ve taşınmasını destekler.

2. Kullanım Kolaylığı: Nitinol, ambalajın belirli bir sıcaklıkta (tipik olarak vücut sıcaklığında) açılmasını veya kapanmasını sağlayabilir. Bu, hastaların veya sağlık profesyonellerinin ambalajı kolayca açmalarını ve ürünü kullanmalarını sağlar.

3. Ürün Koruma: Nitinol, ürünlerin darbelere ve çevresel faktörlere karşı korunmasına yardımcı olabilir. Ambalaj, ürünü dış etkenlerden izole edebilir ve daha uzun raf ömrü sağlayabilir.

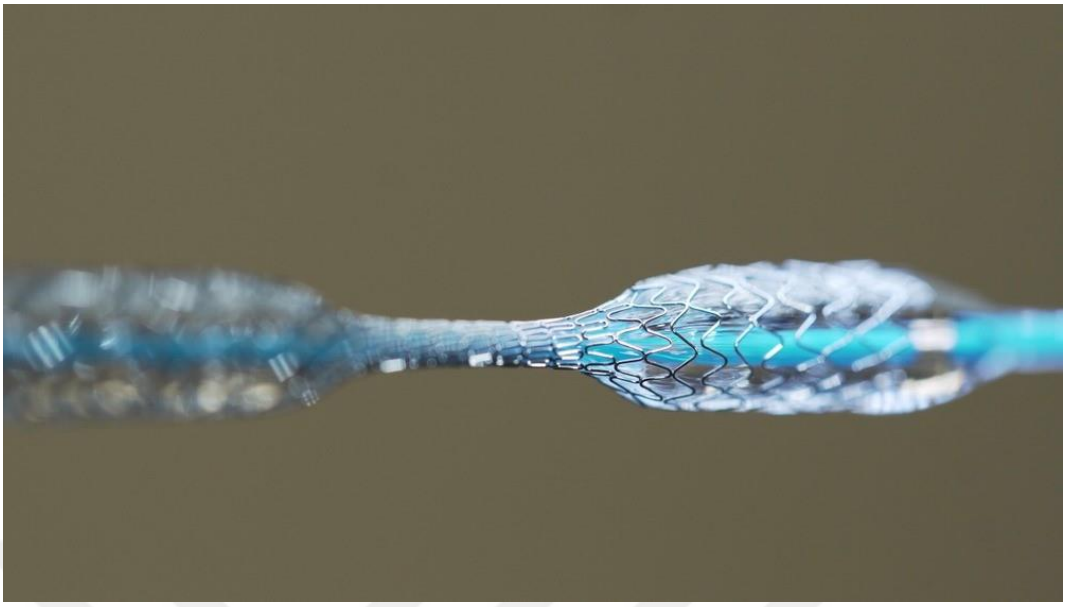
4. Tıbbi Takip ve Bilgilendirme: Nitinol tabakalarına entegre edilebilen sensörler, tıbbi ambalajın içindeki koşulları izlememize yardımcı olabilir. Bu, ilaçların doğru sıcaklıkta saklandığından veya cihazların doğru şekilde muhafaza edildiğinden emin olmamıza olanak tanır.



Şekil 35: Lazer kesim Nitinol stent

Nitinol şekil ayarı; tıbbi cihaz üreticilerinin kalp kapakçığı çerçeveleri, stentler ve dağıtım sistemleri gibi uygulamalar için son derece karmaşık bileşenleri hayata geçirmesine olanak tanır. Nitinol malzeme özelliklerini anlayarak en karmaşık nitinol şekilleri bile tasarlanıp üretilebilir. Tıbbi cihaz üreticilerinin kalp kapakçığı çerçeveleri, stentler ve dağıtım sistemleri gibi uygulamalar için son derece karmaşık bileşenleri hayata geçirmesine olanak tanır. Nitinol şekil ayarı, aşağıdaki gibi uygulamalara yönelik karmaşık bileşenler oluşturmaya yönelik bir ısıyla sertleştirme işlemidir (Resonetics, 2023);

- Kalp kapakçığı çerçeveleri
- Nörovasküler akış alma stentleri
- Şah damarı stentleri
- Periferik stentler
- Biliyer stentler
- Teslimat sistemi bileşenleri



Şekil 36: Nitinol örgü stent

Nitinol örgü; biyomedikal yapılar, kumaşlar ve özel malzemeler için olağanüstü kalite ve sonsuz yenilik sunar. Mühendis ve tasarımcılar, tekdüze veya değişken toplama sayıları, örgüden şekle hizmetler, tek yakın uçlu örgü ve özel CAD ve modelleme gibi çok çeşitli özelleştirilebilir nitinol örgü çözümleri sunabilirler. Nitinol örgü, modern tıbbi cihazlar ve teknolojilerdeki aşağıdakiler dahil çok çeşitli uygulamalar için gereklidir (Resonetics, 2023);

- Stentler
- Akış yönlendiriciler
- Trombektomi cihazları
- Mesh ablasyonu
- EP teşhis sepetleri
- LAA Tıkama Cihazları
- İntraarteriyel şantlar
- Embolik koruma cihazları
- Genişletilebilir tanıtıcılar
- Kalp yetmezliği implantları
- Taş avcıları

7. SONUÇ

Bu tez, endüstriyel ürün tasarımında şekil hafızalı malzemelerin uygulanabilirliği ve potansiyelini incelemeyi amaçlamıştır. İncelemenin başlangıcında, malzemelerin temel karakterizasyonları ve davranışları hakkında geniş bir bilgi verilmiş, ardından akıllı malzemelerin türleri ve özellikleri ele alınmış ve son olarak şekil hafızalı malzemelerin endüstriyel tasarımdaki uygulamaları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, tez kapsamında örnek bir uygulama üzerinde de çalışılmış ve bu uygulamanın tasarım süreci adım adım açıklanmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları ve tartışmaları, endüstriyel ürün tasarımında malzeme seçimi ve uygulamasının ne kadar kritik olduğunu vurgulamaktadır. Malzeme seçiminin, bir ürünün işlevselliği, estetiği ve kullanıcı deneyimi üzerinde büyük etkileri olabilir. Özellikle akıllı malzemeler ve şekil hafızalı malzemeler, tasarımcılara daha fazla yaratıcı özgürlük sunar. Kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayacak ve aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği teşvik edecek ürünlerin tasarımında bu malzemelerin kullanımı büyük bir potansiyele sahiptir.

Derleme endüstriyel ürün tasarımında malzeme seçimi ve uygulaması konusunda tasarımcılara bir rehber olmayı amaçlamıştır. Malzeme seçiminin ürün tasarımının her aşamasında düşünülmesi gereken kritik bir faktör olduğu vurgulanmıştır. Tasarımcılar, ürünlerini işlevsellik, estetik ve sürdürülebilirlik açısından optimize etmek için malzeme seçimini dikkatlice yapmalıdır.

Öncelikli amaç, endüstriyel tasarımcıların ve mühendislerin malzeme seçimi ve uygulaması konusundaki farkındalıklarını arttırmaktır. Bu, gelecekte daha iyi tasarlanmış ve daha sürdürülebilir ürünlerin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Endüstriyel ürün tasarımı, malzemelerin yaratıcılık ve işlevsellik açısından nasıl birleştirilebileceği konusunda sonsuz olanaklar sunmaktadır. Bu çalışma malzeme biliminden endüstriyel tasarıma kadar birçok disiplini bir araya getirerek bu önemli konuya odaklanmıştır. Ayrıca tasarımcıları bu olanakları en iyi şekilde kullanmaya teşvik etmektedir.

Gelecekte, bu alandaki daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmalarının, endüstriyel ürün tasarımında malzemelerin rolünü daha da ileriye taşıyacağı öngörülmektedir. Malzemelerin gelecekteki inovasyonlar ve tasarımlar üzerindeki etkisi hala keşfedilmeyi bekleyen birçok fırsat sunmaktadır.

Bu tez, okuyucuların endüstriyel ürün tasarımında şekil hafızalı malzemelerin yaratıcı ve yenilikçi uygulamalarını keşfetmelerini hedeflemektedir. Şekil hafızalı malzemeler, özellikle endüstriyel tasarım dünyasında, ürünlerin işlevselliğini artırma, tasarım çeşitliliği sağlama ve kullanıcı deneyimini iyileştirme konularında büyük bir potansiyele sahiptir. Bu tezin sonuçlarına dayalı olarak, şekil hafızalı malzemelerin endüstriyel ürün tasarımına getirebileceği değeri özetlemek amacıyla birkaç önemli noktayı ele alacağız.

Tasarım Çeşitliliği ve İnovasyon

Bu tezde incelenen uygulama örnekleri, şekil hafızalı malzemelerin tasarım çeşitliliği ve inovasyon açısından ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Bu malzemeler, ürünlerin şeklini ve işlevselliğini kullanıcının ihtiyaçlarına göre uyarlayabilme yeteneği sayesinde tasarımcılara geniş bir yaratıcı alan sunar. Özellikle çoklu malzemelerin kullanımı, ürünlerin karmaşıklığını artırırken, işlevselliği ve estetiği de geliştirebilir. Örneğin, şekil hafızalı malzemeler, giyilebilir teknolojiler, spor ekipmanları ve tıbbi cihazlar gibi çeşitli endüstrilerde yenilikçi ürünlerin tasarımına imkan tanır.

Kullanıcı Deneyimi ve Ergonomi

Şekil hafızalı malzemeler, ürünlerin kullanıcı deneyimini iyileştirmek için önemli bir rol oynayabilir. Bu malzemeler, kullanıcıların rahatlıkla kullanabileceği, kişiselleştirilebilir ve ergonomik ürünlerin tasarımını kolaylaştırır. Özellikle şekil hafızalı malzemelerin termal tepkileri, giyilebilir teknolojiler ve tıbbi cihazlar gibi ürünlerde vücut sıcaklığına hassas bir şekilde yanıt verebilme yeteneği sunar. Bu, kullanıcıların daha konforlu ve etkili bir şekilde ürünleri kullanmalarını sağlar.

Sürdürülebilirlik ve Maliyet Etkinliği

Şekil hafızalı malzemeler aynı zamanda sürdürülebilirlik ve maliyet etkinliği açısından da potansiyel sunar. Bu malzemeler, ürünlerin dayanıklılığını artırabilir ve böylece ürünlerin ömrünü uzatabilir. Ayrıca, enerji tasarrufu sağlayabilen termal tepkileri sayesinde çevresel etkiyi azaltabilirler. Uzun ömürlü ve enerji verimli ürünlerin tasarımı, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli bir avantaj sağlar.

Gelecekteki Araştırmalar ve Gelişmeler

Bu tez, şekil hafızalı malzemelerin endüstriyel ürün tasarımına uygulanabilirliğini vurgulamakla birlikte, bu alanın gelecekteki araştırmalara ihtiyaç duyduğunu da göstermektedir. Şekil hafızalı malzemelerin daha fazla uygulama alanı ve potansiyel keşfedilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu malzemelerin ürünlerle nasıl daha etkili bir şekilde entegre edilebileceğini ve kullanıcı ihtiyaçlarına daha iyi yanıt verebileceğini anlamak için daha fazla çalışma yapılmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışma şekil hafızalı malzemelerin endüstriyel ürün tasarımında yenilikçi ve etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu malzemeler, geleceğin ürünlerinin tasarımında büyük potansiyele sahiptir ve tasarımcıların işlevselliği, dayanıklılığı ve kullanılabilirliği artırmasına yardımcı olabilir. Şekil hafızalı malzemelerin daha fazla uygulama alanı ve potansiyel keşfedilmesi için gelecekteki araştırmalara ilham verme potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

Kitaplar

Addington, D.M. ve D.L. Schodek. (2005). *Smart Materials and New Technologies for The Architecture and Design Professions*. İlk Baskı. Harvard University: Architectural Press - Elsevier.

Ferrara, M. ve M. Bengisu. (2014). *Materials that Change Color – Smart Materials, Intelligent Design*. Çevrimiçi Yayın. Politecnico di Milano: Springer.

Süreli Yayınlar

Tüylek, Z. (2019). Sağlık Alanında Kullanılan Akıllı Polimerler. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*. Cilt 7. Sayı 1, 81-95.

Spaggiari, A., D. Castagnetti, N. Golinelli, E. Dragoni ve G. Scirè Mammano. (2016). Smart Materials: Properties, Design and Mechatronic Applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part L Journal of Materials Design and Applications*. Vol 233. Sayı 4, 1-29.

Roy, S., H. Mishra ve B. Gopal Mohapatro. (2016). Creating Sustainable Environment Using Smart Materials in Smart Structures. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol 9. Sayı 30, 1-9.

Çakmak, Ö. ve M. Kaya. (2017). Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*. Cilt 6. Sayı 2, 541-555.

Barati, B., E. Giaccardi ve E. Karana. (2018). The Making of Performativity in Designing [with] Smart Material Composites. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* Paper No.: 5, 1-11.

Ge, Q., A.H. Sakhaei, H. Lee, C. Dunn, N. Fang ve M. Dunn. (2016). Multimaterial 4D Printing with Tailorable Shape Memory Polymers. *Scientific Reports.* 6(1):31110

Al-Baldawi, M.T. (2015). Application of Smart Materials in the Interior Design of Smart Houses. *Civil and Environmental Research*. Vol.7. Sayı 2, 12-13.

Seminerler

Özel, A. (2013). Malzeme Seçimi ve Tasarımı. *Metalurji ve Malzeme Semineri*. Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kısım 1

Yayınlanmamış Tezler

Rauscher, S.G. (2008). Testing and Analysis of Shape-memory Polymers for Morphing Aircraft Skin Application. *Mechanical Engineering Thesis*. Pennsylvania: University of Pittsburgh.

İnternet - Yayımlanan Dergi Makalesi

Bonner, A. (2021). Medical Device Packaging. *Packcon Magazine - TAPPI Student Chapter Gadomski. School of Engineering, Christian Brothers University (Memphis, TN, USA).* 117-2021/291.

https://packcon.org/index.php/en/articles/117-2021/291-medical-device-packaging (09.11.2023).

İnternet - Yazarı Olmayan Doküman

Geotekmedical (2023). *Medikal Biyopsi İğneleri.*

https://www.geotekmedical.com/geotek-medikal-biyopsi-igneleri.html (09.11.2023)

Resonetics (2023). *Nitinol Processing.*

https://resonetics.com/manufacturing-solutions/nitinol-processing (09.11.2023)