

# MÜHENDİS BEYİNLER

Bilim, Mühendislik ve Teknoloji Dergisi

ISSN: 2528-9802



Sayı: 2 Cilt: 1  
Yıl: 2017

**Bilimsel ve Akademik Yayınlar**

Temel Mühendislik · Tasarım · Ürün İnceleme · Projeler · Akademik Haberler

[www.muhendisbeyinler.net](http://www.muhendisbeyinler.net)

# MÜHENDİS BEYİNLER AKADEMİ

Cilt 1 / Sayı 2

## KÜNYE

### İmtiyaz Sahibi

Oğuzhan Mallı

### Genel Yayın Yönetmeni

Oğuzhan Mallı

### Yayın Koordinatörü

Furkan Gümüş

furkan.gumus@muhendisbeyinler.net

### Hukuk Danışmanı

Begüm Datlı

begum@muhendisbeyinler.net

### Editörler

Furkan Gümüş

furkan.gumus@muhendisbeyinler.net

Kemal Okur

kemal@muhendisbeyinler.net

Nursel Eraslan

nursel@muhendisbeyinler.net

### Reklam ve Pazarlama

Yalcın Yumlu

medya@muhendisbeyinler.net

### İletişim

info@muhendisbeyinler.net

## EDİTÖR NOTU

Akademik alandaki Türkçe kaynakların yetersizliği, literatürlerin içerik yönünden zayıf olması ve mühendislik uygulamalarının eksikliğinin giderilmesi amacıyla, mühendislik alanında okuyan lisans öğrencileri tarafından gönüllü olarak kurulan Mühendis Beyinler sitesi, ilgi oranının artmasıyla beraber aralarında yüksek lisans, doktora ve araştırma görevlilerinin de yer aldığı büyük bir ekip haline gelmiş bulunmaktadır.

## Dergi Politikası

Mühendis Beyinler Dergisi, ülkemizde yapılan bilimsel araştırmaları sahip olduğu sosyal medya ve haber siteleri sayesinde geniş bir okuyucu kitlesine doğrudan aktaran bilim, teknoloji ve mühendislik dergisidir. Blog sayfamızı aylık ortalama 900.000 kişi ziyaret etmekte olup facebook sayfamızda şu an 630 bin (Mayıs 2017) takipçi haber ve makaleleri okumaktadır.

*“Kelime hazineniz kadar düşünür,  
dilinizin zenginliği kadar  
olgularınızı ifade edebilirsiniz”*

## Odak ve Kapsam

Bilim, teknoloji ve tüm mühendislik alanlarında deneysel, teorik (kuramsal) veya uygulama alanlarında yapılan araştırma ve çalışma sonuçlarına ait özgün makalelerin yayımlandığı bir dergidir. Dergide yayımlanan makaleler izin alınmaksızın başka bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı dergimiz kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

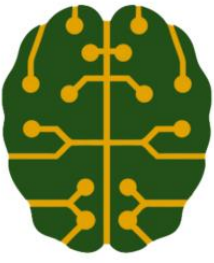
## Yayın Dili

Dergimiz Türkçe ve İngilizce dillerinde yazılmış makaleleri yayımlamaktadır.

# MÜHENDİS BEYİNLER AKADEMİ

## İçindekiler / Content

<b>Endüstri 4.0'da Yeni İş Kolları ve Yüksek Öğrenim.....</b>	<b>1</b>
Semih ŞENER, Prof.Dr. Birol ELEVİLİ	
<b>Arduino ile Tek Fazlı AC Kıyıcı Devresi Tasarımı ve Uygulaması .....</b>	<b>14</b>
Recai ÖZCAN, Ahmet TOPRAK, Ayşegül TOPRAK	
<b>Sylov Teoreminin Alterne Gruplar Üzerindeki Etkisi .....</b>	<b>19</b>
Mushab Bedirhan ANDIZ	
<b>Madencilik Sektöründe Yalın Üretim Felsefesi.....</b>	<b>24</b>
Arş.Gör. Hakan ÖZTÜRK, Prof.Dr. Birol ELEVİLİ	
<b>Kaos Teorisi'nin Ölçme ve Metroloji'ye Etkileri .....</b>	<b>33</b>
Burak BALCIOĞLU	
<b>Nanotıp ve Biyomateryal Kullanımı .....</b>	<b>41</b>
Öğr. Görevlisi Zülfü TÜYLEK	
<b>Bilgisayarla Bütünleşik İmalat Sistemi Tasarımı .....</b>	<b>53</b>
Yüksek Lisans Furkan GÜMÜŞ	



## Endüstri 4.0'da Yeni İş Kolları ve Yüksek Öğrenim

Semih SENER<sup>1</sup>, Birol ELEVLI<sup>2</sup>

Smart System Eng. Dept., Engineering Faculty, 19 Mayıs University, Samsun, Turkey

<sup>[1]</sup> [semihseener@gmail.com](mailto:semihseener@gmail.com), <sup>[2]</sup> [birol.elevli@omu.edu.tr](mailto:birol.elevli@omu.edu.tr)

**Özet:** 4. Sanayi devrimi olan Endüstri 4.0'a geçiş yapabilmek için Endüstri 4.0 incelenmiş, bilinmesi gereken yetiler sıralanmış ve bu süreci hızlandırmak için farklı bir akademi tavsiye edilmiştir. Türkiye'nin yaş ortalaması 29 olduğu için gerekli alt yapılar sağlandıktan sonra Türkiye bu geçişi başarı ile tamamlayabilir.

**Anahtar Kelime:** Endüstri 4.0, 4.Sanayi Devrimi, Dijitalleşme

## Endüstri 4.0'da Yeni İş Kolları ve Yüksek Öğrenim

**Abstract:** The new industrial revolution is called Industry 4.0. Since there are no "recipes" or "blueprints" for Industry 4.0 yet. Therefore, we investigate the structure of the revolution, we compile the specifications which are required, and we recommend a new way of a academy to shorten the road to Industry 4.0. Turkey's median age is 29, therefore if the infrastructure is ready Turkey will be able to make the shift successfully!

**Keywords:** Industry 4.0, 4<sup>th</sup> Industrial Revolution, Digitalization

### 1. GİRİŞ

Tarih boyunca ülkelerin refah durumları yakaladıkları sanayi devrimleri ile ilintili olmuştur. Kendi alt yapısını bu konuda geliştiren ülkeler gelişmiş ülkeler statüsüne geçmiş olup ülke içinde ki medeniyet ve refah düzeyi yükselmiştir.

Başta işsizlik ile baş etmek olmak üzere, ülkemizin diğer ülkeler ile rekabet edebilmesi için 2011 yılından beri dillendirilen Endüstri 4.0'a geçiş yapabilmek önümüzde atlatmamız gereken en büyük engellerden bir tanesi. Bunu aşmak için hükümetin, serbest piyasa oyuncuların, akademik kadronun ve halkın kendisi iş birliği içinde çözümler bulması gerekiyor. Zira birbirini tamamlayan bu paydaşların her biri bir eksiği tamamlıyor.

Bu açıdan baktığımız da en büyük sorun Endüstri 4.0'a bir tanımlama getirilememesi olmuştur. Sürekli kullanılan kelimeler sanayi devrimi ve dijitalleşme olarak geçmektedir. Biz de ilk bölümde Endüstri 4.0'ın en belirgin özelliklerini akabinde dijitalleşmenin ne olduğunu anlatmaya çalıştık. Peşine bu dijitalleşmeye uyum sağlamak için gerekli donanımları gerekli yetileri vurgu yaptık. Kısa yoldan başarıya yürümek için de alternatif bir yol olarak Endüstri 4.0 Akademisini detaylandırdık.

"Endüstri 4.0 yapısı ve dijitalleşme süreci" bölümünde Endüstri 4.0'ın tanımını yapmaya ve Endüstri 4.0'a geçişi tanımlamaya çalıştık. Endüstri 4.0'ı meydana getiren unsurlara değindik. Zira bu unsurlar 4.sanayi devrimini diğer sanayi devrimlerinden ayıran temellerdir. Bu unsurları kullanarak dijitalleşmeyi somut hale getirmeye çalıştık. Endüstri 4.0'ın ana özelliği dijital olmasında ve tüm nesnelerin akıllanarak birbirine bağlanmasında yatıyor. Endüstri 4.0'a geçiş yapmak için nasıl bir yol izlenmesi gerektiğinin temel olarak belirtmeye çalıştık.

“Endüstri 4.0’da yeni iş kolları” bölümünde ise şu an gelişmiş ülkelerde faaliyette başlamış olan yeni iş kollarının içeriğinden bahsettik. Bir an önce bizim de bu mesleklere sahip insanlar yetiştirmemiz gerektiği için, ne tarz branşlarda iş gereksinimleri olduğunu örneklemek istedik. Bu şekilde kariyer planlaması yapan kişilere bir yol göstererek hedeflerine ulaşmalarında yardımcı olmaya çalıştık.

“Endüstri 4.0’da eğitimin önemi” bölümü ile de yeni iş kolları için gereksinim duyulan yetilere yer verdik. Yazılım ve donanım ağırlıklı 11 adet dersi açıklayarak başta her branştan mezun mühendisler olmak üzere analitik düşünce yetisine yapısına sahip insanların bilmesi gereken dersleri sıraladık ve niçin önemli olduğunu açıkladık.

“Yeni eğitim yapısı: Akademi Endüstri 4.0” bölümü ile de bir çözüm önerisi getirerek yukarıda bahsedilen diğer bölümlerin birleşimini açığa çıkaracak bir fikir sunduk. Mevcut akademik eğitimin yerini tutmayan, ama insanları Endüstri 4.0’a ilgisini yoğunlaştıran, çabuk eğitim görebilecekleri, ancak piyasada tanınırlığı olan bir kavram belirlemeye çalıştık.

## 2. ENDÜSTRİ 4.0 YAPISI VE DİJİTALLEŞME SÜRECİ

### 2.1. Endüstri 4.0 Nedir

Endüstri 4.0, 2011 yılında Hannover fuarında lanse edilen yeni sanayi devrimidir. Vasıfsız iş gücü gerektiren işleri otomasyonlaştırarak vasıflı işlerde uzmanlaşarak katma değer yaratma devrimidir.

Endüstri 4.0 yani dördüncü sanayi devrimi; üretimle direkt ya da dolaylı olarak ilişkili olan bütün birimlerin birbiri ile ortak çalışmasını planlanmakta, dijital verilerin yazılımın ve bilişim teknolojilerinin birbiri ile entegre olarak çalışmasını öngörmektedir (Schuh, Potente, Wesch-Potente, Weber, & Prote, 2014, s. 1).

Şu an lanse edilen bu yeni sanayi devrimine geçmemiş olanlar, Endüstri 4.0’ı araştırmaya başlamışlardır. Kendilerini yenilemek ve bu yeni teknolojiye geçebilmek için yollar aramaktadırlar. Her firma bunun için bir kılavuza ihtiyaç duymaktadır.

Ancak Endüstri 4.0’a geçiş için bir yol haritası ya da yazılı kurallar olmadığı için her firma kendi yolunu kendi bulmak zorunda kalıyor. Bu yazımızda da bu süreçte yardımcı olabilecek bir yaklaşım sunmak istedik. Öncelikle diğer sanayi devrimlerine göre farklılıklarını ayırıştırıp belirgin özelliklerini ortaya döktük. Daha sonra bu özelliklere hâkim olmak için hangi süreçlerden geçmek gerekiyor onu betimlemeye çalıştık.

Bu betimlemeyi yaparken önce Endüstri 4.0’ın unsurlarına değindik. Burada temel olarak hangi unsurların ana etken olduğunu açığa çıkarmak istedik. Daha sonra Dijitalleşme sürecini anlatarak bu unsurları nasıl kullandığımızı anlattık. Böylece, teorik olarak Endüstri 4.0’a geçiş yapmak isteyenler için bir başlangıç noktası vermiş olduk. En son olarak da dijitalleşme süreci için bir örnek verdik. Değinilen içerikler için kaynak [2], [4], [5] ve [9] dan faydalanılmıştır.

### 2.2. Endüstri 4.0’ın Unsurları

Yapılan gözlemlere göre Endüstri 4.0’ı diğer sanayi devrimlerinden ayıran en önemli dört unsuru Sensör, Veri, Bilgi ve İşlem olarak belirleyebiliriz. Bu dördünün birleştirilmesi ile vasıfsız iş güçleri ortadan kalkmaktadır. Yerine hata yapmayan, başka işi gücü olmayan, istikrar sağlayan işlemler elde ediyoruz. Görsel olarak bu süreci şekil 1’de yansıttık.



Şekil 1 Dört İşlemde Endüstri 4.0

### 2.2.1. Sensör

Isı, ışık, nem, ses, basınç, kuvvet, elektrik, uzaklık, ivme ve pH gibi fiziksel ya da kimyasal sinyalleri veriye çeviren algılayıcılardır. Birçok çeşitli tipleri gelişmiş olup algılayıcıların hassas ve ölçüm yapma kabiliyetleri yüksek olması gerekir.

### 2.2.2. Veri

Bulduğumuz ortamda bile sonsuz veri bulunmaktadır. O yüzden veri denizi, big data diye adlandırılıp mühim olan bu toplanan verileri belli bir sistematik kapsamda ayıklayabilmek ve işe yarayanları sınıflandırabilmek önemlidir. Veri madenciliği teknikleri uygulayarak amaca en uygun ana veriler ve amacı dolaylı etkileyen yan verileri toplayabilmek önemlidir.

### 2.2.3. Bilgi

Toplanan verileri anlamlı hale getirmek bu esnada gerçekleşiyor. Yazılımlar vasıtasıyla elde edilen veriler bir yapay zekâ algoritmasından geçip faydalı bir işlem için karar verme süreci gerçekleşir. İyi bir yazılım ile tahmin etme gücü, makine öğrenmesi, hatalardan ders alması, keskin algoritmalar kullanarak hesap yapabilmesi makinanın gelişmişlik düzeyini etkileyen faktörlerdendir.

Veriyi hangi düzeyde bir bilgiye çevirmiş olduğu ayırt edici özellikler arasındadır. O yüzden milli yazılım oluşturabilmek, algoritması güçlü programcılar yetiştirebilmek Endüstri 4.0'a geçişte en önemli parçalardan bir tanesidir. Toplandığınız veri ile bir işlem mi yaptırmak ya da işlemler zinciri mi yaptırabilmek, bu kabiliyet çok önemlidir.

### 2.2.4. İşlem

Gerekli veriler sensörlerden toplandıktan sonra bilgiye de çevrildikten sonra artık sıra o son karar verici işlemi yapmaya kalıyor. O işlemin eyleminden genelde bir donanım etkileniyor ki sanal olanlar gerçekçi hale gelsin. Ona göre bir robot kolu hareket ediyor, araç yön değiştiriyor,

botlar seçilmiş yükü taşıyor veya boyası bitmiş makinanın deposuna boya ilave ediliyor gibi neticede tüm işlemler sonucunda fiziksel bir hareket görüyoruz.

Bu fiziksel harekete dönüşen donanımları tasarlayabilmek de ayrı bir kabiliyet ve yetenek istiyor. Örneğin domates gibi hassas ürünleri toplayabilmek, taşıyabilmek gibi malzeme bilgisi, malzeme hareket yapısına hâkim olmak gerekir.

### 2.3. Dijitalleşme Süreci

Aklımıza gelen tüm eylemleri dijital bir ortama aktarabilirsek, onu takip etmek, gözlemlemek, neticeler elde etmek, analiz etmek, yönlendirmek, geliştirmek kısacası eylemler bütününe hâkim olmak kolaylaşır.

Sistemsal hale getirip, alt yapısını yazılım ile güçlendirip, boşa harcanmış enerjilerden tasarruf ettirip, gereksiz zaman kayıplarını önleyip daha akılcı çözümler sunabiliriz. Bunları sisteme dökülebilmek için 3 ana işlemimiz vardır. Ortamda etkili olan her şeye bir kimlik kazandırmak, bu her şeyin eylemlerini kayıt altına alabilmek için ölçmek ve bu ölçüleri analiz etmek 3 ana işlemin özetidir.



Şekil 2 Dijitalleşme Süreci

#### 2.3.1. Kimlik Ver (ID Ver)

Bütün ürünlere ve üretim malzemelerine bir ID ver, mesela bir bar kod ve eşsiz bir isimlendirme yöntemi olabilir. Ürünleri dijitalleştirerek ve ürünleri birbirine bağlayarak değer zincirini ortaya çıkarmış oluyoruz. Böylece veriler toplanmaya hazır olur. Komple dijital bir sistem tüm bileşenlerin tanımlandığı hale gelmiş olur. Nihai olarak verimli bir envanter ve tedarik zinciri kurulmuş olunur.

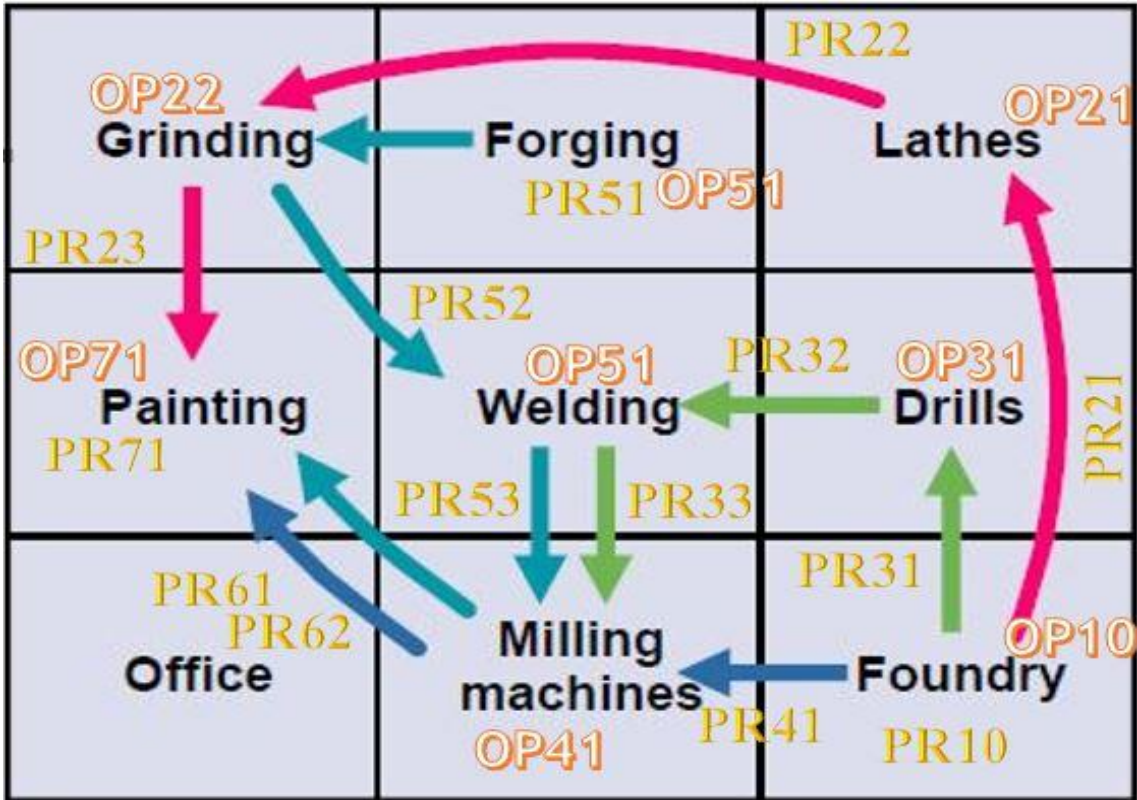
#### 2.3.2. Sensörler ile Ölç

Tüm ürün ve üretim malzemelerin anlık durumunu takip edebilme için değer zinciri içerisinde yer alan tüm proses ve sensörlerdeki verileri topla. Kapsamlı bir görüş yakalayabilmek için üretimin ve ürünlerin birçok yerinde ölçüm alabilecek şekilde sensörleri kur. Bu verileri ölçebilmek firmalara proses zamanlarını iyileştirme, ürün kalitesini arttırmaya ve ürün maliyetlerini azaltma imkânı veriyor.

### 2.3.3. Bağlan ve Analiz Et

Tanımlanmış, isimlendirilmiş ürünleri birbirlerine dijital özelliklerine göre bağlantısını yapın. Bu özellikler, malzeme türü, üretim sürecindeki yeri gibi birbiri ile ilintili özellikler olabilir. Ayrıca, farklı kaynaklardaki verileri de birbirine bağlayın. IT alt yapısını kullanarak bir şekilde birbiri ile etkileşim haline getirmeniz gerekiyor ki veri alıp verebilesiniz ve bunları yorumlayabilesiniz. Bu şekilde büyük veri yönetimi için ilk adımlarınızı atmış olursunuz. Bu şekilde ölçümleri belirleyebilir, verimi arttırabilir ve kaliteyi de optimize etmiş olursunuz. Ayrıca değer zinciri içerisinde yer alan partnerleriniz için de bu verilerden faydalanacak iyi bir alt yapı kurmuş olursunuz.

### 2.3.4. Dijitalleşme Örneği



Şekil 3 Dijitalleşme Örneği

Yukarıda bir fabrikaya ait iş akış diyagramını görebiliyorsunuz. Böyle bir fabrikamız olduğunda ilk süreç olan kimlik kazandırma işlemi ile başlamamız gerek.

#### 2.3.4.1. Kimlik ver

Resimde görüldüğü gibi tüm işlemlere bir isim verilmiştir, operasyonun kısaltılması olan OP tercih edilmiş olup, bütün süreçlere kimlik verilmiştir. Akabinde sırasıyla çıkan ürünlere de product kısaltılması olan PR tercih edilmiş olup bu şekilde adlandırılmıştır. Ancak burada dikkat edilecek husus bu şekilde ürün tipi adlandırılmıştır. Aslında örneğin PR41 ürününden adet olarak fazla çıkabilir ve eğer mümkünse her biri farklı bir ID olarak dijital sisteme entegre edilmesi gerekir ki PLM açısından ürünün geçtiği süreç takip edilebilsin, eğer ki kalitesinde bir sorun varsa geriye dönük hangi makinanın işleminden geçtiği tespit edilebilsin. Yani kısaca her bir ürünü de isimlendirme yapmak gerekir.



### 2.3.4.2. Sensör ile ölç

Ortama ve makinalara yerleştirilmiş, kendine has sensörler vasıtasıyla her biri adımı takip edebilmek lazım. Zamanlama, adet, işlem sırası gibi bütün veriler bu sensörler sayesinde kayıt edilmesi gerekir. İşlem esnasındaki fireler, üretim duruş süreleri, arıza yapma sayısı, ürün sayma, sisteme girme, barkod okuma gibi işlemleri otomatikman yapılır.

### 2.3.4.3. Bağlan ve analiz et

Veriler elde edildikten sonra, bu veriler internet vasıtasıyla ana işlemciye gönderilir. Makinalar durursa ilgili kişilere otomatikman bilgi mesajı gider, verimi ölçmek için gerekli bilgiler yazılım ile değerlendirilip sonuçlar analiz edilir. Dünya'nın her yerinden ama işlemciye bağlanıp, istenilen analizler temin edilir hem geçmişe dönük raporlar hem de gerçek zamanlı durum raporu temin edilir.

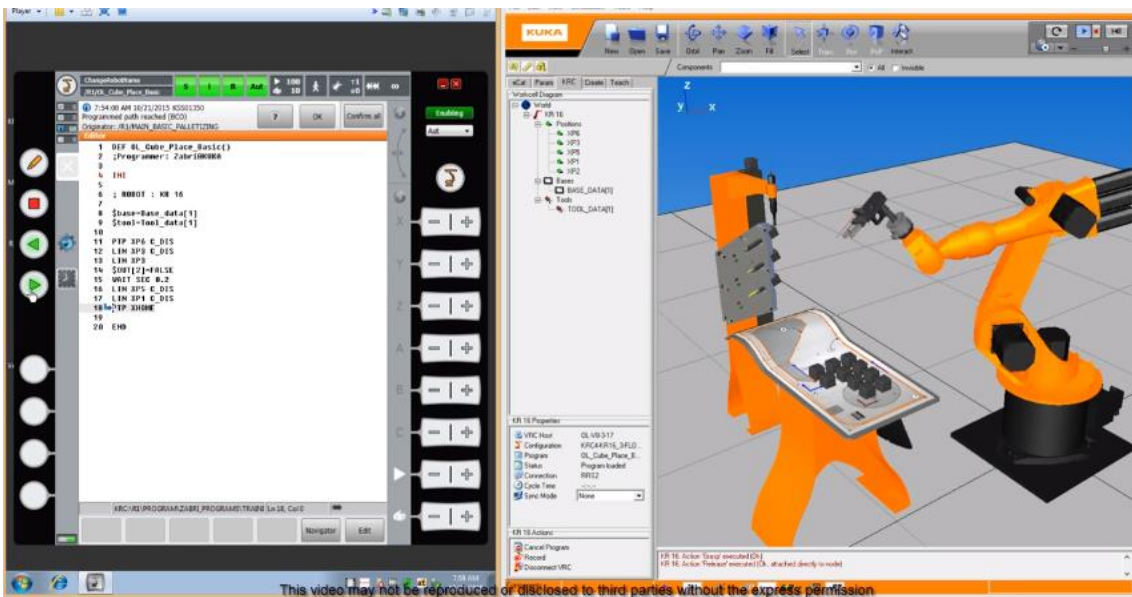
Bu veriler ERP, MRP, CRM gibi üçüncü parti yazılımlarına gönderilebilir. Böylece kişiden bağımsız, tamamen dijital olarak analizin ve hâkimiyetiniz söz konusu olmuş olur.

## 3. ENDÜSTRİ 4.0'DA YENİ İŞ KOLLARI

Burada bahsedilen 7 adet yeni iş kolu bulunmaktadır. Bunların birçoğu yurt dışında faaliyet başlamış olan bölümlerdir. Aslında birçok iş kolu zaten piyasada var olanlar olsa da Endüstri 4.0 için özelleşmiş yeni iş kollarıdır. Yeni iş kolu sayısı 7 olmasına karşın bunlar sadece fikir vermesi açısından burada incelenmiştir. Aklimıza gelen her sektör, her branş burada ki değinilenler gibi dijitalleşecek ve yeni bir iş kolu haline gelecektir. Değinilen içerikler için kaynak [1], [6], [7] ve [8] den faydalanılmıştır.

### 3.1. Endüstriyel Yazılım Programcıları (Industrieller Programmierer)

Bilişim sistemleri Endüstri 4.0'ın ana bileşenlerinden biri olduğu için programlama becerisi bütün diğer mesleklerin temel unsuru haline geldiği için yeni iş kolları arasında tekrar konumlandık. Ancak endüstriyel bileşenleri göz önünde bulundurduğumuzda klasik programcılığa göre farklılıklar göstermektedir.



Şekil 4 Robot Programlama

Üç ana başlıkta inceleyecek olursak; Birincil olarak programcı Java, C++ ve Python gibi genel programlama dillerine hâkim olması gerekmektedir. İkincil olarak programcı Matlab, Simulink veya R-Statistik gibi endüstriyel simülasyonlara, veri analizlerine imkân veren programlara hâkim olmak gerekiyor. Son olarak da endüstriyel programcı VHDL (donanım tanım yazılımı) ve Kukas KRL gibi robot programlamak için gerekli yazılımları iyi düzeyde bilmesi gerekiyor. Şekil 4'de robot programlamak için kullanılan Kukas KRL programın ara yüzü gösterilmiştir.

Bunlarla beraber bilinmeli ki yukarıda belirtmiş olduğumuz temel programlama yetileri ile beraber hızlı bir şekilde bunlara alternatif ve benzer konseptlerde çözümler çıkacaktır. Endüstriyel çözümlere yapabilmek için gelişmeleri takip edip bunları kullanabilmek gerekir.

### **3.2. Bilişim Sistemleri ve Nesnelerin İnterneti Çözüm Üreticisi (IT/loT-Lösungsarchitekt)**

Veriyi değerlendirip akıllı tepkiler verebilmek için bu verilerine akıllı cihazlar arasında dağıtılabilmesi gerekiyor. Veri hızının iyi bir şekilde ve anlamlı yapılabilmesi için nesnelerin interneti dediğimiz kavrama hâkim olacak insanlara ihtiyaç vardır. Her ne kadar internet vasıtasıyla veriler taşınacak ise de her cihaz farklı bir platform, farklı bir alt yapı kullanacaktır. Dolayısıyla bu cihazları birbiri ile iletişime geçebilmek için çözümleyicilere ihtiyaç duyulacaktır. Arttırılmış gerçeklik konseptlerini düşünecek olursak her tarafımız veri olacak. Hem bilişim sistemlerine hâkim olacak hem bu iletişimi kesintisiz, sorunsuz sağlamaları gerekmektedir.

### **3.3. Endüstriyel Veri Analiz Uzmanı (Industrieller Datenanalyst)**

Harvard Business Review, veri analiz uzmanlarını 21.yüzyılın en popüler meslek dalı olarak lanse etmiştir. Önümüzdeki dönem her cihaz veri üreteceği için, aslında her tarafımızda veriler var ancak bunlar artık kayıt edilebilir duruma geleceği için bu veri yığını anlamlandırabilmek, ayıklayabilmek ve akıllı sonuçlara evirmemiz gerekiyor. Ancak o zaman cihazların birbiri ile bağlantılı olmuş olmasının bir anlamı olur, heba etmiş olduklarımızı böylelikle analiz edebilir, engelleyebilir ve işe yarar hale getirebiliriz.

Bu açıdan Veri madenciliği, big data, makine öğrenmesi hatta yapay zekâ çözümlerini bu uzmanlık alanı ile çözeceğiz.

### **3.4. Robot Koordinatörü, Programcısı, Tamircisi (Roboterkoordinator, Roboterprogrammierer)**

Robotlar üretimdeki ana cihazlarımız olacak. Üretim hatalarını sıfıra indiren, 7/24 çalışabilen, vasıfsız iş gücünü tamamlayan ana silahlar olacaklardır. Dolayısıyla yapacakları işleri öğreten, ona göre programlarını yenileyen, bozulduklarında tamirini gerçekleştirecek yeni bir iş modeli gerekmektedir.

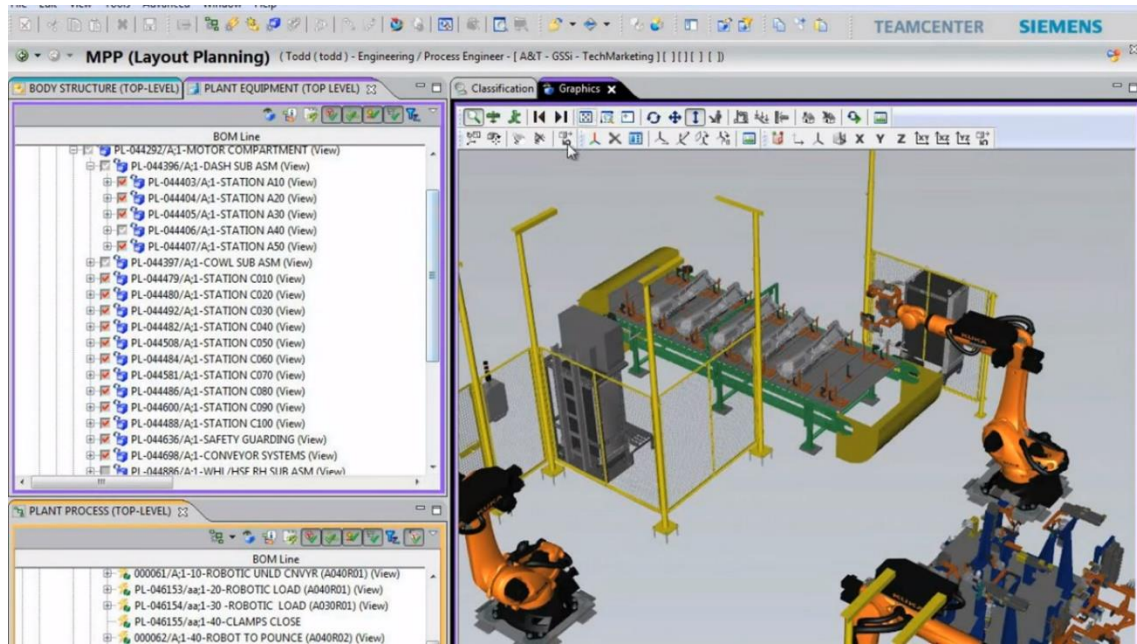
Yarı otonom, otonom hatta insansal hareketlerde bulunan robotlar ile baş edebilmek önemli hale gelecektir. Bozulan robotları aynı işi göreceği yenileri ile değiştirmek, üretim sisteminde aksamaları engellemek, psikolojik bozukluklarını gidermeye kadar geniş bir yelpaze de görev alacaklar.

### **3.5. Üretim Teknolojileri Uzmanı (Produktionstechnologe)**

Almanya hükümeti tarafından 2008 yılından itibaren resmi pozisyon olarak kabul edilmiş olup eğitim süresi Almanya'da 3 yıl sürmektedir.

Üretim süreçlerin analizini, simülasyonlarını ve optimizasyonunu yapmakla görevli iş gurubudur. Robotların, cihazların simülasyon ortamında tasarlayarak çözüm üretir.

Üretim süreçlerini planlayarak ihtiyaç duyulan tezgâhları tespit ederler ve bunların programlanmasını yani kodlanmasını sağlarlar. Üretim süreçlerinde yeni açığa çıkmış ya da değiştirilmiş üretim teknolojileri meydana gelecek. Daha güzel bir ifade ile, geleneksel üretim süreci dışında yeni sanayi devriminde kullanılacak yeni makinalara gereksinim olacak ve bu makinaların entegre edilmesi gerekecektir. Tüm üretim parametreleri makinaların birbiri ile konumlandırılmasında ve dijitalleştirilmesinde ayarlanması gerekmektedir. Bu meslek dalının amacı üretim sürecinin stabil halde çalışması ve ürünün zamanında pazara girebilmesidir. Üretim teknolojileri uzmanı, konstrüksiyon, üretim ve kalite süreçlerinde tabiri caiz ise bunları birbirine bağlayan yapıştırıcı gibidir. Dolayısıyla bu süreçte genellikle bu uzmanlar kalite departmanı ile çalışarak istatistiksel analizlerde bulunur. Şekil 5'de robotların ağırlıklı olarak oluşturduğu bir sistemin programlanmasını görebiliriz.



Şekil 5 Sistem Tasarımı

### 3.6. Akıllı Şehirler Planlayıcılar (Smart City Planner)

Üretim süreçleri akıllanırken elbette açığa çıkan ürünlerde en az o süreçler kadar akıllı olacak. Trafik lambaları gelen araçları okuyabilecek, ambulans gibi acil durum vakası söz konusu ile ana merkeze gelen verileri hesaplayıp yolları ambulans için uygun hale getirecek, diğer araçları ona göre yönlendirecek. Binalar artık enerji üretir hale gelecek, bir tarafta fazla üretilen enerji diğer tarafa otomatik olarak aktarılacak, akıllı sayaçlar sayesinde kimin ne harcadığı daha belli olacak. Dolan çöp depoları kendi aralarında iletişim kuracak, onları toplamaya gelen araç önüne algoritmik olarak hesaplanmış güzergâhı takip edecek.

Tüm bu verileri daha konforlu bir yaşam biçimi haline getirebilmek, yekünü düşünebilmek ve ona göre çözümler getirebilmek mimariyi tasarlamaktan ziyade içinde yaşayan insanlar ile beraber bunları planlayabilmek, hayal edebilmek beceresi gerektirmekte.

### 3.7. Ürün Tasarımcı ve Üreticiler

Üç boyutlu yazıcıların gelişim ile beraber aklınıza gelen her ürünü tasarlayabilmek ve bunu 3B yazıcılar için hazır hale getirebilmek önemli hale gelmektedir. Bir terzinin ölçü alıp kıyafet dikişmesi için kişiye has ürün üreticiler ortaya çıkacaktır, moda akımları farklı şekillerde etkilenecek herkesin tarzı farklı olacaktır.

Üretiminde kullanacağınız farklı yapıda bir robotu bilgisayardan tasarlayıp o makinalardan anında ürettirip üretim sürecine katabilirsiniz. Bilgisayar ortamında çizmiş olduğunuz tesisatları sanal gerçeklik gözlükleriniz ile görebilecek, kontrol edebileceksiniz. Anında değişiklik yapip üretmeden önce son dokunuşlarda bulunabileceksiniz.

## 4. ENDÜSTRİ 4.0 'DA EĞİTİMİN ÖNEMİ

Yeni meslek dallarını iyi bir şekilde yerine getirebilmek için alt yapımızda öğrenmiş olmamız gereken bazı dersler vardır. Dersleri incelediğimizde birbiri ile ilintili olduğunu gözlemleyebiliriz. Dersler kategoriye göre ikiye ayrılmaktadır:

- Programlama ve Yazılım Ağırlıklı
- Tasarım ve Donanım Ağırlıklı

Buna göre bu iki başlık bir taraftan işin programlama boyutu, yani yapay zekâyı yönlendirme, gerekli olan yazılımları açığa çıkarma kabiliyeti önemli iken diğer taraftan simülasyonlar yapabileceğimiz, matematiksel bir modelin gözle görünür, fiziksel halini dijital ortamda deneyimleme şansımızın olduğu donanım kısmıdır.

Burada değinilen konular her ne kadar bilgisayar mühendisinin ya da makine mühendisinin temel dalları gibi gözükse de aslında artık bütün disiplinleri kavradığının farkında olmamız gerekiyor. Burada bahsedeceğimiz dersler her mühendislik dalını ilgilendirmekle beraber mümkünse sayısal olmayanların da ağırlık vermesi gereken derslerdir.

### 4.1. Programlama ve Yazılım Ağırlıklı

Programlama ve yazılım ağırlıklı bölümlerin çıktısını daha çok bilgisayar ortamda gözlemleyebiliyoruz. Burada gerçekleşen bu dersler ana işlerin arka planını temsil etmektedir. Ana işlerin açığa çıkması için gerekli analitik zekanın işleve geçme yeridir.

#### 4.1.1. Programlama

Algoritma geliştirmek, kod yazmak muhtemelen en temel bilinmesi gereken özellikler arasına giriyor. Nasıl ki kişi okuma yazmayı öğreniyor, o şekilde artık ilkokuldan itibaren bunlara kişi hâkim olmalı. Hindistan bu konuda güzel bir örnek teşkil ediyor. Singapur, Kanada gibi ülkelerde okul öncesi zaten başlamış.

C++, Java ya da Python gibi bir programa ağırlık verilip herkesin ona hâkim olması gerekir.

#### 4.1.2. Veri Madenciliği

Endüstri 4.0'ı oluşturan ana etkenlerden biri "VERİ" olduğu için, bu verileri toplamak, işlemek her Endüstri 4.0'cının gözü kapalı bilmesi gereken özellikler arasına girmeli. Zaten Harvard Business Review'a göre 21.YY'ın en popüler meslekleri haline gelecektir.

#### 4.1.3. Network Uzmanlığı

Her cihaz, her platform kendi kendine has altyapısını kullanmaktadır. Ancak bütün cihazları birbiri ile iletişime geçirebilmek için ortak bir ağ yapısı şart. Dolayısıyla birçok platformun dilinden anlayan, onu diğer platformlara tercüme edebilen yani bu bağlantıları yapan uzmanlara ihtiyaç olacaktır.

Bugünlerde bu olayı buluta taşıyarak zaten çözmeye başladılar. Örneğin önceden bir muhasebe programı Windows üzerine çalışırken, aynı programı IOS, LINUX, Android ya da başka bir platformda çalıştırmak için tekrar programlamanız gerekiyor. Oysa şimdi web browser ile bağlanabileceğiniz bir muhasebe programı var, hangi platformdan bağlanırsanız bağlanın aynı bilgilere ulaşıyor, işinizi çözüyorsunuz.

#### 4.1.4. Kriptografi ve Siber Güvenlik

Her şey sanal ortamda ve internet üzerine olacağı için elbette bunun güvenliği de üst düzeyde olması gerekiyor. Artık kapalı kapılar arkasında, güvenli fiziksel korumalar değil, sanal ortamda korumalarınız, güvenliğiniz olması gerekir. Bilgi, eskisinden daha önemli hale geldiği için bunları çalmaya çalışan ya da sizin sisteminizi çökertmeye çalışan daha fazla saldırı olacaktır.

#### 4.1.5. Yapay Zekâ

Karar verici mecra olarak yapay zekâ kalitesi belki de cihazın kalitesini belirleyen en büyük etkenlerden bir tanesi olacak. Hangi algoritma yapısı nasıl daha iyi çözümler bulacak mühim bir mesela haline gelecek. O yüzden oluşturacağımız milli yazılımların zekâ yapısı en az doğru veriyi toplamak kadar önemli.

#### 4.1.6. Kullanıcı Ara Yüzü Tasarımı

Bütün ürünler artık dijital olacağı için muhakkak bir kontrol panelleri ya da o işlevi gören bir yapısı olmak zorundadır. Herkes mühendis olmadığı için her seviye insana göre ara yüzün oluşturulması gerekiyor. Hataları önleyen, minimum hareket yapısı ile amaca ulaşan ara yüzler ön plana çıkacaktır.

### 4.2. Tasarım ve Donanım Ağırlıklı

Tasarım ve donanım ağırlıklı bu bölümler de bilgisayar üzerinde yapılıyor ancak bunların çıktısı daha donanımsal oluyor. Bir şeyleri tasarlayabilmek için bir önceki başlıktaki analitik işlemler buradakilerin alt yapısını oluşturuyor. Burada ki sonuçlar ise artık gözle görülür, elle tutulur sonuçlar oluyorlar.

#### 4.2.1. Bilgisayar Destekli Tasarım

Her şeyi artık dijital ortamda ölçüp biçmeye başladığımız için, birçok simülasyon ve ön değerlendirmeler sanal ortamda yapılacak akabinde gerçekçi üretime o zaman geçeceğeyiz. Bu yüzden tüm ürünleri 3 boyutlu hale getirebilmemiz gerekiyor ki yazılımlarımızda faydalanalım.

Örneğin bir fabrikadaki çalışacak robotlar düzenlemeniz gerekiyor, robotlarınız 3 boyutlu olacak, mekânınız 3 boyutlu olacak, böylelikle hacimsel olarak da robotlarınızı yerleştirebiliyor olacaksınız. Robotunuz kaynak atacağı araç şasesi de 3 boyutlu olacak ki robotun kaynakta izlemesi gereken güzergâh belli olsun.

Ayrıca kişi bazlı üretim de revaçta olacak, yani kişi istediği bir telefon modelini bir bilgisayar destekli tasarım yapabilen kişiye yaptırabilecek, o da bu üretimi dijital ortamda oluşturup müşterin onayına sunabilecek, böylelikle üretim boşa gitmemiş, ağırlığından, tasarımına kadar her şey bilgisayar ortamında bitmiş olacak. Bu konu biraz da Endüstriyel Ürün Tasarımcısına giriyor.

#### 4.2.2. Bilgisayar Destekli Mühendislik

Mühendislik hesaplarını artık bilgisayarlara yaptırma zamanı geldi de geçiyor, bir köprünün, bir gökdelenin hesabını elle ya da excel ile yaptığımızı düşünebiliyor musunuz? Ancak tabii ki bunu kullananlar mühendis olması gerekir zira o alt yapı eğitimi almış olmaları lazım, hesaplarda bir anormalliği en iyi onlar değerlendirir.

#### 4.2.3. 3B Yazıcılar

Üç boyutlu yazıcıların çağı önümüzde. Aklınıza gelebilecek her ürünü bu yazıcılar üretebiliyor olacak. Döküm sektörün ortadan kalkacağını ön görenler var zira her türlü metal ürünü temiz, malzeme zafiyeti olmadan üretebiliyorlar. Deri üretebiliyorlar, kalıpcılıkta yapılması mümkün olmayan kompleks parçaları üretebiliyorlar. Her mahallede muhtemelen yer alacak bu yazıcılar, kişinin evde 3 boyutlu olarak çizmiş olduğu her şeyi o dükkândan temin edebilecekler.

#### 4.2.4. Sistem Tasarımı ve Analizi

Bir fabrikadaki üretim süreçleri tamamen değişecek. Yeni teknolojiler ile eskilerin yerini doldurma, sistemi daha verimli hale getirebilme beceresi hayati önem arz edecek. Bir işi 3 robot yerine 2 robot ile yapabilmek, bunların kendi aralarındaki uyumu ve bütün süreçlerin analizi eskisinden çok daha fazla aranır olacak.

#### 4.2.5. PLM Yazılımları

Product Lifecycle Management (PLM), bir ürünün tasarım aşamasından başlayıp üretildikten sonra bakım dâhil bütün servis işlemlerini içine alan yaşam döngüsü yönetimidir. Aslında bütün süreçleri içinde barındıran, bunların analizini ve takibini yapabildiğiniz yazılımlar. Bu konuda daha fazla emek sarf etmek gerekir.

### 4.3. Marka Değeri ve Pazarlama

Ürünleri üretmek yeterli değil. Müşteri gözünde bir değer taşıması için marka algısını kuvvetlendirmeli ve pazarlama adına tüm yeni yaklaşımlara hâkim olunması gerekir. Bu hem tasarım, ürün ortaya çıkarma aşamasında önemli hem de yapılan yatırımın sürekliliği açısından önemli. Bu yetilere sahip insanların girişimci çıkarmasını da arzu edilen durumlardan biridir. O yüzden bir yandan teknik eğitimler verilirken marka değeri eğitimleri de çok önemli.

## 5. ALTERNATİF EĞİTİM YAPISI: AKADEMİ ENDÜSTRİ 4.0

Ülkemizdeki işsizlik sayısına baktığımızda yüksek okul mezunların yüksek bir oran teşkil ettiğini görebiliyoruz. Endüstri 4.0'a geçiş döneminde en önemli etken insanların kafa yapısının değişip, uyum sağlama sürecini başarılı atlamaları. Genç insanlar bu esnekliğe daha hâkimler, yaşlı insanlar kolay kolay yeni şeyler öğrenemeyip eski alışkanlıklarından da vazgeçmek istemiyorlar.

Türkiye 29 yaş ortalaması ile bu geçişi yapabilecek en iyi yaşlardan birine hâkim, hem mevcut alt yapısı ve tecrübesini değerlendirebilecek hem de yeni şeyler öğrenerek bunu eskileri ile adapte edebilecek.

Buna göre ivedi bir şekilde alternatif bir akademi kurulması gerekiyor. Burada bahsedilen dersleri ayrıntılı bir şekilde eğiten, bunların uygulanabileceği laboratuvarların olduğu bir ortam ile hemen öğrendiklerini yaşayabilecekleri, tecrübe edecekleri bir yapı.

Başta mezun tüm mühendis dalları hedeflemekle beraber kendini hazır hisseden herkesi bu akademi de eğitim görme fırsatı olması gerekiyor.

### 5.1. Akademi Endüstri 4.0 Yapısı

Yeni meslek kollarına göz önünde bulundurarak burada bahsedilen ders konularını yaşayarak öğreten bir akademi kurulması gerekir. Uzaktan eğitim yapısına el veren bu akademiye giriş sınavlarını geçen herkes kayıt olabilmeli. Giriş sınavı bazı özellikleri istemeli ama ALES tarzı değil, bu işe ilgi gösteren kişileri hedeflemeli. Başvuru yapan ilk 50 veya 100 kişi dersliklerde eğitim görmeli, diğer geri kalanlar internet vasıtasıyla dersi takip edebilmeli. Belli dönemlerde sınavlara girip kişi buradan mezun olabilmeli.

Lisansa sahip kişilere buradan mezuniyeti ile beraber yüksek lisans unvanı ile onura edilmeli, diğer kalanlara da güzel bir sertifika verilmeli. Herkesin alamayacağı, TOEFL tarzı ciddiyeti olan bir sertifika olmalı ki öğrenciler kuruma önem versin ve herkesin gözünde değer kazansın.

Bu akademiye tüm yeniçağın aletleri yer almalı, dersin yanında uygulamasını da yapıp eğitim verilmeli.

### 5.2. Akademi Endüstri 4.0 Hazırlık Sınıfı

Kendisini Endüstri 4.0 üzerine yetiştirmek isteyen ancak bu akademinin giriş sınavını geçemeyenlere yönelik bir hazırlık kampı. Maksat, Coğrafyacı bile olsa, lise terk bile olsa bu eğitime hevesli kişilere bir şans tanımak. O yüzden o sınavı geçecek alt yapıyı da vermeme gerekiyor.

### 5.3. Akademi Endüstri 4.0 Mezunların Avantajları

Eğer ki TOEFL gibi ciddiyeti olan bir kurum haline getirebilirsek, bu sertifikaya sahip olanlar devlette ek kadro ya da öncelikli kadro hakkı kazanabilirler. Ancak bunlara hâkim olan kişiler zaten ya kendi iş yerlerini kurmak isteyecektir ya da iyi maaşlar ile serbest piyasada çalışacaklardır.

Devlet ile iş birliği içine girmeli ve bir yol haritası oluşturulması gerekir. Nasıl ki mühendis odaların eğitim yetkisi varsa bu konuda devletin çeşitli kurumları ile iş birliği yapıp sonuç odaklı nitelikli eğitimler düzenlenmeli.

## 6. SONUÇ

Sonuç olarak, mevcut eğitim sisteminin yenilenmesi ve adaptasyon sürecini beklemek yerine, daha hızlı hareket edilebilecek bir alternatif oluşturulması gerekir. Zaten yapılan projeksiyonlarda Endüstri 4.0 ile ilgili kişilerin tek bir konuda derinlemesine uzmanlaştığı öngörülmektedir. Onun yerine yeni çıkan teknolojilere daha kolay adapte olan ve bunları hemen kullanabilen nesiller istenmektedir. Böyle mevcut eğitim sisteminin derinlemesine giden uzmanlık alanı da bozulmamış olunur.

- Endüstri 4.0'ın tanımı yapılmıştır. Ana unsurlar değinilmiş, dijitalleşme süreci adımlştırılmıştır.
- Yeni iş kollarını tanımlayarak gelecekteki iş dünyasına bir vizyon verilmiştir. Yeni işler artık dijital, kendi kendine olan işler olduğunu görmekteyiz.
- Kariyer hedefini Endüstri 4.0'a yoğunlaştıran kişilerin temel olarak hangi dersleri bilmesi gerekiyor bunlar betimlenmiştir. Böylece yeni iş kolları için kendilerini yetiştirmiş olurlar.
- Tüm bu süreçleri birleştirip, daha hızlı hareket edebilmek için alternatif bir eğitim sistemi önerilmiştir.

Ülkemizin refah durumu açısından, gelişmiş ülkeler arasında olup rekabet edebilmemiz için bu yeni sisteme adapte olması gerekir. Hem nitelikli iş gücünü kuvvetlendirerek işsizlik oranı düşer hem de nihai olarak yeni bir endüstri devrimini yakalamış oluruz.

Bu treni kaçırmamak için tüm güçlerimizi birleştirmeliyiz.

### KAYNAKLAR

[1] Knud Lasse Lueth, CEO IoT Analytics. Fünf neue Zukunfts-Berufe durch Industrie4.0  
<https://digitales-wirtschaftswunder.de/fuenf-neue-zukunfts-berufe-durch-industrie-4-0/>

[2] Reinhard Geissbauer, Jesper Vedsø, and Stefan Schrauf. A Strategist's Guide to Industry 4.0  
<https://www.strategy-business.com/article/A-Strategists-Guide-to-Industry-4.0?gko=7c4cf>

[3] Marc Ingo Wolter, Anke Mönnig, Markus Hummel, Christian Schneemann, Enzo Weber, Gerd Zika, Robert Helmrich, Tobias Maier, Caroline Neuber-Pohl. Industry 4.0 and the consequences for labour market and economy. ISSN 2195-2655

[4] Roland Berger. Mastering the Transformation Journey April 2016

[5] Industry 4.0 – Opportunities and Challenge of the Industrial Internet.  
[www.pwc.de/industry4.0](http://www.pwc.de/industry4.0)

[6] The new High-Tech Strategy. Innovations for Germany 2014

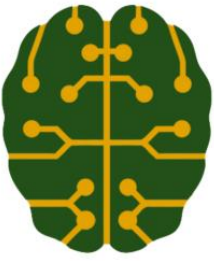
<https://www.hightech-strategie.de/de/The-new-High-Tech-Strategy-390.php>

[7] Claus W. Gerberich. Gerberich Consulting. Industrie 4.0

[8] Daniel Hüfner. 5 Berufe mit Zukunft: Nach diesen Fachkräften sucht die Hightech-Branche.  
<http://t3n.de/news/industrie-4-0-jobs-berufe-733126/>

[9] Ahmet Vecdi CAN, Merve KIYMAZ. Bilişim Teknolojilerinin Perakende Mağazacılık Sektörüne Yansımaları: Muhasebe Departmanlarında Endüstri 4.0 ISSN 1305 – 7774





# Arduino ile Tek Fazlı AC Kıyıcı Devresi Tasarımı ve Uygulaması

Recai ÖZCAN<sup>1</sup>, Ahmet TOPRAK<sup>2</sup>, Ayşegül TOPRAK<sup>3</sup>

Selçuk University, Konya, Turkey

<sup>(1)</sup> [recaiozcan@selcuk.edu.tr](mailto:recaiozcan@selcuk.edu.tr), <sup>(2)</sup> [atoprak@selcuk.edu.tr](mailto:atoprak@selcuk.edu.tr), <sup>(3)</sup> [aytoprak@selcuk.edu.tr](mailto:aytoprak@selcuk.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada, elektrik bölümü öğrencileri için güç elektroniği laboratuvarında kullanılmak amacıyla tek fazlı AC kıyıcı devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Maliyeti düşük tutmak için bileşenlerin çoğu projenin fizibilitesine ve yerel mağazaların bulunabilirliğine dayanılarak seçilmiştir. Kontrol algoritması Arduino platformu kullanılarak geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelime:** AC Kıyıcı, Arduino, Transistör, Triyak, MATLAB/Simulink

## Design and Implementation of The One Phase AC Chopper Circuit with Arduino

### 1. GİRİŞ

Güç elektroniği, herhangi bir kaynaktan alınan elektrik enerjisinin, elektronik yöntemlerle kontrol edilerek (dönüştürülerek veya işlenerek) kontrollü olarak yüke aktarılması işlemidir [1]. Son yıllarda, bilim ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte güç elektroniği teknolojisi de hızla gelişmektedir. IGBT, MOSFET, SCR ve TRIYAK gibi güç elektroniği aygıtları anahtarlama elemanı olarak kullanılmaktadır [2].

Elektrik enerji şekillerini birbirine dönüştüren elektronik devrelere dönüştürücü denir [3]. Dört temel dönüştürücü devresi vardır. Bunlar; AC-DC dönüştürücü, AC-AC dönüştürücü, DC-DC dönüştürücü ve DC-AC dönüştürücüdür. Bu devre yapıları, alternatif akım veya doğru akım türündeki elektrik enerjisinin birbirlerine veya kendi içlerinde farklı şekillere ve seviyelere dönüştürülmesi işlemini gerçekleştirmektedir [1].

AC-AC dönüştürücüler, sabit genlikli ve sabit frekanslı bir alternatif giriş geriliminden istenilen frekans ve genlikte bir çıkış dalga şekli elde edilmesini sağlar. Frekansı sabit tutularak genliğini değiştiren dönüştürücü

devresine ise AC kıyıcı denir. AC kıyıcıda, AC gerilimin her iki yarım periyodu belli açılarda kesilerek çıkış geriliminin efektif değeri değiştirilir, böylece istenilen değerde AC gerilim elde edilmiş olur. Kıyıcı devreleri tek veya üç fazlı olarak gerçekleştirilebilir. Endüstride yaygın olarak indüksiyon ısıtma, ışık dimmerinde, motor hız kontrolünde ve motorlara yol vermede yaygın olarak kullanılmaktadır [4][5].

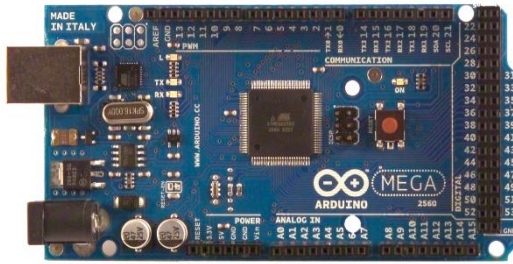
Bu çalışmada endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan AC kıyıcı devresi Triyak ve arduino mega 2560 denetleyicisi kullanarak gerçekleştirilmiştir.

### 2. KULLANILAN DONANIM BİRİMLERİ

Gerçekleştirilen sistemde temel donanım birimleri olarak 1 adet mikrodenetleyici (Arduino mega 2560), sıfır geçiş detektör devresi için 1 adet H11AA1 Optokuplör entegresi ve 1 adet MOC3020 triyak sürücü entegresi kullanılmıştır. Bu bölümde, gerçekleştirilen çalışmada kullanılan donanım hakkında bilgiler verilmiştir.

### A. Denetleyici

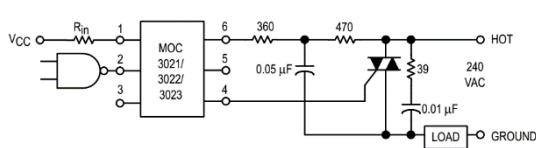
Devrede mikrodenetleyici olarak Arduino Mega 2560 kullanılmıştır. Arduino Mega 2560 54 dijital giriş/çıkış pini, 16 analog giriş, 4 UART, 16 MHz kristal osilatör, USB bağlantısı, güç girişi, ICSP ve bir reset butonu barındırır. Çalışma gerilimi 5 volt olup USB bağlantısı, batarya ya da adaptör ile beslenebilir. Şekil 1'de Arduino mega 2560 kartı görülmektedir [6].



Şekil 1 Arduino Mega 2560

### B. Triyak Sürme Devresi

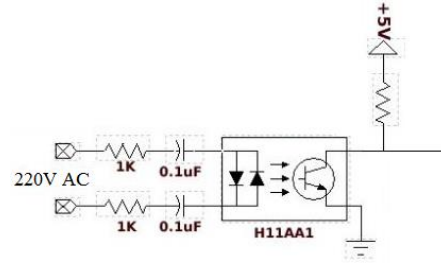
Çalışmamızda anahtarlama elemanı olarak Philips Semiconductors firması tarafından üretilen 500V-16A'lık BT139 serisi Triyak kullanılmıştır. Triyakyı tetiklemek için Arduino çıkış portlarını doğrudan kullanamayız. Çünkü arduino'nun sorunsuz çalışabilmesi için fiziksel olarak yüksek gerilimden yalıtılması gerekmektedir. Şekil 2'de görülen MOC3021 Optokuplör bu yalıtımı yapmak için kullanılmıştır.



Şekil 2 Optokuplör ile triyak'ın tetiklenmesi [7].

### C. Sıfır Geçiş Detektör Devresi

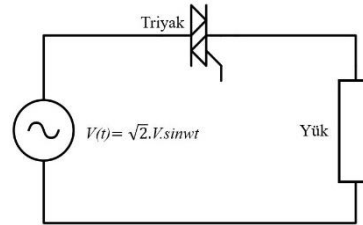
Sıfır geçiş devresi, AC yük geriliminin sıfır noktasında çalışmaya başlayan elektrik devresidir. Sıfır geçiş detektörü sinüzoidal bir kaynağın her iki polaritesi için sıfır geçiş anlarında çıkış pulse sağlar. Temel sıfır geçiş detektör devresi Şekil 3'de görülmektedir [8].



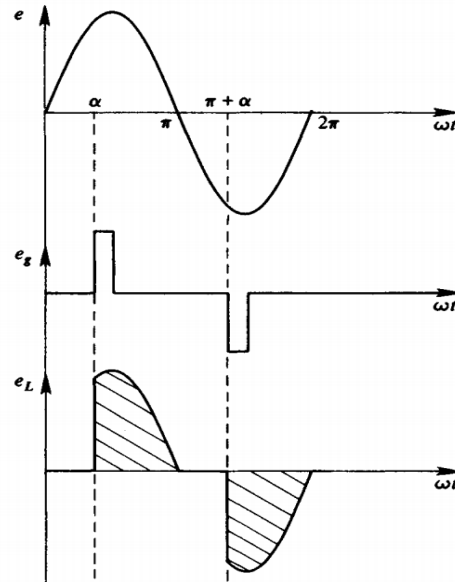
Şekil 3 Sıfır Geçiş Detektör Devresi

### D. AC Kıyıcı

AC kıyıcı, frekansı değiştirmeden AC enerjiyi AC enerjiye çeviren statik bir dönüştürücüdür. Şekil 4'de Triyak'lı temel AC kıyıcı devresi, Şekil 5'de ise AC kıyıcı devresi çıkış gerilimi dalga şekilleri görülmektedir [9].



Şekil 4 Tek fazlı AC kıyıcı temel devresi



Şekil 5  $\alpha = 60$  için çıkış gerilimi [10].

Tetikleme açısı  $\alpha = 0$  'de yük gerilimi sinüzoidaldir ve bu yüzden yüksek harmonik

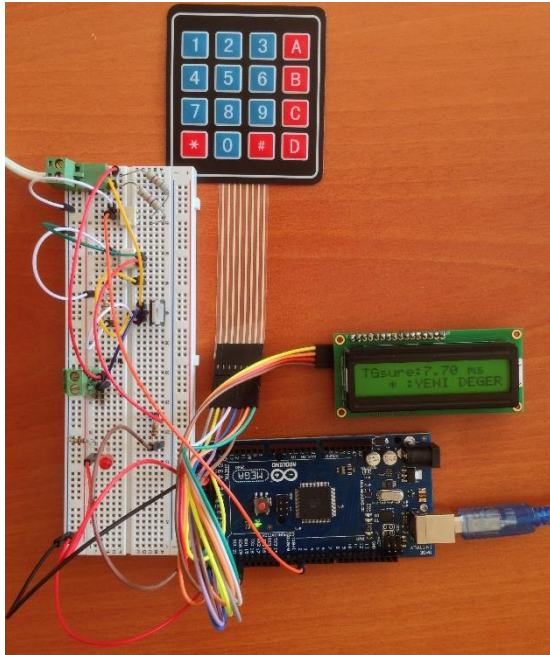
bileşenler içermez.  $\alpha = 90$  'de ise üçüncü harmonik bileşen temel bileşen değerinin yaklaşık yarısı kadardır [10].

Çıkış gerilimi denklem 1 ile hesaplanabilir.

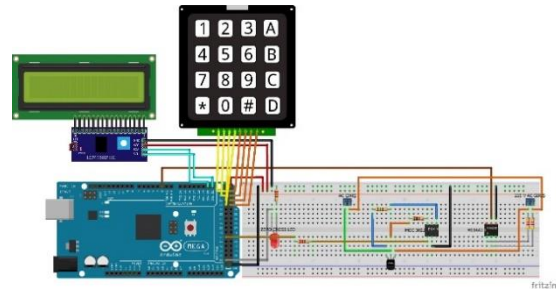
$$V = V_{eff} \sqrt{\frac{1}{2\pi}(2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)} \quad (1)$$

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, tek fazlı AC kıyıcı devresi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Kıyıcıda, yarıiletken anahtar olarak 500 V, 16 A değerlerine sahip BT139 serisi Triyak kullanılarak daha yüksek güçlerde çalışabilecek bir devre gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kıyıcı devresinin üstten görünüş resmi Şekil 6.a'da ve devre şeması da Şekil 6.b'de verilmiştir. Kıyıcı ile etkin değeri 220V/50Hz olan şebeke gerilimi, frekansı sabit tutularak, etkin değeri 0-220V arası değerlerde çıkış alınabilmektedir.



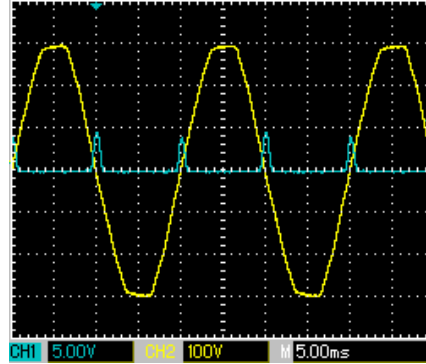
(a)



(b)

Şekil 6 Gerçekleştirilen Kıyıcı Devresinin  
a) Resmi ve b) Devre Şeması

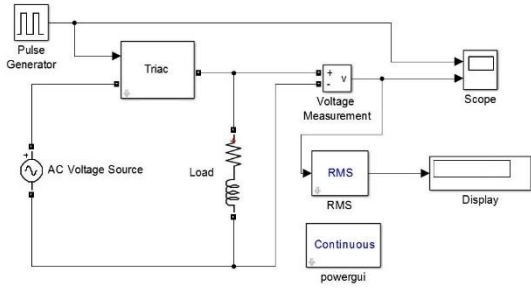
Gerçekleştirilen sistemde tuş takımından girilen değer arduino mikrodeneleyicisi tarafından işlenerek tetikleme açısı hesaplanır ve triyacı iletime geçirecek tetikleme sinyalleri üretilir. Üretilen tetikleme sinyalinin açısı şebekenin sıfır geçiş anı baz alınarak hesaplanır. Sıfır geçiş detektör devresi çıkış sinyali ve şebeke sinyali Şekil 7'de görülmektedir. Ölçüm için UNI-T UTD 2025C 25 MHz Dijital Osiloskop kullanılmıştır.



Şekil 7 Sıfır Geçiş Detektör Devresi Çıkış Sinyali ve Şebeke Gerilimi

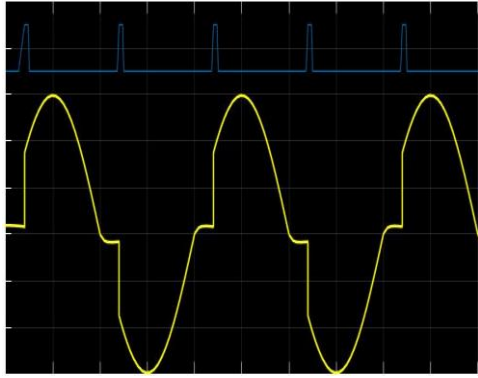
### 4. SİMÜLASYON VE DENEYSEL SONUÇLAR

AC kıyıcı devresinin MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan modeli Şekil 8'de görülmektedir. Yapılan simülasyon ve deneysel çalışmalar sonucunda yük geriliminin değişimi hem simülasyon modelinden hem de deneysel sistem üzerinden osiloskop görüntüsü olarak elde edilmiştir.

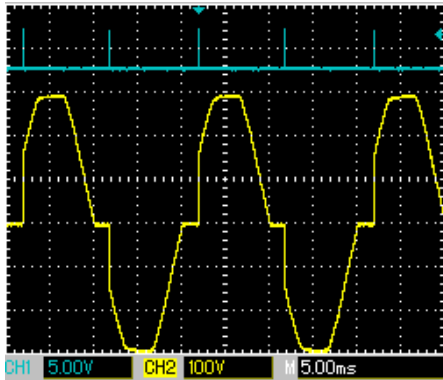


**Şekil 8** AC Kıyıcının MATLAB/Simulink Modeli

Şekil 9'de 100 W'lık ohmik yükte, tetikleme açısı 2 ms için triyak tetikleme sinyali ve çıkış gerilim değeri simülasyon sonucu ve deneysel çıkış gerilim değeri görülmektedir. Simülasyon sonucu etkin değeri 214 V, osilaskop true rms değeri ise 215 V göstermektedir.



(a)



(b)

**Şekil 9** Tetikleme Açısı 2 ms için Triyak Tetikleme Sinyali ve Yük Gerilimi a) Simülasyon ve b) Deneysel Sonuç

Şekil 10'da yine 100 W'lık ohmik yük kullanılmış fakat tetikleme açısı 4 ms için triyak tetikleme sinyali ve çıkış gerilim değeri simülasyon sonucu ve deneysel çıkış gerilim

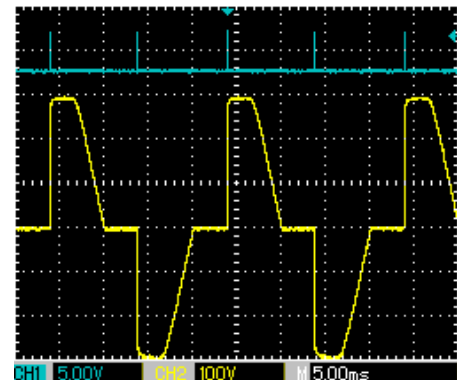
değeri görülmektedir. Simülasyon sonucu etkin değeri 182.9 V, osilaskop true rms değeri ise 185 V göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR

Arduino mikrodenetleyici ile kontrol edilen AC kıyıcı devresi MATLAB/Simulink kullanılarak modellenmiştir. Tetikleme açıları tuş takımından girilerek istenilen sürelerde tetiklenen triyak ile 50 Hz sabit frekanslı değişken genlikli bir AC çıkış elde edilmiştir. Deneysel sistemden ve simulink modelden elde edilen dalga şekillerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Fakat deneysel sistemden ve simulink modelden ölçülen gerilim değeri arasındaki oluşan fark harmoniklerden kaynaklanmaktadır. Bir sonraki çalışmamızda harmonikleri de dikkate alarak çıkış açıları hesaplanacak ve PID kontrol uygulanarak daha kararlı bir devre oluşturulacaktır.



(a)

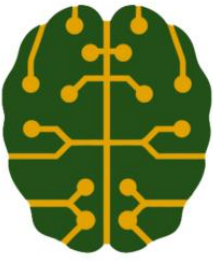


(b)

**Şekil 10** Tetikleme Açısı 4 ms için Triyak Tetikleme Sinyali ve Yük Gerilimi a) Simülasyon ve b) Deneysel Sonuç

**KAYNAKLAR**

- [1] M. Necdet Yıldız, “Güç Elektroniği Ders Notları.”
- [2] S. Monika, V. Pote, and A. A. Bhalerao, “MATLAB Simulation on Chopper Based Speed Control of DC Motor: A Review,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 719–721, 2017.
- [3] H. Bodur, “Güç Elektroniği, 2. Baskı.” Birsen Yayınevi, 2012.
- [4] O. B. Karagül, D. Başol, and İ. Yücedağ, “Güç Elektroniği Dönüştürücü Modelleri Eğitim Modülü,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 3, pp. 79–87, 2014.
- [5] M. Balasubramonian and S. Dharani, “Design and Implementation of SHE PWM in a Single Phase AC Chopper Using Generalized Hopfield Neural Network,” vol. 3, no. 1, pp. 799–808, 2014.
- [6] M. A. Şimşek and K. Taşdelen, “Arduino İle Tasarlanmış Sistemlerin İnternet Tabanlı Kontrolü ve İzlenmesi,” *SDU Int. J. Technol. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 20–33, 2016.
- [7] Motorola, “Motorola Semiconductor Technical Data.”
- [8] P. N. Tekwani, K. Macwan, and Patel V. M., “A Novel Approach for Three-Phase V/f Induction Motor Drives Employing DC-Link Modulation and AC Chopper,” *IJTE Spec. issue ICRASET 2017*, pp. 125–131, 2017.
- [9] P. S. Kumar, B. Mahendar, and M. Shruthi, “Design and Implementation of AC Chopper,” *Int. J. Emerg. Eng. Res. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 36–41, 2014.
- [10] W. Shepherd, L. N. Hulley, and D. T. W. Liang, *Power Electronics and Motor Control*, Second Edition. 2004.



## Sylow Teoreminin Alterne Gruplar Üzerindeki Etkisi

Mushab Bedirhan ANDIZ<sup>1</sup>

Mathematics Research Center, Ankara

<sup>[1]</sup>[bedirhanandiz94@gmail.com](mailto:bedirhanandiz94@gmail.com)

**Özet:** Bu çalışmada Grup Teoride önemli rol oynayan Sylow Teoremlerinin  $p$  mertebeli alt gruplara uygulamalarını ve Permütasyon gruplarında uygulamalarını araştırdık. Çekirdek kavramını Sylow Teoremi ile zenginleştirip, Alterne grupların temel alt grupları üzerinde çalışmalar yaptık. Özellikle Sylow Teoremlerinin Permütasyon Gruplarına etkisi üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelime:** Sylow Teoremi, Alterne Grup

## Practical Consequences of Sylow Theorems with Alterne Groups

**Abstract:** The earliest study of groups seems to have taken place in parallel threads around the world. It has been suggested that the convergence of all these developments into what formed a more uniform theory took place in 1870 and was the result of a book produced by C. Jordan called, *Traité des substitutions et des équations algébriques*. The following paper explores the theorems produced by Peter Sylow, a Norwegian mathematician, whose discoveries were too late to be included in the publication by Jordan. Sylow had proved his theorems as early as 1870, but he withheld them from publication for at least two years until Jordan, assured Sylow that the theorems were both new and signi can't. In 1872, Sylow published a 10-page paper presenting the theorems that now bear his name. The Sylow Theorems form a fundamental part of nite group theory and have very important applications in the classi cation of nite simple groups.

Two key mathematicians play a role in this paper alongside Sylow, as a result of their in uence on Sylow's development of his theory. The rst being Lagrange, whose Theorem states that the order of a subgroup must always divide the order of the group itself. The corollary to Lagrange's Theorem does not in fact hold true for all groups. That is there may not exist a subgroup whose order is a divisor of the main groups order. The simplest example of this is the Alternative Group,  $A_4$ , of order 12, which has no subgroup of order 6. The Sylow's Theorems provide a partial converse to this problem. Cauchy proved that for every prime  $p$  that divides the order of a infinite, abelian group, there is an element of order  $p$  that exists in the group. Cauchy's Theorem was a direct inspiration for the theorems which Sylow developed, which were later shown to hold true for any finite group. Sylow's original proof operated within a subgroup of the symmetric group, just as Cauchy's had.

**Keywords:** Sylow Theorems, Alterne Group

### GİRİŞ

Bu çalışmada Grup Teoride önemli rol oynayan Sylow Teoremlerinin  $p$  mertebeli alt gruplara uygulamalarını ve Permütasyon gruplarında uygulamalarını araştırdık. Çekirdek kavramını Sylow Teoremi ile zenginleştirip, Alterne grupların temel alt grupları üzerinde çalışmalar yaptık. Özellikle Sylow Teoremlerinin Permütasyon Gruplarına etkisi üzerinde durulmuştur.

**Sonuç 1:**  $n_p = 1$  olabilmesi için gerek ve yeter koşul  $G$ 'nin ilgili Sylow  $p$  -alt grubunun normal olmasıdır.

**Kanıt:**  $H$ ,  $G$  grubunun bir Sylow -  $p$  alt grubu olsun. Burada  $n_p = 1$   $G$ 'nin içindeki eşlenik sayısı olarak karşımıza çıkacaktır.

$n_p = 1$  ise bu durumda eşlenik  $xHx^{-1} = H$ ,  $\forall x \in G$  biçiminde olacaktır. Sağdan  $x$  ile çarparsak,

$xH = Hx, \forall x \in G$  olacaktır. Bu durumun varlığı ise  $H < G$  olmasının kendisidir.

**Sonuç 2:** G'nin tüm Sylow p-alt grupları G grubu içinde normal ise bu şu anlama gelecektir;  $|G|$ 'nin her asal böleninin  $n_p = 1$  şartına uygunluğudur. Dolayısıyla G grubu normal Sylow p-alt gruplarının direkt çarpımı biçiminde yazılacaktır.

**Kanıt:** Birbirinden farklı p ve q asalları için  $|G| = p^a q^b$  olduğunu ve buradaki  $a, b \in \mathbb{N}$  olduğunu unutmamalıyız. Ayrıca,  $n_p = 1 = n_q$  olsun. Bu durumda G grubunun normal bir Sylow - p alt grubunun olduğunu biliyoruz. Bu alt gruplara sırasıyla P ve Q olsun. Langrange Teoremine göre,

$$|P \cap G| |P^a| = |P| \text{ ve } |P \cap Q| |Q^b| = |Q|$$

olduğundan ve  $P, Q < G$  olduğundan  $|P \cap G| = 1$  elde ederiz. Bu durumda P ve Q'nun bir direkt çarpım olduğu görülmüş olur. Ayrıca P ile Q çarpımının mertebesi G'nin mertebesine eşit olacaktır. Yani;

$$|PQ| = |P||Q| = p^a q^b = |G|$$

Bu tür gruplara **nilpotent** gruplar denir. Bu tür gruplar için iki önerme verelim.

**Önerme - 1:** G bir grup olsun ve  $A \subset G$  için  $N_G(A) \leq G$  olup (burada  $N_G(A)$  ifadesinin G grubunun normalleyicisi olduğunu unutmamalıyız) eşleniklerinin sayısı  $|G: N_G(A)|$ 'dir.

**Not:** Burada G grubunun normalleyicisi  $N_G(A) = \{g \in G: gA = Ag\}$  biçiminde gösterilir. Bu noktada bir önerme ile devam edebiliriz.

**Önerme - 2:** G grubu için eğer P gibi bir Sylow p-alt grubu için  $n_p = |G: N_G(P)|$  her zaman doğrudur. Önermelerin sonuçlarını birleştirebilirsek bir G grubu için,  $n_p |s|$  olur.

**İspat:**  $n_p$  ile gösterdiğimiz G'nin P ile ifade ettiğimiz Sylow p-alt gruplarının eşlenik sayısı olduğunu biliyoruz. O halde,  $n_p = |G: N_G(P)|$  olduğundan,  $n_p |p^a s|$  elde edilir. Dikkat edilmesi gereken ise  $n_p \equiv 1 \pmod p$  olmasından dolayı,  $n_p |s|$  durumunu gerekli kılacaktır.

Bu duruma birkaç örnek verebiliriz. Özellikle grubun mertebesi ile ilgili olarak verilen bir grubun Sylow p- altgruplarının nasıl araştırıldığını görelim.

**Örnek:** Mertebesi 245 olan bir grubun abelyan olduğunu gösterelim. Grubun mertebesinin asal çarpanlar biçiminde yazalım. Bu durumda grubun abelyan olduğunu gösterebiliriz.

$|G| = 7^2 5$  Biçiminde olacaktır. Dikkat ederseniz asal bölenlerinden G'nin mertebesi 49 olan H gibi normal bir sylow 7- altgrubu olduğunu görürüz. Ayrıca aynı biçimde G'nin mertebesi 5 olan Q gibi bir normal Sylow - 5 alt grubu olduğunu da bilebiliriz. Şimdi bu grupların H ve Q'nun direkt çarpımlarının G'ye izomorf olduğunu yazarsak,

$G \cong H \times Q$  olduğunu kolaylıkla anlayabiliriz. H ve Q grubunun mertebelerinden abelyan oldukları bundan dolayı direkt çarpım olan grubun da abelyan olduğu açıktır.

## 2p Mertebeli Gruplar İçin Bir Uygulama

p bir tek asal sayı olmak üzere  $|G| = 2p$  olsun. Sylow teoremlerini sırasıyla 2 ve p sayılarına uygulayıp birkaç sonuç çıkaralım. Bu durumda Sylow p -alt gruplarının sayısı olacak olan  $n_p$  değeri  $2p$ 'yi bölecektir. Dolayısıyla  $n_p$  değeri 1, 2, n,  $2p$  sayılarından birine eşit olmalıdır. Yukarıda belirttiğimiz  $|P| = p$  olduğundan grup devirli bir grup olacaktır. Dolayısıyla G grubunun en az bir tane Sylow - 2 alt grubunun olduğu açıktır. Dolayısıyla  $y \in G$  için  $|y| = 2$  olacaktır. Bu durumda grubun elemanları,  $\{1, x, \dots, x^{p-1}, y, yx, \dots, yx^{p-1}\}$  kümesi ile tanımlanacaktır. Elemanı bu şekilde olan gruplar ise **Dihedral Gruplar** olarak adlandırılır. Bu durumda  $p = 2$  seçilirse mertebesi 4 olan bir grup olur. Yani,  $G \cong \mathbb{Z}_4$  olacaktır.

$G \cong \mathbb{Z}_4$  ise  $\mathbb{Z}_4$  grubunun direkt çarpımı olarak  $\mathbb{Z}_4 \cong \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$  yazılabilir. Dolayısıyla  $G \cong \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$  olur. Bu noktada Dihedral grup için,  $D_p = \langle x, y: x^p = 1 = y^2, yx = xy^{-1} \rangle$  ile tanımlanacaktır.

### Sylow Teoreminin Pratik Sonuçları

Bu noktada kavramları iyi anlamak için kullanacağımız grup temsillerini verelim.

- $|G| = p^a m$  biçiminde gösterdiğimiz grubun mertebesinin asal çarpanlara ayrılmış biçimidir.
- $Syl_p(G)$  ile ifade ettiğimiz ise G grubunun Sylow p-alt gruplarının kümesi
- $N_p$  ise G grubunun Sylow P-alt gruplarının sayısıdır.

**Sonuç - 3:**  $N_p$  ifade eğer  $|G|/P^a$  ifadesine tam olarak bölünürse, bu durumda  $N_p$ 'nin modüle formuna girer daha açık bir ifade ile  $N_p \equiv 1 \pmod{p}$  olur.

**Kanıt:** Herhangi bir  $P = Syl_p(G)$  alalım. Bu durumda  $n_p = |G: N_G(P)|$  olmalıdır. Bu indeks sayısı ise  $|G|/|N_G(P)|$  ile ilişki olmalıdır. Şayet  $N_G(P)$  P'yi içeriyor ise mertebesi  $p^a$  olan elemanı da içerir.

**Sonuç - 4:**  $Syl_p(G) = 1$  ise bu durumda  $Syl_p(G) \triangleleft G$  olur.

**Kanıt:**  $N_p(G) = 1$  bu durumda P ile gösterdiğimiz G'nin Sylow p-alt gruplarının kümesinde  $gPg^{-1}$  ile belirtilen konjugasyon sınıfı da vardır.

$$N_p(G) = 1 \Leftrightarrow gPg^{-1} \in P, N_p(G) = 1 \Leftrightarrow gPg^{-1} = P \text{ olur.}$$

**Sonuç- 5:** G bir abelyan grup olsun. Abelyan grupların herhangi bir alt grubu normal bir alt gruptur. Dolayısıyla abelyan gruplarda en az bir tane  $Syl_p(G)$  vardır.

**Sonuç- 6:** Bir G grubunun merkezi  $Z(G)$  ile gösterilsin. Şayet  $|G| = p^a$  ise  $Z(G) > 1$  olur. Bundan dolayı  $Z(G) \triangleleft G$  olur.

**Sonuç- 7:**  $|G| = p$  ise, burada p'nin asal olduğunu biliyoruz, G grubu devirli bir gruptur.

**Sonuç -8:**  $|G| = p^2$  ise bu grup abelyan bir gruptur.

**Sonuç-9:** Aynı asal mertebeye sahip olan ayrık iki grubun kesişimleri  $\{1\}$ 'dir.

**Kanıt:**  $|P_1| = |P_2| = p$  olsun burada  $P_1, P_2 \in Syl_p(G)$ .  $P_1 \cap P_2$  G grubunun bir alt grubu olduğundan  $|P_1 \cap P_2| = 1$  ya da  $|P_1 \cap P_2| = p$  olmalıdır. Bu gruplar ayrık gruplar olduğundan  $|P_1 \cap P_2| = 1$  olmalıdır.

### Sylow Teoreminin Permütasyon Gruplarına Etkisi

Langrange Teoremine göre alt grubun mertebesi grubun mertebesini böleceğini biliyoruz. Bu teoremin tersi ise doğru olmayabilir.  $A_n$  ile gösterilen Alterne grubun mertebesi yani  $|A_n| = \frac{n!}{2}$  biçimindeydi.

**İddia:**  $A_4$  grubunun mertebesi 6 olan alt grubu yoktur.

**Kanıt:**  $|A_4| = 12$  olduğunu biliyoruz. G grubunun H içindeki indeksini bulalım. Bu durumda  $|G:H| = 2$  olacaktır. Şayet bu grubun indeksi 2 ise  $a \in A_4$  için  $a^2 \in H$ ,  $a \in H$  olur. Eğer a'nın 3-lü bir döngüye sahip elemanları var ise mertebesi 3 olan bir grubu var olacaktır. Fakat  $a = a^4 =$



$(a^2)^2$  olduğundan bu bir çelişki yaratacaktır.  $A_4$  grubu içinde 3-lü döngüye sahip 8 tane eleman vardır.

Peki  $A_4$  grubunun kaç tane Sylow  $p$ -alt grubu vardır. Bunu araştıralım. İlk olarak  $A_4$  grubunun mertebesini asal çarpanlar biçiminde ayıralım.  $A_4 = 12 = 2^2 \cdot 3$ . Buradan hemen anlayacağımız durum grubun  $Syl_2(A_4)$  ve  $Syl_3(A_4)$  alt gruplarının olduğudur. İlk olarak  $Syl_3(A_4)$  inceleyelim.

$|Syl_3(A_4)| = 3$  olduğundan yukarıda da belirttiğimiz gibi  $A_4$  grubunda 3-lü devire sahip 8 eleman olacaktır. Bunları kolay bir şekilde yazabiliriz.

- 1-)  $\{(1), (123), (132)\}$
- 2-)  $\{(1), (124), (142)\}$
- 3-)  $\{(1), (134), (143)\}$
- 4-)  $\{(1), (234), (243)\}$

biçiminde olacaktır.  $A_4$  grubu için de devirli  $Syl_3(A_4)$  ise  $\langle (123) \rangle, \langle (124) \rangle, \langle (134) \rangle, \langle (234) \rangle$  şeklinde yukarıdaki tek biçim şeklinde olacaktır.

Grubun diğer bir Sylow alt grubu ise  $Syl_2(A_4)$  idi. Bu  $p$ -alt grubu incelersek,  $|Syl_2(A_4)| = 4 = 2^2$  biçiminde olduğunu görürüz. Bu noktada grup  $p^2$  biçiminde olduğu için  $Syl_2(A_4) \triangleleft A_4$  olacaktır.  $Syl_2(A_4)$  alt grubu ise,  $\{(1), (12)(34), (13)(24), (14)(23)\}$  şeklinde bulunur. Bu grup  $A_4$  grubunun "Klein grubudur" şeklinde ifade edilecektir.

**Örnek:**  $G$  bir grup olsun ve  $|G| = 12$  alalım.  $G$  grubunun  $Syl_3(G)$  alt grubu normal alt grup ise bu grup  $A_4$ 'na izomorftur.

**Kanıt:** Yukarıda verilen sorunun normal şartlarda çözümü olması gerekirken, bunu teorem olarak algılayıp kanıtını verelim.

$12 = 2^2 \cdot 3$  biçiminde asal çarpanlarına ayrıldığından dolayı  $n_3 | 4$  ve  $n_3 \equiv 1 \pmod{3}$ . Bu durumda  $n_3 = 1$  veya  $n_3 = 4$  olmalıdır. Karşımıza iki durum çıkacaktır.

1- Eğer  $n_3 = 1$  ise mertebesi 3 olan  $P$  alt grupları  $\exists P \triangleleft G$  olacaktır.

2- Eğer  $n_3 = 4$  ise, 4 tane  $Syl_3(G)$  çıkacaktır ve bu durumda bu 4 gruba  $P_1, P_2, P_3, P_4$  şeklinde adlandırılabilir. Dolayısıyla  $f: G \rightarrow S_4$ 'den bir homomorfizma tanımlanacaktır. Bu homomorfizmanın injective ve  $Im f = A_4$  olduğunu ispatlarsak aynı zamanda  $G \cong Im f \cong A_4$  olduğunu göstermiş olacağız.

İlk olarak injective olduğunu kanıtlayalım.

$Ker f = 1$  olduğunu gösterelim.

$$Ker f = \{g \in G: gP_i g^{-1} = P_i, \forall P_i \in S\} = \bigcap_{i=1}^4 N_G(P_i)$$

Burada  $n_3 = [G: N_G(P_i)] = \frac{|G|}{|N_G(P_i)|}$  olduğundan hemen  $|N_G(P_i)|$ 'yi hesaplayalım.  $|N_G(P_i)| = \frac{12}{4} = 3$  olur.  $|P_i| = 3$  olduğunu gördük.  $P_i \leq N_G(P_i)$  durumu bize  $P_i = N_G(P_i)$  gerçeğini gösterecektir. Dolayısıyla,

$$ker f = \bigcap_{i=1}^4 N_G(P_i) \text{ 'dir.}$$

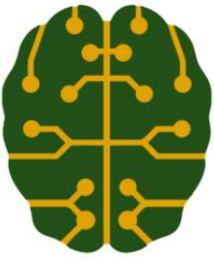
İkinci olarak ise  $Im f = A_4$  olduğunu göstermemiz gerekecektir.  $G$  grubunun dört tane alt gruplarını  $P_1, P_2, P_3, P_4$  olarak tanımladık.  $G$  grubu mertebesi 3 olan,  $2 \cdot 4 = 8$  elemana sahiptir. Bu mertebesi 3 olan 8 eleman,  $S_4$  grubunda 8 tane mertebesi 3 olan elemanlarla bir homomorfizma

oluşturur. Bu durumda  $S_4$  grubu içinde mertebesi 3 olan döngüler çift dereceli olduğundan  $A_4$  grubunun da içinde yer alacaktır.

Bu yüzden  $(A_4 \cap \text{Im } f) \leq A_4$  ve  $(A_4 \cap \text{Im } f) \leq \text{Im } f$  en az 8 elemanlı olacaktır. Halbuki,  $|A_4| = |\text{Im } f| = 12|A_4 \cap \text{Im } f|$ . 12'nin 8'den büyük böleni sadece 12 olduğundan dolayı,  $A_4$  ve  $\text{Im } f$  bir alt grup belirtecektir ve kesişimlerinde bir alt grup belirttiği kanısından dolayı  $A_4 \cap \text{Im } f$  de bir alt grup teşkil gösterecektir. (Not:  $G$  bir grup ve  $H, K$  ise  $G$ 'nin iki alt grubu olsun  $H, K \leq G$ ). Bu durumda  $H \cap K \leq G$  olur. Fakat  $H \cup K \leq G$  olmayabilir.  $A_4$  ve  $\text{Im } f$ 'nin 12 elemanı olacak ve  $A_4 \cap \text{Im } f = A_4 = \text{Im } f$  olduğu çıkaracaktır. Bu da  $G \cong A_4$  doğruluğunu gösterecektir.

## Referanslar

1. Paul.E.Bland: The Basics of Abstract Algebra. W.H.Freeman and Company, United States of America, 2001.
2. I.N. Herstein: Abstract Algebra, 3rd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1995.
3. Cevik.A.S: Soyut Cebirde Özel Konular, Nobel Kitap Yayınevi, 2012
4. S.Ma'u:NotesonSylowsTheorems,Lecturenotes.Link:<https://math.berkeley.edu/kpmann/SylowNotes.pdf>, Accesed: October 2015.



## Madencilik Sektöründe Yalın Üretim Felsefesi

Hakan ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Birol ELEVİLİ<sup>2</sup>

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

<sup>[1]</sup> [hakan.ozturk@omu.edu.tr](mailto:hakan.ozturk@omu.edu.tr) <sup>[2]</sup> [birol.elevli@omu.edu.tr](mailto:birol.elevli@omu.edu.tr)

**Özet:** Günümüzde doğal kaynakların hızla tüketilmesi insanlık için tehdit oluşturmaktadır. İnsan ihtiyaçlarının sürekli artması doğal kaynakların önemini artırmaktadır. Bu kaynakların sağlanmasında madencilik sektörü çok önemli bir yere sahiptir. Sektörde faaliyet gösteren kuruluşların küreselleşen dünyada varlıklarını sürdürebilmeleri için maliyetlerini düşürmeleri ve karlarını artırmaları gerekmektedir. Bu hedeflere ulaşmanın ana unsurlarından biri de yeni yönetim yaklaşımlarından olan "Yalın Yönetim" felsefesinden yararlanmaktır. Yalın yönetim yaklaşımı, üretim sürecini israflardan arındırmak, üretim kapasitesinin daha etkili ve verimli kullanılmasını sağlamak, iş performansını ve işletme karlılığını artırmak amacıyla taşıyan sistem ve teknikler bütünüdür. Yalın yönetim uygulamaları ile madencilik sektöründeki israfların önüne geçilerek kaynakların etkin bir şekilde değerlendirilmesi sağlanacaktır. Bu çalışmanın amacı madencilik sektöründe yapılan yalın yönetim çalışmalarını inceleyerek, yalın yönetimin madencilik sektöründeki katkılarını irdelemektir.

**Anahtar Kelime:** Yalın Üretim, Madencilik, Yönetim

## Lean Manufacturing Philosophy in the Mining Industry

**Abstract:** Today, rapid consumption of natural resources is a threat to humanity. Increasing human needs is increasing the importance of natural resources. The mining sector has a very important place in providing these resources. Organizations, operating in the sector, need to reduce their costs and increase their profits so that they can sustain their assets in the globalizing world. One of the main elements of achieving these goals is to make use of the philosophy of "Lean Management" which is a new management approach. Lean production is the whole system and techniques that aim to purify the production process from waste, to make production capacity more efficient and efficient, to increase business performance and operational profitability. With lean management practices, wastes in mining sector will be avoided and resources will be evaluated effectively. The aim of this study is to examine the lean management practices in the mining sector and to examine the contribution of lean management to the mining sector.

**Keywords:** Lean Manufacturing, Mining, Management

### 1. GİRİŞ

Maden hammaddesi, her maden ve cevhere özgü maden işleme ve cevher hazırlama metotları ile elde edilmektedir. Bu metotlarla ilgili teknolojik bilgiler, küreselleşen dünyada madencilik firmaların yaşamını sürdürmelerini garanti etmemektedir. Rekabet edebilmek ve varlıklarını sürdürebilmek için maliyetleri düşürecek ve karı artıracak yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Küreselleşen dünyada bu yaklaşımlar için ana unsur olarak inovasyon ön plana çıkmaktadır. İnovasyonu da beş ana başlık altında toplamak mümkündür:

1. Yeni ürün veya mevcut üründe kalitesel değişim.
2. Firma için tamamen yeni bir süreç.
3. Yeni pazarlar bulma.
4. Hammadde ve diğer girdiler için yeni kaynaklar geliştirme.
5. Yeni yönetim şekli ile firmada değişim yapma.

İlk dört çeşit inovasyon rakipler tarafından kolaylıkla kopyalanabilir yaklaşımlar olup küresel dünyada kısa vadede avantaj sağlar ve sürdürülebilirliği daha zordur. En etkili ve karmaşık olanı ise beşinci grupta tanımlanan yönetsel değişiktir. Çünkü öncelikle firmanın belirlediği prensipleri oluşturan kültürün anlaşılması gerekmektedir. Ayrıca bu inovasyon gruplarından madencilik için en uygun olanı yine yönetsel değişimle firmada değişim yapmaktır. Diğer alanlarda inovasyon madencilik için oldukça zordur.

Çünkü;

a) Madencilik faaliyeti ile üretilen ürün zaten doğal kaynaktır. Bu kapsamda yeni bir ürün üretmek zaten mümkün değildir.

b) Madencilik süreçleri çok iyi bilinse de, ancak teknolojik gelişmeler bu süreçleri iyileştirebilir.

c) Madencilik firmalarının ürünleri nihai ürün değil hammadde olduğu için iyi tanımlanmış özelliklere sahiptir, değiştirilememektedir.

d) Teknolojiye bağlı olarak geliştirilen yeni ürünler yeni pazarlar oluşturur. Bu sadece madencilik firmalarının üretimini artırmasına katkı sağlar.

e) Doğadan elde edilen hammaddelere bağlı olarak yeni ürün, süreç ve pazar ancak yeni bir yönetim şekli ile elde edilebilir.

Tüm bunlardan sonra madencilik firmaları için en uygun inovasyon alanı olan yönetsel değişime gitmektir. Yönetsel değişimlerden de *Yalın Üretim* felsefesinden doğmuş olan ve dünyada üretim alanında çok fazla kabul görmüş "*Yalın Yönetim Felsefesi*" madencilige uygulanabilecek en iyi yaklaşım olarak öngörülmektedir.

2000'li yılların başından beri "*Yalın Üretim*" yaklaşımının madencilik endüstrisi üzerine uygulanabilmesi amacıyla birçok araştırma yapılmıştır. Çalışmalar belirli yalın araç ve prensipleri temel düzeyde ve kapsamlı olarak başarıyla uygulamış ve bu yaklaşımların madencilik endüstrisine sağladığı esnekliği göstermiştir [1-6]. [1]'de imalat sanayisi ile maden endüstrisi arasında doğası gereği farklılıklar olduğunu, ancak bu farklılıkların madencilik endüstrisindeki yalın üretim uygulamalarını engellemediği belirtilmiştir. Yalın ilkelerin belirli bir endüstriye ait olmadığı ve herhangi bir endüstride rahatlıkla uygulanabileceğini tanımlamaktadır. Genel olarak, madencilik endüstrisinin yalın ilkelerle uyumlu ve yalın ilkelerin sağladığı değer, değer zinciri, akış, çekme ve mükemmeliyet kavramları ile uyumlu olduğu belirtilmiştir [6]. Sadece yalın ilkelerin değil aynı zamanda israf kavramı doğrudan madencilik endüstrisine uygulanabilir [5].

Yalın üretim yaklaşımlarının entegre kullanımı yoluyla madencilik endüstrisi için yeni bir yönetim şekli uygulanması mümkündür. Bunlar madencilik geleneksel kavram ve teknikleriyle uyumludurlar [7]. Madencilik endüstrisinde yalın ilkelerin kullanımı açısından olumlu örnekler ve büyük zorluklar sunan önemli kısıtlamalar vardır. Özellikle endüstride sıkı sıkıya barındırılan kültürel yönleri vardır ve şirkette değişikliklerin uygulanmasını zorlaştırır [8]. Yalın üretim metodolojisinin uygulanması yalnızca yalın araçların uygulanmasını içermemektedir. Ayrıca şirketin ve endüstrinin kültürel olarak değişikliğini gerektirir. Bu da takip ve kontrol altında olması gereken yavaş bir süreçtir [5]. Sürekli uygulanması gereken ve tekrar eden bir süreçtir ve zamanla devam ettirilmelidir [9]. Madencilik endüstrisi için geçerli olan yalın ilkeler birbirine bağımlıdır. Güçlü liderliğe ve personellerin eğitiminde yüksek düzeyde bir yatırıma ihtiyaç duyarlar. Karşılaşılan en önemli örgütsel engellerden biri, yetenekleri, eğitim düzeyi ve kültürü göz önüne alındığında operatörler tarafından ifade edilen engellerdir. Özellikle insan faktörü

eğitim ve personel için teşvikler yaratması nedeniyle devam eden iyileştirme sürecinde kilit faktör olabilir ve bu gerçek değişime ulaşmada önemli bir faktördür [10].

Çalışmanın giriş bölümünde yalın felsefe ve yalın madencilik konusunda bilgi verilmiştir. İkinci bölümde yalın üretimle ilgili genel bir bilgilendirme yapılarak yalın üretim tekniklerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde yalın üretimle ilgili madencilik konusunda yapılmış uygulamalar anlatılmıştır. Son bölümde yalın üretimin madencilik sektöründeki uygulamalarından sonuçta ne gibi faydalar sağladığı ele alınmıştır ve genel olarak değerlendirilmiştir.

## 2. YALIN ÜRETİM

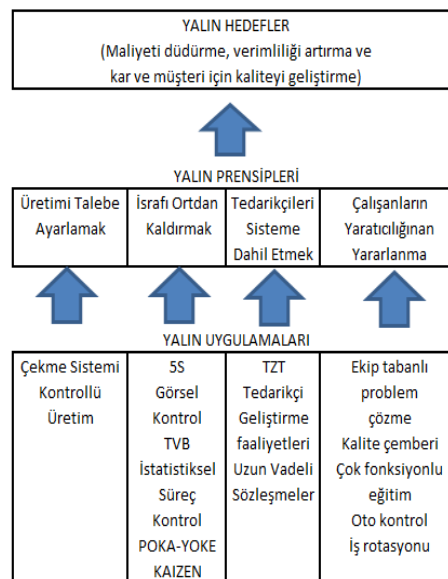
Yalın üretim, dünyanın geri kalanında kullanılanlardan farklı felsefeleri kullanan Toyota üretim sisteminden çıkan bir yönetim felsefesidir [11]. Yalın üretim, şirketler içindeki örgütsel rollerin anlayışını değiştirerek topluluk olarak çalışmayı teşvik etmiştir. Aynı zamanda israfların giderilmesi, sürekli iyileştirme, işçi memnuniyeti, ekip çalışması gibi çok yönlü işlevleri olan fabrikaların kurulmasını sağlamıştır.

Yalın üretim; mümkün olan en az kaynakla, en kısa zamanda, en ucuz ve hatasız üretimi, müşteri talebini tam anlamıyla karşılayabilecek şekilde, en az israf ve üretim faktörlerini esnek bir şekilde kullanarak gerçekleştiren bir üretim sistemidir [12].

Yalın üretimin temel prensipleri şunlardır:

1. Üretimin talebe göre ayarlanması / düzenlenmesi.
2. Sistemdeki israfların ortadan kaldırılması.
3. Tedarikçilerin (Dış sağlayıcıların) sisteme entegre edilmesi.
4. Çalışanların yaratıcılığının sisteme dahil edilmesi.

Bu temel prensibin gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Bu prensipler ayrı gibi görülse de birbirlerini desteklemektedir.



Şekil 1 Yalın Düşüncenin Ana Hatları

### 1. Üretimin talebe göre ayarlanması ve düzenlenmesi:

Üretim talebe bağlı olmalıdır. İtme sistemi yerine çekme sistemi tercih edilmelidir. Bu hem iç hem de dış müşteri için gereklidir. Üretime başlamak için müşteriden işaret gelmelidir. Bir başka ifade ile üretim felsefesi “stok için üret” yerine “sipariş için üret” olmalıdır.

a. Üretim esnek olmalı, yani üretim miktarı değiştirilebilmeli. Bunun içinde ekipmanlar ve süreçler farklı ürünler içinde kullanılabilirli

b. Üretim döngü süreleri kısaltılmalı

### 2. Sistemdeki israfların ortadan kaldırılması:

En çok kabul gören ve uygulanan prensiptir. Bir üretim sürecinde 4 temel fenomen vardır:

- İşlemler; şekil veya kalitede değişim, montaj, demontaj.
- İnceleme/Muayene; standartlarla mukayese.
- Nakliye/Taşıma; yerini değiştirme.
- Bekleme; hiç bir değişim olmaz.

Bu fenomenlerden sadece işlemler ürüne değer katar, diğer işlemler israf olarak görülebilir. İşletmelerde temel olarak katma değer yaratmayan ve israf olarak tanımlanan 8 grup faaliyet vardır. Bunlar;

1. Fazla üretim
2. Bekleme süreleri
3. Gereksiz taşımalar
4. Gereksiz işlemler veya yeniden elleçleme
5. Stoklar (ara stoklar dahil)
6. Gereksiz hareketler
7. Hurdalar, tamirat ve incelemeler
8. Kullanılmayan işgücü yaratıcılığı

Yalın üretim yaklaşımı temelde işletmelerde sıklıkla görülen ve yukarıda tanımlanan israfları ortadan kaldırmaya veya azaltmaya çalışmaktır. Bunun için değişik teknik ve yöntemler geliştirilmiştir. Bu teknik ve yöntemler aşağıda özetlenmiştir:

*Değer akış haritalama:* Bunun için öncelikle süreç analizleri yapılır ve işlemler standart hale getirilir. Bu analizler yapılırken değer yaratmayan ve israf olarak tanımlanan faaliyetler tespit edilir [13,14].

*POKA-YOKE yaklaşımı:* Bu yaklaşım ile ürün kalitesi garantiye alınmalıdır. Hatalı ürünün sistemde akışına müsaade edilmemelidir. Bunun için her çalışan potansiyel kusurları/hataları kontrol ve tespit etmek için eğitilmelidir.

*Toplam Verimli Bakım (Total Productive Maintenance-TPM) yaklaşımı:* Bu yaklaşımla tüm çalışanların sürekli olarak küçük iyileştirmeler ve önleyici bakım yapmaları ve sisteme dahil olmaları teşvik edilirler. Bu yaklaşımla sıfır arıza ve minimum üretim kaybı amaçlanır [15].

*Hızlı Kalıp Değişimi:* Beklemeleri azaltmak içinde kurma-ayar zamanları kısaltılmaya çalışılır. 1985 yılında Shingo tarafından geliştirilmiş olup ayar sürelerinin düşürülerek katma değer yaratmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılmasıdır [16].

*5S Yaklaşımı :* Her çalışan dahil edilerek iş ortamı düzenli hale getirilir. Bu şekilde etkin ve kullanışlı çalışma ortamı sağlanır. Ayrıca bu şekilde iş ortamı ve iş akışı daha görünür hale getirilir [17]. 5S beş adımdan oluşmaktadır. İlk adımda sınıflandırma yapılır, ikinci adımda düzenleme yapılır, üçüncü adımda temizleme gerçekleşir, dördüncü adımda standardizasyon sağlanır ve son adımda disiplini oluşturur [18].

*KAIZEN Yaklaşımı:* Japonca'da Kai değişiklik, zen iyi anlamında olup kaizen sürekli iyileştirme demektir. Masaaki Imai tarafından geliştirilmiş her alanda uygulanan bir tekniktir. Müşteri için katma değer yaratmayan faaliyetlerin elenmesini, üretim süreçlerinin sürekli geliştirilmesini ve israfların yok edilmesini hedefler [19].

### 3. Tedarikçilerin (Dış sağlayıcıların) sisteme entegre edilmesi:

Tedarikçilerin (Dış sağlayıcıların) bütünleşmesi ile onların "Yalın" hale gelmeleri desteklenir. Hedef teslimatların tam-zamanında olmasını sağlamaktır. Tedarikçilerde değişen talebe cevap vermede esnek olmalıdırlar. Bu bağlı olarak uzun süreli anlaşmalar her iki tarafın birbirine uyumlu olmasına katkı sağlayacaktır.

### 4. Çalışanların yaratıcılığının sisteme dahil edilmesi:

Bunun temel yaklaşımı 8.israfı ortadan kaldırmaktır. Ayrıca çalışanların eğitimi ve geliştirilmesi ile alakalıdır. İşler çok fonksiyonlu takımlar olarak organize edilmeli, ekibin her biri işi yapacak kapasitede olmalı. Bu şekilde ekip dış aksatıcılara karşı daha az hassas ve farklı görevler için kendi aralarında yer değiştirirler.

Yalın düşünce işletmede israfı kaldırmak için ortaya atılmış bir yaklaşımdır. Yaklaşımın kökleri sanayi devriminin başlangıcına kadar uzanmaktadır [20]. Yalın düşünce, üretim yapma anlayış ve şeklini kökten değiştirmiştir. Çünkü geleneksel üretimin varsayımları ile yalın düşüncenin varsayımları birçok noktada çelişmektedir. Yalın üretim, ürün geliştirmeden, uzun dönemli işletme planlarına kadar tüm işletmeyi ilgilendiren kapsamlı yönetimsel süreçtir. İşletmenin yalın olması, ihtiyaç olmayan her şeyden kurtulmak anlamına gelmektedir.

## 3. MADENCİLİKTE YALIN ÜRETİM UYGULAMALARI

Yalın üretim ve maden endüstrisi üzerine ilk makale [6] tarafından yayımlanmıştır. Yalın Üretim İlkeleri ve Madencilik Sanayi Uygulamaları başlığı altında yayımlanan bu makale teorik bir çalışmadır ve bazı örnekler yazarın tecrübesine dayanmaktadır. Daha sonra yayımlanan metinlerin çoğunda bu makale yer almaktadır. Madencilik ürünleri, genellikle "Yalın şirketler" tarafından üretilen ürünlerden farklıdır ve ürünün değerini etkileyebilecek faktörler değişiklik gösterebilmektedir. Bu faktörler:

*Standartlaştırılmış iş:* Bu konuda madencilik ve geleneksel üretim alanlarını birbirinden farklıdır. "Maden fabrika değildir" düşüncesiyle standartlaştırılmış iş için madenin uygun olmayacağı ifade edilmekte, ancak madencilikte kendine has özelliklere sahiptir. Standartlaştırılmış çalışma olmadan öğrenme ve geliştirme için herhangi bir potansiyel olamaz.

Standardize edilmiş çalışmanın bir fabrikanıkinden daha fazla esnekliğe sahip olması gerekmektedir.

*Kaynakta kalite:* Bir madencilik bağlamında kaynakta kalite açısından dikkat edilmesi gereken, işçinin kaliteyi fabrika ortamında olduğundan daha az kontrol edebilmesidir.

*TPM:* Koruyucu bakım madencilikte halihazırda iyi bir şekilde uygulanmakta ve maden endüstrisinde yaygın olarak kabul görmektedir. Bu nedenle TPM'nin uygulanması zor değildir.

*Esneklik/SMED:* Esneklik konusundaki tartışma büyük bölümlerde SMED ile ilgilidir. Tartışma temelde kurulum sürelerinin azaltılması için çabalayacağını belirtir. Bununla birlikte, madencilik geleneysel üretimle karşılaştırıldığında olan farklılıkları, konunun nasıl ele alınacağı konusunda bazı değişiklikler gerektirmektedir. Akış tasarımı ve madencilikte bunu yapmak için birçok zorluk bulunmaktadır.

Bunların hepsi istikrar için gerekli olarak görülmüştür. İstikrar eksikliği, makine arızalarından, ürün hatalarından ve değişken çalışma sürelerinden kaynaklanan ve sürekli akışı engelleyen olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla istikrar, akış için bir ön şarttır.

Madencilikte akış elde etmek için kullanılan üretimdeki "analitik teknikler" ve "akış tasarım araçları" madencilikle çok az ilgilidir. Madenler geleneksel olarak itme sistemleri kullanmaktadır. Ancak madencilikte çekme/JIT mümkündür. Bu noktada, üretimin talebe göre dengelenmesi hedefi önemlidir. Belirli bir zamanda gerekli bir miktarı üreten istikrarlı üretim süreçleri kurmak gerekir. Bununla birlikte, çekme/JIT uygulanması için en büyük etmenler tedarikçiler ve malzemelerdir. Ancak çekme sisteminin daha yüksek bir seviyede daha geniş bir şekilde uygulanması da mümkün olmalıdır.

Makale sonucuna göre; "Yalın üretim; süreci, tasarımı ve yönetimi için toplam bir sistem olarak uygulanması önemlidir", "Ayrıca, üretim süreçlerine odaklanmak yerine, yalın üretimin değer zincirinin daha yüksek bir seviyesinde uygulanmalıdır" ve "Akışın yalın üretimin bir elemanı olmasına rağmen, akış için gereken kararlılığın yalın üretim araçları ile gerçekleştirilebilecektir". Yalın üretim; çalışan organizasyonlarda sürekli çalışmayı teşvik ederek, tüm çalışanların zaman etütlerini, ergonominin temellerini bilerek ve temel analiz prensiplerinden yararlanarak bir endüstri mühendisi (veya en azından endüstri mühendisliği prensiplerini bilen) gibi olması gerekmektedir. Ayrıca, esnek bir iş gücü olmalıdır. Genel fikir olarak işçilerin rotasyona uygun ve çok yetenekli olduğu kadar öğrenmeye teşvik edilmeleri, motive edilmeleri ve belki de en önemlisi eğitim verilmesi gerekmektedir.

[1] makalesinde madencilikte yalın üretim uygulanmasında ilk olarak boksit madeninden örnek vermiştir. Bilgi merkezleri, 5S ve standartlaştırılmış işlerin uygulandığı söylenmektedir. Standartlaştırılmış işlerle ilgili uygulama, zorlu güzergahlar ve ekipman düzeni ile bir kamyon servis bölmesinde yapılmıştır. Kamyonların ve insanların hareketlerini analiz ederek yapılmış ve rutin servisler için (örn., Yakıt ikmali ve lastik basıncının kontrol edilmesi) alınması gereken süreyi azaltmıştır. "Günde ham cevher dökümüne göre en az bir kamyon yükü" ile verimliliği artırmıştır. Standartlaştırılmış prosedürler de tanımlanmış ve şirketin üretim kaybını önlemesine yardımcı olmuştur. Ayrıca kamyonların park edildiği yer de standartlaştırılmıştır. Diğer bir örnek ise bakır madeninden verilmiştir. Yalın üretimin uygulanması, madenin gelişim çalışmalarına odaklandı. İlk gelişim Yalın Bilgi Merkezlerinin kurulmasıydı. Bu merkezler, güvenlik, çevre, çalışanların uygunluğu, döngü tamamlama süreleri, haftalık geliştirme hedefleri ve kaynakları kullanma gibi ölçümleri izlediler. Ekip liderleri ve üyeleri arasında daha iyi iletişimi sağladığı bildirildi, çünkü sorunların nerede olduğunu görebildiler. Bir diğer etkinin, üyelerinin üretim döngüsündeki gecikmelere neden olan konuları tanımlamaya ve çözmeye katkıda bulunmaya



daha istekli oldukları bildirilmektedir. Diğer bildirilen etkiler, benimseme sürecinin ilk 30 gününde çevrim süresinin azaltılmasını içermektedir.

[3] çalışmalarında Yalın Yönetim yaklaşımı ile iki farklı madende üretim maliyetinin azaltılabileceğini ortaya koymuşlardır. Burada faaliyetler 4 gruba bölünmüş: Üretim faaliyeti, Nakliye, İnceleme ve bekleme. Bu faaliyetlerden sadece üretim faaliyeti değer katıcı bir faaliyettir. Fluorspor madeninde yapılan incelemeye göre; mevcut durumda delme-patlatma işlemi bir kişi tarafından yürütülmekte olup, bu kişi aynı zamanda matkapları bileylemekte ve depodan patlayıcıları alıp gelmektedir. O bu işleri yaparken doğal olarak delici makine atıl beklemektedir. Burada atıl kalmayı engellemek için yapılan beyin fırtınası sonunda bu iş için bir ekip oluşturulmasına karar veriliyor. İki kişi delme işlemini yürütürken, destekçi denilen üçüncü kişi diğer işleri yapıyor. Benzer çalışmalar yapılarak buradaki üretim miktarı 15.7 ton/kişiden 22.6 ton/kişiye çıkmıştır.

[21] yayınladığı bir makalede köklü değişimin başarılmasının "madencilik sürecinde yer alan personeli eğitmek ve eğitmek için güçlü bir taahhüt gerektirdiğini" belirten yalın yönetim kavramıyla olabileceğini söylemişlerdir.

[9] makalesinde bir Hint kömür madeninde kullanılan matkap uçlarının performansını artırmada olasılıkları saptamak için yalın üretim metodolojisini tanımlamıştır. Çözüm olarak PUKÖ döngüsüne uygun olarak takım profilini ve eğitimini yeniden tasarlamıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Günümüzde, işletmelerin hızla değişen koşullara uyum esnekliği kazanarak belirsizlikten kaynaklanan krizleri yönetmeleri ve varlıklarını sürdürebilmeleri için yalın ilkelerin uygulanması temel şarttır. Yeni koşullara uyum sağlamak isteyen işletmeler, üretim ve hizmet yapılarını bu doğrultuda yeniden yapılandırmak amacıyla yalın dönüşüm çalışmaları yapmışlardır.

Yalın Üretim zihin tabanlı bir yönetim modelidir ve bu nedenle, Yalın Madencilik gerçekleştirmedeki çalışmaların çoğunun çalışanların ve işverenin zihninde olması gerekecektir. Değerler ve felsefe Yalın Üretim ile aynı doğrultuda olmalıdır. Bu, kendi başına, uygulama çabalarının önemli bir bölümünü teşkil edecektir.

Yalın Üretim yaklaşımının birinci ve en önemli adımı " Değer" tanımıdır. Maden için değer tanımı yapıldıktan sonraki aşama değere katkı sağlamayan israfların giderilmesidir. Bunun içinde israf giderme prensipleri kabul edilmelidir. Uygulamada görsel kontrol ve 5S yalın felsefeye geçmenin başlangıcıdır. Daha sonra sürekli iyileştirmeler için standartlar geliştirilmelidir. Bu standartları geliştirmeye çalışanlar mutlaka dahil edilmelidir.

TPM yaklaşımı makine hazır bulunması ve güvenilirliği için mutlaka uygulanmalıdır. Bu zaten belirli ölçüde madencilik firmaları tarafından uygulanmaktadır.

Tedarikçilerin entegrasyonu madencilik için oldukça yararlı olacaktır. Burada klasik tedarikçilerden ziyade taşeron firmaların entegrasyonu önemlidir. Taşeron firmalarda çalışma ortamını iyileştirip kaza oranlarında azalışa gideceklerdir.

Talep temelli üretim madencilik için en zor aşamalardandır. Ancak yine de bu konuda çalışmalar yaparak stok seviyesini minimum seviyede tutmak için çaba harcamak gerekmektedir.

Sonuçta, maden endüstrisinin Yalın Madencilik'e doğru yolculuğu için hazır olduğu görülmektedir. Bazı sorunlar devam etmesine rağmen, Yalın Madencilik çabalarını başlatmaya

cesaret kırarak kadar şiddetli sayılmamalıdır.

Madenlerde gerçek anlamda rekabet edebilmek ve operasyonel verimliliği artırabilmek için şunlar sağlanmalıdır:

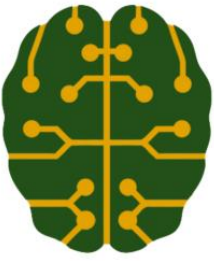
- Endüstri mühendisliği madencilik faaliyetlerinde ayrılmaz bir disiplin haline gelmelidir.
- Üretim hedeflerine ulaşmak için yapısal problem çözme kısa vadeli düzeltmelerin yerine geçmesi gerekir.
- Süreçte katılım ve sahiplenmeye organizasyon içindeki herkesin dahil olması gerekir.

Yalın üretim konusu madencilik için göreceli olarak yeni bir konudur. Müşteriler ve rakipler tarafından yeterli baskıya maruz kalmayan işletmeler, süreçlerini yeniden tasarlama noktasında isteksiz davranmaktadırlar. Ayrıca çoğu işletme yapılacak çalışmaların kendilerine ek bir maliyet getireceği düşüncesiyle de bu değişime soğuk bakmaktadırlar. Fakat yapılacak değişikliklerle israflar önleneceğinden işletmelere ek maliyet değil kazanç getirilmesi hedeflenmektedir.

### KAYNAKLAR

- [1] Dunstan, K., Lavin, B., ve Sanford, R., 2006. The application of lean manufacturing in a mining environment. *International Mine Management*, 16-18 Ekim, 145-157.
- [2] Hattingh, T., ve Keys, O., 2010. How applicable is industrial engineering in mining? *Platinum in Transition 'Boom Or Bust'*. 4th International Platinum Conference, 205-210, Sun City, Güney Afrika.
- [3] Klippel, A., Petter, C., ve Antunes Jr., J., 2008a. Lean management implementation in mining industries. *DYNA*, 75(154), 81-89.
- [4] Shukla, R., ve Trivedi, M., 2012. Productivity improvement in coal mining industry by using lean manufacturing. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, 6, 580-587.
- [5] Wijaya, A., Kumar, R., ve Kumar, U., 2009. Implementing lean principle into mining industry issues and challenges. *International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, 1-9, Banff, Kanada.
- [6] Yingling, J. C., Detty, R. B., ve Sottile Jr., J., 2000. Lean manufacturing principles and their applicability to the mining industry. *Mineral Resources Engineering*, 9(2), 215-238.
- [7] Klippel, A. F., Petter, C. O., ve Antunes Jr., J. A. V., 2008b. Management innovation, a way for mining companies to survive in a globalized world. *Utilities Policy*, 16(4), 332-333.
- [8] Freire, J., ve Alarcón, L. F., 2002. Achieving lean design process: Improvement methodology. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(3), 248-256.
- [9] Ade, M., ve Deshpande, V. S., 2012. Lean manufacturing and productivity improvement in coal mining industry. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2(10), 35-43.
- [10] Ortiz, F., 2010. Reducción de tiempos de preparación: un enfoque práctico. 4th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, XIV Congreso De Ingeniería De Organización, San Sebastián. 1029-1036.

- [11] Womack, J., Jones, D., ve Ross, D., 1990. The machine that changed the world: Based on the Massachusetts institute of technology 5-million-dollar 5-year study on the future of the automobile. New York: Rawson Associates.
- [12] Lopez, A., Santos, J. F. ve Arbos, L. C., 2013. Lean Manufacturing: Costing the Value Stream. *Industrial Management & Data Systems*, (113), 5; 647-668.
- [13] Baggaley, B., 2003. Costing by Value Stream. *Journal of Cost Management*, 17(3), 24-30.
- [14] Birgün, S., Gülen, K. G., ve Özkan, K., 2006. Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: İmalat Sektöründe Bir Uygulama. *Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(9), 47-59.
- [15] Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H.K., ve Kong, S., 2005. Implementation of Total Productive Maintenance: A Case Study. *International Journal of Production Economics*, 95, 71-94.
- [16] Tanık, M., 2010. Kalıp Ayar Sürelerinin SMED Metodolojisi ile İyileştirilmesi: Bir Yalın Altı Sigma Uygulaması. *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25, 117-140.
- [17] Michalska, J. ve Szewieczek, D., 2007. The 5S methodology as a tool for improving the organisation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24(2), 211-214.
- [18] Dudek-Burlikowska, M., 2006. Quality research methods as a factor of improvement of preproduction sphere. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 18, 435-438.
- [19] Gürdal, K., 2007. *Maliyet Yönetiminde Güncel Yaklaşımlar*, Siyasal Kitabevi, Ankara.
- [20] Meyers, F.E. ve James R.S., 2002. *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*. Prentice Hall.
- [21] Steinberg, J. ve De Tomi, G., 2010. Lean mining: Principles for modelling and improving processes of mineral value chains. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 6(3), 279-298.



## Kaos Teorisi'nin Ölçme ve Metroloji'ye Etkileri

Burak BALCIOĞLU

Harita Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey

[balciogluburak@icloud.com](mailto:balciogluburak@icloud.com)

**Özet:** Mikro dünya düzenine geçişle beraber Fizik başta olmak üzere tüm bilimlerde reform meydana gelmiştir. Newton'un ortaya koyduğu Klasik Fizik Kuramı; Einstein'ın ve diğer bilim adamlarının Quantum Fizik araştırmalarıyla yıpranmıştır. Kuantum Fizik Kuramı hem Klasik Fizik Kuramı'nun hem de doğrusallık düşüncesinin yıkılmasına sebep olmuştur. Bu denli değişimlere sebep olan Kaos Teorisi'nden Ölçüm sisteminin olmazsa olmazı Metroloji de gereken payı almıştır. Bu çalışmada doğrusallığın büyük önem arz ettiği ölçmenin ve Metroloji'nin mesafe ölçümü kapsamında Kaos Teorisi'nden nasıl etkilendiği incelenmiş ve sonucunda Kaos Teorisi'nin felaketleri anlamada bile etkili olabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Kelime:** Kaos, Ölçme, Metroloji, Fraktal, Ölçüm Hataları.

**Abstract:** In all sciences, especially in Physics, a reform has occurred with the transition to the micro world order. Classical Physics Theory put forward by Newton has been worn with Einstein's and other scientists' Quantum Physics research. Both Theory of Quantum Physics and Theory of Classical Physics have led to the destruction of linearity thought. The sine qua non of the Measuring System, Metrology, has also got its share from the Chaos Theory, which causes so much change. In this study, how measurement, which attaches importance to the linearity, and, in the scope of distance measurement, Metrology has been affected by the Chaos Theory at the end of study even the Chaos Teory shows us to how can we discover disasters is examined.

**Keywords:** Chaos, Measurement, Metrology, Fractal, Measurement Error

### GİRİŞ

Kaos ilk başlarda Çin Mitolojisi'nin ve Yunan Mitolojisi'nin yaratılış efsanelerinde kullanılmıştır. Çin Mitolojisi'nde, Kaos'tan (kargaşa) düzene (kozmos) geçişten bahsedilmiştir. Yunan Mitolojisi'nde yine aynı şekilde Kaos ve kozmos birbirinin zıttı olarak yer almıştır. Latince kökenli olan bu kelime "chaos" olarak kullanılmaktadır. İngilizcede de doğrudan bu şekilde kullanılmaktadır. Türkçe 'ye "kaos" olarak kazandırılan bu kelime "kargaşa", "karmaşıklık", "keşmekeş" anlamlarını karşılamaktadır.

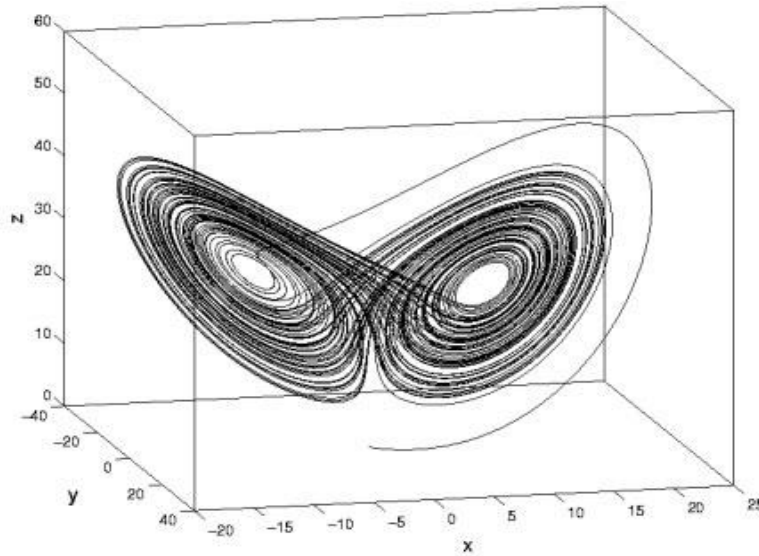
Her ne kadar milattan önceki süreçte Yunan ve Çin mitolojilerinde Kaos'a benzer şekilde yaratılış efsaneleri yer almış olsa da; Kaos'la ilgili elle tutulur ilk veri 1889 tarihinde Astronomi ile alakalı olarak sorulan "üç cisim problemi" ile ortaya çıkmıştır. Güneş sisteminin gerçekten kararlı olup olmadığına ilişkin merakı gidermek adına ortaya atılan bu soruya Norveç Kralı'nın ödül koymasıyla ilgi ve alaka artmıştır. Karaçay'a göre Henri Poincaré güneş sisteminin çözümünün başlangıç koşullarına hassas bağımlı olduğunu ve haliyle evrenin başlangıç koşullarını bilemeyeceğimizden güneş sisteminin de kararlı olup olmadığının asla öngörülemediğini ispatlamıştır ve teknik anlamda ilk defa "Kaos" terimini kullanmıştır [1]. Problemi Poincaré çözememiştir; fakat çözülemeyeceğini ispatlamış olması da ödülü elde etmesine yetmiştir.

Ele alınan cisim sayısı iki veya daha çok olduğunda sistemin başına neler geleceğini tahmin etmek imkânsız bir hal almaktaydı. Yani ikiden çok daha fazla cisim içinde barındıran güneş sisteminin ileride başına neler geleceğini bulmak imkânsız bir durum olarak nitelendirilebilir. Bu durum bir basit örnekle ele alınabilir. Bir kabın içinde düzensizce çarpışan gaz molekülleri ele

alınır ve bu gaz moleküllerinin başlangıç noktası bilinirse ayrıca çarpıştıkları açıyı, çarpıştıkları hızı, ... gibi sayısız değişkenle beraber ortamı etkileyen faktörleri de ele alarak bir işlem yapılırsa gaz moleküllerinin bir sonraki adımı tamamıyla kestirilebilir fakat burada önemli olan nokta başlangıç koşullarına hassas bağlılıktır ve başlangıç noktasının kestirilebilmesi mümkün değildir bununla beraber sistem içindeki değişkenlerin sayısı o kadar fazladır ki bunun hesabını tutabilecek bir program yahut bilgisayar mevcut değildir. Yeniden konuya dönülecek olursa 1889 yılından sonra Kaos fikri akıllardan silindi ve gerçek manada Kaos tekrar Edward Lorenz'le beraber ele alındı David Ruelle Kitabında "Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde meteoroloji uzmanı olan Edward Lorenz atmosferik konveksiyon olgusuna ilişkin bazı araştırmalar yapmıştır.(...) Lorenz'in zaman içindeki evrime ilişkin teorisi atmosferik konveksiyonun gerçekçi bir tanımlaması olmamakla birlikte atmosferin hareketlerinin önceden bilinmezliğe ilişkin görüşlere büyük ölçüde destek sağlamıştır. Bir meteoroloji uzmanı olarak bu bilim dalının uzun dönemli güvenilir tahminler yapamayışına bu yoldan geçerli bir neden bulmuştur. Henri Poincaré de aynı şeyleri söylemişti." [2] yazmıştır.

Edward Lorenz'in çalışmalarından bahsedildiği. Edward Lorenz'in çalışmalarını daha derinden incelemek; Kaos teorisinin nasıl gelişim gösterdiğini anlamak adına daha faydalı olacaktır.

Edward Lorenz havanın ısı değişimini belirlemek adına üç adet diferansiyel denklem yaratmıştır ve bu denklemde zaman değişkenine belli değerler vererek bir hava tahmin modeli oluşturmaya çalışmıştır. Denklem oluşturduğu grafik o kadar farklı haldedir ki denkleme yeni değerler verilir grafik üç boyutlu uzayda (x,y,z) çizildikçe Edward Lorenz grafiğinin sarmallaştığını ve hiçbir zaman birbirini kesmediğini görmüştür.



Şekil 1 Lorenz Çekeri

Edward Lorenz'in tekrardan gündeme getirdiği Kaos "çeker" diye nitelendirilen olguyu meydana getirmiştir. Çeker dinamik bir sistemin içinde bir yörüngenin hesaplanmasıyla, belli bir dönem yahut daima üzerinde hareket ettiği kümedir. Lorenz'in oluşturduğu hava tahmin modeli Lorenz Çekeri'ni meydana getirmiştir ve birçok bilim adamının dikkatini tekrar Kaos'a yöneltmeyi başarmıştır akabinde buna benzer birçok çeker meydana getirilmiştir (bkz. Julia ve Mandelbrot kümeleri). Matematik başta olmak üzere birçok bilim Kaos'tan yeni şeyler kazanmıştır. Çekerler tekrarlama (iterasyon) yöntemiyle meydana gelmektedir. Bu tekrarlamalarda fraktalları meydana getirmektedir. Tekrar Lorenz Çekeri'ne dönülecek olunursa o meşhur metaforu anmadan

geçmek Edward Lorenz'e saygısızlık olacaktır. Lorenz çekerini için denkleme verilecek sayılarda yapılacak ufak bir değişiklik iterasyonu tamamıyla farklı bir yöne sürükleyecektir ve oluşan grafik bambaşka olabilecektir. İşte bu olguya Kelebek Etkisi (başlangıç koşullarına hassas bağıllık) denmektedir. Yani Pekin'de kanat çırpın bir kelebek Washington'da kasırgaya sebep olabilmektedir. Çekerlerin oluşturduğu iterasyonlar Matematik biliminde yeni bir çığır açmıştır ve fraktallar konusu oluşum göstermiştir. Doğada tam manasıyla bir üçgen bile bulamazken fraktal yapılar maddeleri matematiksel olarak tanımlamamızda büyük rol oynamıştır. Bir kar tanesi büyütülerek incelendiğinde fraktallaşmayı görmek mümkündür ve hiçbir kar tanesi bilindiği üzere birbirinin aynısı değildir. Bu durumu da Kelebek Etkisi'yle açıklamak mümkündür şöyle ki; başlangıç koşullarında o kadar mikro düzeyde değişim meydana gelmektedir ki kar tanesini oluşturan fraktalların iterasyonları her birini farklı kılmaktadır. Durumlar bu derece karmaşıkken çalışmanın amacını açıklamak ve adım adım kaosu daha derinden irdelemek isabet olacaktır. Bu çalışmada Kaos Teorisinin mesafe ölçümü kapsamında "ölçme ve metroloji" üzerine etkisini spesifik olarak inceleyerek Kaos Teorisinin ne olduğuna ölçme ve metrolojinin ne olduğuna ayrıca nasıl olur da kaos teorisi ölçme ve metrolojiyi etkisi altına alır saptanacaktır. Bunlar saptanırken kaynak taraması yaparak bilgileri belli kaynaklara dayandırmak ve karmaşıklığından dolayı aşama aşama yapmak bu makaleyi oluşturan metod olacaktır.

## 2. Kaos Teorisi ve Kelebek Etkisi

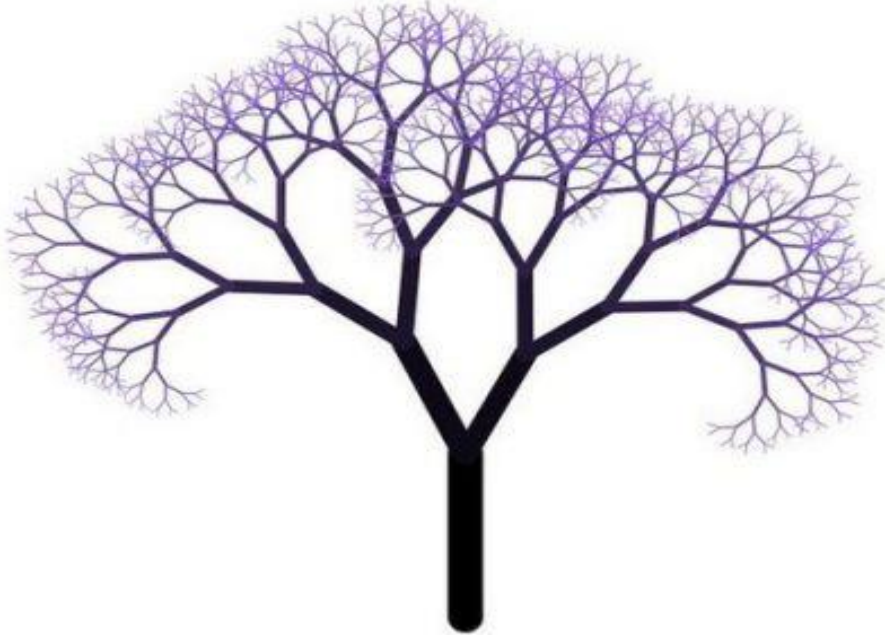
Herhangi bir sistemde oluşturulan etkiye binaen vukuu bulabilecek tepkilerin belirsizlikleri ile ölçümlerin belirsizlikleri (net ölçümlerinin ve doğru tahminlerinin kestirilememesi), Kaos diye adlandırılabilir. Bu bağlamda "Kaos Teorisi'nin", Fizik Bilimi'nde "belirsizlik" adıyla oluştuğu ve ilerlediği, sonrasında ise çoğu bilimde "Kaos" olarak ön plana çıktığı belirtilebilir.

Karaçay'a göre doğrusal olmayan hareket sistemlerinin çoğu için öngörü yapmaya engel olan üç neden vardır: Birincisi bu sistemin analitik çözümü yoktur. İkincisi herhangi bir başlangıç koşulunu kesinlikle belirleyemeyiz. Üçüncüsü başlangıç koşullarında meydana gelen çok küçük değişim(ler) sonuçta çok büyük farklılıklara neden olabilir [3]. Buna bağlı olarak "sistemlerin başlangıç noktası" ile ilgili verilerin elde edilememesi, analitik anlamda çözümlerinin olmaması ve nasıl meydana geldiğiyle alakalı bir formülün ortaya konulamamış olması, ayrıca sistemin devam etme sürecinin belirsizliği ortaya çıkardığı görüşü savunulabilir. Başlangıç koşullarındaki çok ufak farklılıkların bile sonuçta büyük değişimlere sebep olabileme ihtimali Kaos'un temel ilgi alanı olup Kelebek Etkisi diye adlandırılmaktadır.

Kelebek etkisi "başlangıç koşullarına hassas bağıllık" olarak tanımlanabilir. Ertürk'e göre bu örnek Edward Lorenz tarafından yapılandırılmıştır ve Lorenz bu örneği "Pekin'de kanat çırpın bir kelebeğin havada oluşturduğu hava dalgalarının gelecek ay New York'ta fırtınaya neden olabileceği" şeklinde ifade eder [4]. Çobanoğlu'na göre, sistemleri kararlı halden uzaklaştıran faktör kelebek etkisi faktörüdür. Kelebeğin kanat çırpması gibi birçok küçük değişiklik artarak devam etmesi durumunda sistemleri statik durumundan çıkarır. Bu durum olumlu ya da olumsuz yönde sistemlerde sürükleyici etki yapar [5].

Kaos Teorisi'nin ilgilendiği diğer bir problem ise Kaos'un düzenidir. Gleick'e göre Kaos teorisinde, tüm karmaşık, düzensiz ve formüle edilemeyen veriler içinde güzel, düzenli ve sağlam bir yapı vardır [6]. Bu yapıları fraktallar olarak adlandırmak mümkündür. Düzensizliğin oluşturduğu karmaşa ortaya bir resim çıkarmaktadır ve bu resim iterasyonlardan ibarettir. Her bir tekrar oluşan karmaşayı anlamlandırmakta ve iterasyonların devamında oluşan fraktal geometrisi bize doğadan herhangi bir cismin manzarasını çağrıştırabilmektedir. Bir örnek vermek gerekirse, Koch'un "kar tanesi fraktalı" örnek verilebilir. Doğada birebir karşılaşılabilecek kar tanesini, denklem oluşturup fraktala dönüştürerek gözlemlenebilmesi

mümkündür. Geometrik cisimlerin neredeyse hiçbirinin doğada bire bir bulunması mümkün değilken; fraktallarla bunun çözülmesi mümkündür. Doğada hangi dağın; bir düzlemsel üçgen veya küresel üçgen şartlarını sağlayan üçgen olduğu, hangi taşın birebir kare olduğu gözlemlenmiştir? Gözlemlenmesi pek olası görünmemektedir. Doğadaki düzeni tanımlanabilmesinin tek yolu fraktallardan geçmektedir ve bu konuya dair tek örnek kar tanesiyle sınırlı değildir. Birçok örnek mevcuttur. Başka bir örnek vermek gerekirse doğada bulunan bir ağacın dallarını fraktallarla göstermek mümkündür. Bir düz çizgiyle başlanılan, çizginin üst ucuna arası 300 olacak şekilde ilk çizginin yarısı uzunluğunda iki çizgi çizilecek olunursa ve bu adımlar tekrar ettirilirse ortaya aşağıdaki görüntü çıkacaktır. Sonbaharda yapraklarını dökmüş herhangi bir ağacın bu fraktalla birebir örtüşmesi imkânsız bir olay değildir.



*Şekil 2 Tekrarlarla (iterasyonlarla) Oluşturulmuş Ağaç Fraktalı*

### 3. Ölçme ve Metroloji

İnsan var olduğu andan itibaren sürekli insanoğlu olarak bir şeyleri merak etmiş ve daima birbiriyle iletişim halinde olmuştur. Bu iletişim zamanla diğer insanlarla ilişkiye dönüşmüş ve ticari boyutlara da varmıştır. Yapılan ticaretlerde ve diğer ilişkilerde uzunluk ölçümlerine ihtiyaç duyulmuş ve bu ihtiyacı genellikle kendi vücut uzuvlarını kullanarak belirlemişlerdir. Kol, ayak, parmak gibi uzuvların her birini uzunlukla ilişkilendirip ölçüm konusunu bu uzuvları kullanarak halletmişlerdir. Her milletin yapısal farklılıklar gösterdiği dünyada özellikle uluslararası ilişkilerin de başlamasıyla, ölçümde yapılan farklılıklar sorun haline gelmeye başlamıştır. Ticaretin, bilimin ve uluslararası ilişkilerin gelişmesiyle beraber bu sorunun belli bir sisteme kavuşturulup her yerde aynı ölçümün yapılabilmesi ve haksızlıkların önüne geçilmesi ihtiyacı hissedilmiştir. Daha öncesinde basit aletlerle ölçüm yapılıyor olsa da herkesin kabul ettiği ve metrolojinin bir bilim haline gelerek, tek sistemin oturtulması ancak 18. Yüzyılın sonlarına doğru mümkün olmuştur. 1700'ü yılların ortalarına gelindiğinde öncelikle Fransa'da politikacılar ve bilim adamlarının bu konudaki çalışmaları hızlanmış, doğal görüngüleri temel alan bir birim sisteminin oluşturulması için girişimler başlatılmıştır [7].

Yapılan ölçümlerde bir çeyrek meridyen uzunluğunun 10 milyonda biri "1 metre" olarak kabul edilmiştir fakat o zaman ölçüm yapılan Borda'nın tekrarlayan dairesi (repeating circle) aletinin

hassaslığı ve yapılan ölçümün doğruluğu bilim adamlarını düşündürmüş ve daha geçerli bir durumu 1 metre olarak tanımlamak kararını vermişlerdir. Metre Konvansiyonu olarak adlandırılan antlaşma 17 ülke ile arasında imzalanmış ve kabul görmüştür.

İlk defa 1889 senesinde bir araya gelen Uluslararası Tartılar ve Ölçüler Konferansı hassasiyetin artmış olması ve teknolojinin de imkân verdiği düzeyde doğruluğa sahip olması, aranan doğruluk ihtiyacını karşılayacak bir metre ölçütü belirlemiştir. 1960 yılında toplanmalarının 11.cisinde astronomik ve atmosferik etkilerden dönemin imkân verdiği ölçütte uzak olarak yapılan ölçüme binaen, getirilmiş tanımlama şöyledir: “1 metre, boşluktaki (vakum altında) Kripton 86 atomundan yayılan turuncu ışınının dalga boyunun 1650763,73 katı” [8].

Aradan zamanın geçmesiyle yapılan diğer bir konferansta metrenin tanımı şu şekilde yenilenmiştir. “Boşluktaki (vakum altında) ışığın; saniyenin 1/299 792 458'i kadar sürede kat ettiği mesafenin uzunluğu” [9] ve halen günümüzde metre olarak bildiğimiz şey bu tanımlamayla açıklanmaktadır ayrıca bu açıklama yapılan en güncel açıklamadır.

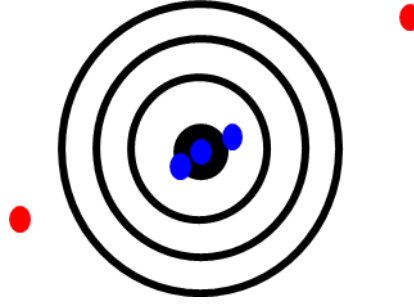
Metroloji esasında ölçüm bilimi olarak tanımlanabilir. Bu bilim dalının çalışma konusunun ölçüm olmasından kaynaklı olarak bu şekilde tanımlanması mümkündür. Yapılan en temel ölçümün de mesafe olmasından dolayı bu bilimin ilgilendiği en temel birim metredir. Bundan farklı olarak birkaç farklı birimle daha ilgilenir ve bu temel birimlerin bileşimiyle oluşan “türetilmiş birimler” i inceler. Örnek olarak yerçekimi ivmesi “ $g=9,80665$  metre bölü saniyenin karesi”. Burada temel birimler metre ve saniyedir. Metrolojinin kelime kökü metredir. Adı üstünde deyimle açıklanabilecek bu bilimin temel konusunun metre olmasından dolayı ve bu çalışmada irdelenen konunun mesafeye dayanmasından dolayı metrenin incelenmesi bu çalışma adına daha yararlı olacaktır.

Metrolojinin ilerlemesiyle beraber nitekim ölçme de bu durumdan kendine düşen payı almış ve daha hassas ölçümler yapmak mümkün olmuştur. Bununla beraber yapılan ölçümlerin hassasiyeti arttıkça sonuçlar da ciddi boyutta doğruya yaklaşmıştır. Ölçmeye kısaca değinilecek olunursa “aranan bir büyüklüğün tercih edilen ölçme biriminin katları cinsinden bulunması” diye tanımlanabilir. Dünyada bir kenar yahut bir açı defalarca ölçüldüğünde bulunan her değer arasında küçük farklılıklar olduğu görülür. Yapılan her ölçümün sonucunu bire bir aynı bulmak imkânsız bir şeydir. Ölçme hataları diye adlandırılan bu farklar ölçü aletlerinin iyi kalibre edilememesinden, ölçüm yapan kişinin becerisinden ve çevresel şartların değişkenliğinden kaynaklanabilir. Hâlbuki haritaların yapılma amacına göre gereken hassasiyeti sağlaması gerekir. Bu bağlamda belirli hataların çıkarılması belirli hatalarınsa ölçüme etkisinin az olması için elimine edilmesi gerekir. Yani ölçme işleminde ortaya çıkan hataların iyi anlaşılması ve derinden incelenmesi azami derecede önem arz etmektedir.

#### 4. Ölçmede Hata ve Sebepleri

Ölçmede yukarıda kaynakları belirtilen hataların çeşitleri mevcuttur ve bu hataları sınıflandırarak üzerinde işlem yapılır. Genellikle dikkatsizlikten doğan, ölçüm iterasyonunda kendini bariz belli eden hatalara “kaba hatalar” denir. Çözüm olarak o ölçümün yerine daha dikkatli bir ölçüm yaparak veriyi yenilemek suretiyle veya direk o veriyi işleme sokmadan hesap yapmak usulüyle kaba hatadan kurtulmak mümkündür.





Şekil 3 Kaba Hatalar

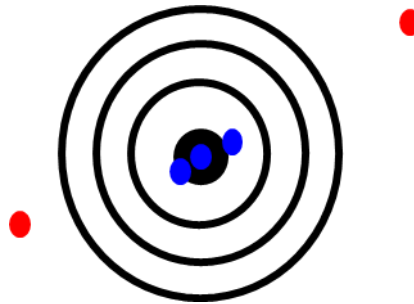
Diğer bir hata çeşidiyse “sistemik(düzenli) hatalar”dır. Bu hatalar ölçüyü aynı yönde ve aynı miktarda etkileyen hatadır. Ölçüme ne kadar etki ederse etsin hata aynı kalır ve her ölçüme o hata elde edilen verilere yapışik olarak bulunur.



Şekil 4 Sistemik Hatalar

Sistemik hatalardaki bu durum fraktal yapılara benzetilebilir. Bilindiği üzere fraktal yapılarda verilen oranda ve miktarda tekrar etmek suretiyle bir yapı oluşur, keza ölçüme de bu durum geçerlidir. Hata değeri, verilen orana; doğru sonuca varmak için yapılan tekrarlarla, fraktaldaki iterasyonlara çok benzerdir. Fraktallarda ne kadar iterasyon meydana gelirse o kadar da dallanma gerçekleşir. Ölçüme ise aynı durum sistemik hatalar için bu dallanmalardan farksızdır. Bu hata türünün üstesinden gelmek adına yapılan işlemlerde mevcuttur.

Diğer bir türse “düzensiz (rastlantısal) hatalar”dır. Hemen hemen yazılmış bütün kaynaklarda en tehlikeli hata türü olarak bahsedilir. Küçük miktarda oluşum gösteren hatalardır. Ölçüleri bazen artı(+) bazense eksi(-) yönde etkiler. Bu hatalar genellikle insan becerisinin sınırlarıyla alakalıdır veya aletin tam yapılamayan ayarlarından kaynaklanır. Bu hataların, diğer iki yöntemde kullanılan yöntemleri kullanarak düzeltilmesinin imkânı yoktur fakat bu hataların belli sınırlar içinde tutulması mümkündür. Hatanın dağıtılması suretiyle aşılabilir.



Şekil 5 Düzensiz Hatalar

Sonuç olarak,

1. Bir ölçü ile bir bilinmeyen gerçek değerine ulaşmak mümkün değildir.
2. Yapılan her ölçüm içinde hata barındırır.
3. Mevcut hatalardan belli bir bölümü önlememektedir.
4. Bir ölçümle gerçek değer değil, birçok ölçümle kesin değer belirlenebilir.

Çıkarımları yapılabilir.

## 5. Ölçme ve Kaos

Yapılan ölçümler bir sistem gibi düşünülürse bu sisteme etki eden birçok hata türü vardır. Ölçmede her zaman aranılan ölçüt doğruya en yakın olan sonuçları bulmaktır. Zaten bu durum Kaos'un kendisini bilfiil açıklamaktadır çünkü bunun adı belirsizliktir ancak bu durumda "hiçbir ölçüm işe yaramaz, doğru değil" gibi çıkarımlar yapılması da anlamsız olacaktır. Önemli olan şey ölçmede hata sınırına bağlı kalınıp kalınmadığı ve bu ölçümün yapılma sebebidir. Eğer topçu birliklerinin kullanımına sunulacak bir harita yapılması maksadıyla ölçüm yapılıyorsa, yapılacak santimetre, desimetre düzeyinde hataların çok bir etkisi olmayacaktır çünkü top mermisi 2 metrelik bir hataya göre atılsa bile tesir alanından kaynaklı olarak, istenilen bölgeyi de etkisi altına almış olacaktır. Fakat ölçüm tektonik hareketler için yapılıyorsa yapılan ölçüm o kadar hassas olmalıdır ki santimetre değil milimetre hatta milimetre altı seviyede doğruluk bile önem arz etmektedir. Çünkü tektonik hareketlerin tespitinde yapılan ölçümler fay hareketlerinde, yer kabuğunun hareketlerinde elde edilen verilerse deprem tahmininde aşırı derecede işe yaramaktadır ve hareketler çok küçük boyutta meydana gelmektedir. Ufak hatalar bile ölçmeyi çok yanlış sonuçlara götürebilmektedir. Bu durumu kelebek etkisiyle ilişkilendirilmeden geçmek yanlış olur. Ölçümde yapılacak çok küçük bir yanlış, deprem tahmininin belki çok daha ileri tarihlerde tahmin edilmesine, bu da önlem alınmamasına ve bir sürü can ve mal kaybına sebebiyet verebilecektir. Kelebeğin çırdığı kanat kadar küçük bir yanlış, fırtınaların meydana getirdiği hasar kadar kayba sebebiyet veren büyük bir depremle, büyük zararlara neden olacaktır. Ölçümlerde hata kaynaklarından bahsedilmişti. Çelik şerit metreyle ölçüm yaparken ortamdan kaynaklanan faktörler ele alınacak olunursa sıcaklık, basınç, çelik şerit metrenin yapıldığı materyal, vs. birçok bağımsız değişken vardır ve yapılan ölçümler de bu değişkenlere bağımlı olan değişkendir. Kaos teorisine göre sistemde ne kadar çok değişken varsa o sistemin çözümü bir o kadar da imkânsızdır. Kaos teorisi eğer ölçmeyle ilişkilendirilecek olunursa çevresel faktörler sistemi etkileyen değişkenler gibi düşünülebilecektir ve ölçümlerin tam manasıyla doğru (hatasız) çıkması imkânsız olacaktır (sistemin çözümü imkânsız). Doğru yani tam manasıyla, ölçümde her seferinde aynı değer çıkması için gereken şartlar bilindiği kadarıyla hava basıncının hep aynı olması, sıcaklığın hiç değişmemesi veya ölçüm yapılan aletin sıcaklık gibi çevresel faktörlerden hiç etkilenmemesiyle mümkün olabilir. Ölçüm yapan personele de başarmasının imkânsız olduğu, yetenekleriyle alakalı birçok görev düşmektedir. Bu imkânsızlıklar çerçevesinde ölçmenin hatasız olamayacağı Kaos Teorisi'yle açıklanmıştır.

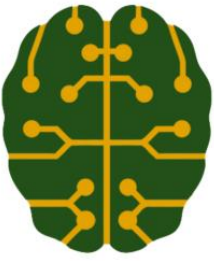
## 6. Sonuç

Kaos Teorisi birçok bilim dalını etkilemiştir. Başta fizik kimya gibi sayısal bilimler olmak üzere sosyal bilimlere bile sıçrayan geniş yelpazeli bir kuramın ölçme bilgisi ve metroloji üzerine etkisinin olmayacağını veya ilişkilendirilemeyeceğini düşünmek çok büyük bir yanlış olacaktır. Kaos Teorisi bu konuda bazı dersler çıkarılması için yardımcı olabilir. Ölçmede kesin ve net sonucun bulunamayacağını, hatasız ölçümün olmadığı belirtilmiştir. Yani ölçümde doğru olan değeri bulmak için vakit kaybetmenin anlamsız olduğunu, sadece daha hassas sonuçlar bulunması gerektiğini ders almak gerekmektedir. Kaos Teorisi'ne göre "sistemin çözümü

imkânsızdır.” yargısı aynen ölçme adına da içinde çok değişken bulunduğundan geçerlidir. Aynı zamanda yapılan hataların tekrar edilmesi fraktalın adımını artıran iterasyonlara benzetilebilir ve bu fraktalı dallandırır. Ölçümün doğruya daha yakın yapılabilmesi için “hata fraktalının” iterasyonunun durdurulması ve dallanmanın engellenmesi gerekir. Hassasiyet gerektiren ölçümlerde çok küçük detaylara bile dikkat edilmelidir yoksa bu durum çok büyük felaketlerin ortaya çıkmasına, ölçümün çok farklı yerlere sapmasına sebep olabilecektir. Kelebek etkisi konusu hassasiyet isteyen ölçümlerde çok önemlidir. Sonuç olarak Kaos, insanlık ve ölçümleri var olduğu sürece insanlıkla beraber varlığını sürdürecektir ve birden fazla değişkenin olduğu bütün sistemleri içine alıp etkileyecektir. Bu durum da Kaos’u daha “kaotik” hale getirecektir.

## 7. Kaynakça

- [1] KARAÇAY, T. (2004). Determinizm ve Kaos. Mantık, Matematik ve Felsefe 2’nci Ulusal Sempozyumu (s. 6). Ankara: Başkent Üniversitesi.
- [2] RUELE, D. (1998). Rastlantı ve Kaos. (s. 60-61). Ankara: TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları.
- [3] KARAÇAY, T. (2004). Determinizm ve Kaos. Mantık, Matematik ve Felsefe 2’nci Ulusal Sempozyumu (s. 6). Ankara: Başkent Üniversitesi.
- [4] ERTÜRK, A. (2012). Kaos Kuramı: Yönetim ve Eğitimdeki Yansımaları. Kastamonu Eğitim Dergisi, 849-868.
- [5] ÇOBANOĞLU, F. (2008). Değişim mantığını anlamak: Akış ve dönüşüm olarak örgüt. Pamukkale Üniversitesi Eğitim Dergisi, 23.
- [6] GLEICK, J. (2000). Kaos: Yeni Bir Bilim Teorisi (F. Üçcan, Çev., s. 25). içinde İstanbul: Tübitak Popüler Bilim Kitapları.
- [7] METRE’NİN GEÇMİŞİNDE BİR KÜÇÜK GEZİNTİ. (2016, Mart 9). Metroloji Okulu: <http://www.metrolojiokulu.com/metroloji.htm> adresinden alındı.
- [8] METRE’NİN GEÇMİŞİNDE BİR KÜÇÜK GEZİNTİ. (2016, Mart 9). Metroloji Okulu: <http://www.metrolojiokulu.com/metroloji.htm> adresinden alındı.
- [9] METRE’NİN GEÇMİŞİNDE BİR KÜÇÜK GEZİNTİ. (2016, Mart 9). Metroloji Okulu: <http://www.metrolojiokulu.com/metroloji.htm> adresinden alındı.



## Nanotıp ve Biyomateryal Kullanımı

Zülfü TÜYLEK<sup>1</sup>

Inonu University, Malatya, Turkey

<sup>[1]</sup> [zulfu.tuylek@inonu.edu.tr](mailto:zulfu.tuylek@inonu.edu.tr)

**Özet:** 21. yüzyılda, büyük gelişmelerin olduğu bir bilim dalı da Biyomalzeme Bilimi' dir. Biyomateryaller, insan vücudundaki canlı dokuların işlevlerini yerine getirmek amacıyla kullanılan doğal veya kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler, belirli bir amaca yönelik olarak en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme grubudur. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiç birinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerin daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Biyomateryaller, sürekli olarak veya belli bir süre için vücut içindeki sıvılar ile temas halindedir. Canlı vücudunun, bu malzemelere karşı verdiği tepkiler son derece farklıdır. Biyoyumluluk, kullanım sürecinde malzemenin, vücut sistemine uygun cevap verebilme, vücutla uyusabilme, kendini çevreleyen dokuların normal fonksiyonlarına engel olmama ve iltihaplanma oluşturmama yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda, biyomateryal-doku etkileşimleri üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar ışığında, vücudun doğal dokularını yeniden yapılandırmaya yönelik biyoyumlu malzemelerin geliştirilmiş olduğu görülmüştür. Kullanılmakta olan biyoyumluluğu yüksek biyomateryaller, metalik biyomateryaller, biyoseramikler, polimer biyomateryaller ve biyokompozitlerdir. Yaşamda aldığı büyük yer nedeniyle biyomateryallerin fizikokimyasal özelliklerini belirlenmesinde yeni yaklaşımların ortaya konulması ve biyoyumluluklarının tesbitinde yeni metodların geliştirilmesi, tıp alanında yeni biyomateryallerin kullanıma sunulması için son derece önemlidir. Nanoteknoloji, tıbbi görüntüleme, farmakoloji, mikrobiyoloji, yara iyileşmesi, dokuların yenilenmesi, bazı kronik hastalıkların tedavisi, aşı ve genetik alanında uygulamaya girmiştir. Bu alandaki çalışmalar insanlığın yönünü değiştirecek bir teknolojik anahtar vazifesi görecektir. Bu çalışmada, tıp dünyasında biyomateryal seçiminde bulunacak ortopedistlere - uygulayıcılara, protez ve implant imalatçılarına, biyomateryallerin biyoyumluluk ve mekanik özellikleri hakkında bilgiler verilmektedir.

**Anahtar Kelime:** Biyomateryal, Biyosensör, Nanoküre, Nanorobot, Nanotıp

## Nanomedicine and Biomaterial Usage

**Abstract:** In the 21st century, a branch of science occurring in the great developments is biomaterial science. Biomaterials, which are used for supporting or performing the functions of live tissues in human bodies, are natural or composite materials. Composite Materials, are material groups which result from combination of at least two different materials for a certain purpose. The purpose of this combination in three-dimensional character is to obtain a feature that normally does not exist in none of the component. In other words, it is aimed to produce a material which has more outstanding features for a aimed direction. Biomaterials are touched on the fluids inside the body for a definite period or continually. Reactions, which are occurred in the living body to these materials, are extremely different. Biocompatibility is defined as the harmony to the body system of material in the usage of process, insensible with body, not to hinder normal functions of tissues surrounded itself and the capacity of not to becoming inflamed. In recent years, important studies have been done upon the influences to biomaterial-tissue. In the light of these studies, It appears that biocompatible materials have been developed for restructuring the body's natural tissues. As being used, biomaterials with high biocompatibility are metallic biomaterials, bioceramics, polymer biomaterials and biocomposites. Due to the role biomaterials play in human life, to introduce new approach in finding out their physical properties and to develop new methods improving biocompatibility are very important for the utilization of the new biomaterials in medicine. Nanotechnology has entered applications such as medical imaging, pharmacology, microbiology, wound healing, tissue regeneration, the treatment of certain chronic diseases, genetic and vaccines. Work on this area will serve as a technological key to change the direction of humanity. In this study, research informations are being given about the mechanical characters and biocompatibility of biomaterials to the orthopedists and the manufacturers.

**Keywords:** Biomaterials, Biosensors, Nanocure, Nanorobot, Nanomedicine

## GİRİŞ

21. yüzyıl teknolojisi incelendiğinde, ilerleme kaydedilen bilim dallarından birinin de biyomalzeme (biyomateryal) bilimi olduğu görülmektedir. Bu bilimin amacı, biyolojik sistemlerle uyum sağlayabilecek yeni malzemelerin geliştirilmesi ve çoğaltılmasıdır. Yapılan çalışmalar sayesinde ortopedik protezler, oftalmik sistemler, kataterler, dental implantlar, nöral implantlar, kardiyovasküler implantlar, plastik ve rekonstrüktif implantlar, insülin pompaları gibi ilaç veren cihazlar, suture, adhesifler ve kan yerine geçen sıvılar gibi genel cerrahi sistemlerde biyomateryal kullanımı çoğaldı.

Biyomateryaller, insan vücudundaki canlı dokuların işlevlerini yerine getirmek ve desteklemek amacıyla sürekli veya belli aralıklarla vücut akışkanlarıyla (kan) bir arada bulunan doğal veya sentetik yapılardır. Biyomateryal bilimi yeni bir alan olmasına rağmen, uygulama açısından kullanımı çok eski zamanlara dayanmaktadır. Biyomateryal biliminin ilk uygulamaları arasında yapay göz, burun ve dişler (altın elementinin diş hekimliğinde kullanımı) bulunmaktadır. Biyomateryaller, yalnızca implant olarak değil, vücut dışına yerleştirilen ama vücutla etkileşim halinde bulunan cihazlarda, çeşitli eczacılık ürünlerinde ve teşhis kitlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyomateryaller, hücre teknolojisinde destek malzeme olarak, atık su arıtılmasında adsorban malzeme olarak, biyosensörlerde, biyoayırma işlemlerinde, enzim, doku, hücre gibi biyoaktif maddelerin immobilizasyonunda ve biyoçiplerdeki kullanımları mevcuttur. Zarar görmüş sert dokuların cerrahi bir ameliyat sonucu sentetikleri ile yer değiştirmesi, pratikte uygulaması olan bir yöntemdir. Bölgelere göre dentaller, yerleştirildikleri yer ve yapacakları işlevler, kullanılan diz, kalça, omuz, dirsek, el bileği ve parmak eklemi protez malzemenin özelliklerine göre farklılık gösterir [1].

Günümüzde, yüzlerce firma tarafından çok sayıda biyomateryal üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak, hala

biyomateryalden kaynaklanan aşılammamış sorunlar mevcuttur. Nanoteknoloji, bilişim teknolojileri ve üretim yöntemleri gibi alanlarda elde edilen gelişmeler sayesinde daha mükemmel uyuma sahip biyomateryal kullanımı hedeflenmektedir. Biyomalzemeler veya cihazlar, herhangi bir hastalık veya sakatlıkla kaybedilmiş bir fonksiyonu yerine getirebilir, geliştirebilir veya değiştirebilir. Tabii ki hiçbir zaman bu fonksiyon orijinal olarak yerine konulamaz [4]

## 1. BİYOMATERYAL NEDİR?

İnsan, doğası gereği sağlık sorunları ile mücadele eden canlı bir organizmadır. Koruma, önleme sistemleri, iyileşme özellikleri olsa da insan vücudunun hastalık yapan bazı organizmalara karşı savunmasız kaldığı zamanlar vardır. İşte bu nedenle insanoğlu doğası gereği zayıflıklarını gidermenin yollarını sürekli aramış, kaybettiği bir dişi, bacağı, kolu yerine tekrar koymak istemiştir. Bunu yaparken de biyolojik yapıya en yakın sentetik malzeme kullanmayı hedeflemiştir. Aradan geçen zaman içerisinde biyomateryallerin yapısı ve etkileşimleri daha iyi anlaşılmış ve bilimsel alanda ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu alandaki en önemli hususlardan birisi beklenen gereksinimleri karşılayacak uygun biyomalzeme seçimidir. Bu amaç doğrultusunda Tablo 1 göz önünde bulundurulur.

Malzemelerin Uygulama Alanları	Malzeme Türleri
<b>Duyu Organları</b>	
Göz içi lensler	PMMA, silikon kauçuk, hidrojel
İç kulak kanalında	Platin elektrotlar
Kontakt lensler	Silikon-akrilat, hidrojel
Kornea bandajı	Kolajen, hidrojel
<b>İskelet Sistemi</b>	
Diş implantları	Titanyum Titanyum, Alümina, Kalsiyum Fosfat
Eklemler	Titanyum, Titanyum-Alüminyum-Vanadyum alaşımları
Kemik dolgu maddesi	Poli (metil metakrilat) (PMMA)
Kemikte oluşan şekil bozukluklarının tedavisinde	Hidroksiapatit
Kirik kemik uçlarını tespit için kullanılan ince metal levhalar	Paslanmaz çelik, kobalt-krom alaşımları
Yapay tendon ve bağlar	Teflon, poli (etilen tereftalat)
<b>Kalp / Damar Sistemi</b>	
Kan damarı protezleri	Poli (etilen tereftalat), teflon, poliüretan
Kalp kapakçıkları	Paslanmaz çelik, karbon
Kataterler	Silikon kauçuk, teflon, poliüretan
<b>Organlar</b>	
Yapay kalp	Poliüretan

**Tablo 1. Doğal / sentetik biyomedikal malzeme kullanımı [2]**

Canlı bir dokunun görevini üstlenen, destekleyen veya sistemin bir parçası olarak görev alan sentetik veya doğal malzemelere biyomateryaller denir. Biyomateryaller, vücut sıvılarıyla sürekli veya belirli bir süre temas halinde bulunurlar. Diyaliz makineleri, diş implantları, yapay eklem, ameliyat iplikleri, plastik cerrahi, kontakt lensler aslında günlük hayatımızda sıkça karşılaştığımız biyomateryal kullanım alanlarıdır. Ayrıca, ortopedik uygulamalarda eklem protezi ve kemik yenileme malzemesi olarak, yapay kalp parçalarında, kalp kapakçığında, kateter, fiksator malzemesi olarak, bel kemiği enstrümantasyonlarında, metal parçalarda, vidalarda, vida pullarında, delikli vidalarda, çivilerde, fiksator tellerinde, anatomik plaklarda, kalça plaklarında, açılı plaklarda ve vücuda yerleştirilebilir cihazlarda vb. yerlerde de karşılaşılmaktadır [6].

Metaller dayanıklı, kolay şekil alabilen, aşınmaya karşı mukavemetli olmaları nedeni ile biyomalzeme olarak tercih edilmektedir. Metallerin biyoyumluluklarının düşük olması, vücut sıvılarında korozyona uğramaları, dokulara göre çok sert olmaları ve alerjik doku reaksiyonlarına sebep olmaları dezavantajlarıdır.

1900'lerin başında implant malzemesi olarak saf metal kullanımı yaygındı. Bu malzemelerin başarısı 1930'larda gelişen ameliyat teknikleri sayesinde daha da arttı ve titanyum gibi alaşımların kullanımı ortaya çıktı. Bilim insanları metallerin aşınma problemlerinden dolayı kemik dokusuna bağlanabilecek çeşitli cam ve seramik malzemeler üzerinde çalışıyordu. Bu alanda çalışan Larry Hench 1969'da biyoaktif cam veya biyocam malzemeleri geliştirildi. Bu malzemeler biyoyumlulukları yüksek ve korozyona dayanıklı olmalarına karşın sert, kırılabilir olmaları, zor işlenen, mekanik özellikleri düşük ve yoğunlukları yüksek malzemelerdir. Bu nedenle ortopedik ve diş implantları metalik biyomalzeme ve biyoseramiklerden yapılırken, kalp-damar sistemi ve genel plastik cerrahi malzemeleri polimerlerden yapılır. Manyetik özellik taşımayan polimer kompozitler, manyetik rezonans ve tomografi

gibi modern sistemlerle uyumlu çalışır. Seramikler ve metal alaşımlar radyo-opak özelliğe sahip olduklarından X-ışınları radyografisinde problem oluştururlar. Oysaki kompozit malzemelerde radyo-şeffaflık ayarlanabilir. Hafif olan ve üstün mekanik özellikler sergileyen kompozitler görüntüleme cihazlarının yapısal bileşenleri olarak son derece uygundur [12].

Polimer teknolojisi 21. yüzyıldaki gelişmeler sayesinde diş hekimliği ve kalp-damar cerrahisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Örneğin katarakt tedavisinde PMMA gibi polimer malzemelerin kullanımları halen mevcuttur. Polimerler vücut sıvıları ile temas etmeleri sonucu şişebilir veya işlenmesi sırasında özelliklerinde değişimler olabilir. Etkin maddelerin difüzyonla, çözücünün sisteme girmesine bağlı olarak gelişen ozmotik etki veya şişmeyle, pH ve hidrolize dayalı kimyasal enzimlere bağlı biyolojik etkiler sonucu polimerin parçalanması veya ilacın polimerden kimyasal olarak ayrılmasıyla sistemde salımı gerçekleşir. Metaller, polimer malzeme dayanıklılığının zayıf kaldığı alanlarda, sağlamlıkları ve dirençleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak metallerin düşük biyoyumlulukları, korozyona uğramaları veya doğal dokudan çok daha sert olmaları dezavantajlarındandır. Yüksek biyoyumluluğa sahip titanyum gibi metallerin yanında zehirleyici etkiye sahip polimerler de mevcuttur. Doku veya kan ile temas eden materyaller, sağlık açısından potansiyel bir risk taşıyan bazı reaksiyonlara sebep olduğu için sistemlerin avantaj ve dezavantajları uygulamaya geçilmeden önce çok iyi kıyaslanmalıdır (Tablo 2).

Materyaller	Avantaj	Dezavantaj	Uygulama Alanı
<b>POLİMERLER</b> - Silastic® kauçuğu Teflon® - Dacron® - Nylön®	Esnek ve düşük dansitedir. Materyal üretiminde fabrikasyon zorluğu yoktur.	Mekaniksel güçleri düşük olduğundan zamanla parçalanırlar.	Cerrahi iplikler, arterven, damarlar, tendonlar, burun, kulak elmacık kemiği
<b>METALLER</b> - Vitalyum - Titanyum Alaşımın - 316, 316L, S, S	Genime dirençleri yüksek olduğundan dayanıklı materyallerdir.	Biyoyumlulukları düşüktür ve dansiteleri yüksektir. Vücut içerisinde korozyona uğrarlar	Ortopedik birleştiriciler (tabaka, çivi vb.), diş implantları.
<b>SERAMİKLER</b> - Alüminyum Oksitler - Kalsiyum Alüminatlar - Titanyum Oksitler - Karbonlar	Biyoyumluluk iyidir ve inerttirler. Korozyon ve fazla sıkıştırmaya dayanıklıdır.	Düşük mekanik güvenirliliği nedeniyle esneme özelliği yoktur. Yüksek dansite nedeniyle fabrikasyon zorlukları vardır	Kalça protezleri, dişler ve derinli sistemleri
<b>KOMPOZİTLER</b> - Seramik ve Karbon kaplı metaller	Biyoyumluluk iyidir, inerttirler, korozyona dayanıklıdır ve genime dirençleri yüksektir	Materyal üretiminde fabrikasyon zorlukları vardır.	Kalp kapakçıkları, diz kapağı ve implantları.

**Tablo 2.** Sentetik materyallerin uygulandığı, avantaj ve dezavantajları [16]

İdeal biyomateryalleri elde etmek için birbirine paralel olarak gelişen teknolojiler sayesinde metal, seramik, polimer ve kompozit malzemeler gerek vücut içinde gerekse vücut dışında pek çok görevi üstlenecek şekilde kullanıldı ve kullanılmaya devam ediliyor.

Doku mühendisliğindeki gelişmeler sayesinde, klasik biyomateryallerden farklı olarak içlerine canlı hücrelerin katıldığı ve vücuda yerleştirildikten sonra hastanın kendi dokusuyla bütünleşerek hasarlı bölgenin iyileştirilmesi hedef alınmaktadır. Biyoteknoloji alanında kullanılan biyomateryaller hasarlı dokunun değiştirilmesi, tedavi edilmesi, iyileşmenin desteklenmesi veya bir sorunun teşhis edilmesi gibi çeşitli amaçlara sahiptir. Biyoteknolojide, atıkların arıtılmasında, endüstriyel biyolojik üretimde ve kaçınılmaz olarak ilaç sektöründe kullanılan biyomateryallerin hala aşılamayan eksiklikleri bulunmaktadır. Bu anlamda biyomateryal bilimi tıp, doku mühendisliği, biyokimya, fizik gibi alanlarla iş birliği içerisinde ilerleyen çok yönlü gelişen ve gelecek vaat eden bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 1.** Biyomateryal biliminin diğer bilim dallarıyla ilişkisi

Biyomateryaller dolgu maddesi, diş implantı

ve diş dokusu gibi malzemelerin yeniden oluşturulmasında etkinler. Diş çürükleri veya travmatik nedenlerle zarar görmüş diş dokularını onarmak için, çeşitli dolgu malzemeleri kullanılır. Arka dişlerin restore edilmesi esnasında dolgu malzemesi olarak çoğunlukla amalgam alaşımı tercih edilir. Amalgam, yüz yılı aşkın bir süredir dolgu malzemesi olarak diş hekimliğinde kullanılmaktadır. Bakır, gümüş, kalay ve çinko'dan oluşan amalgam tozu civa ile karıştırıldığında sert ve dayanıklı amalgam alaşımı elde edilir. Estetik olmaması ve civa içermesi bu alaşımın başlıca olumsuz yanlarıdır. Bu alanda son yıllarda, dişin doğal rengine uygun estetik dolgu malzemelerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu türün geliştirilen ilk malzemesi, Bis-GMA (Bis fenol A-glisidil dimetakrilat) esaslı organik matris içerisine cam-esaslı doldurucu parçacıkların katılmasıyla hazırlanmış olan kompozit rezin'dir. Kompozit malzemelerde geleceğe yönelik en önemli hedef, büzülme göstermeyen, hatta genişleyen monomerlerin geliştirilmesidir. Polimerizasyon büzülmesinin az olduğu dolgu malzemesi olarak ormoser adı verilen organik seramiklerdir. Ormoser kompozit, inorganik-organik kopolimerler ve inorganik silahlanmış doldurucu parçacıklar içerir. Estetik kompozit rezinler günümüzde ön ve arka dişlerin restore edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin diş minesine yaptığı bağ, oldukça dirençlidir. Mineye bağlanması sırasında sergilediği başarıya karşın, organik içeriğinin fazla olması ve su içermesi nedeniyle dolgu malzemelerinin bağlanması için çok elverişli bir doku değildir. Bu alandaki en son gelişme, dentin ve mine dokusuna asit ön uygulaması yapmaksızın doğrudan asidik içerikli yapıştırıcıların uygulanmasıdır. Bu uygulama işlem basamaklarını azalttığından giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Kompozit malzemeler düşük elastikiyet modülüne ve yüksek dayanıma sahip olduklarından, ortopedik uygulamalarda kullanımları yaygındır için öngörülmüyorlar. Ayrıca kompozit malzemenin bileşimi değiştirildiğinde, implantın vücut içindeki mekanik ve fizyolojik şartlara uyum sağlaması

kolaylaşır. Bu nedenle kompozit malzemeler, homojen malzemelere oranla, yapısal uyumluluğun sağlanması açısından daha avantajlıdır [12].

## 2. METALİK BİYOMATERYALLER

Kristal yapıları ve sahip oldukları güçlü metalik ilişkileri nedeniyle üstün mekanik özellikler sergileyen metal ve metal alaşımlar biyomateryal alanında büyük bir kullanım imkânına sahiptir. Ortopedik uygulamalarda eklem protezi ve kemik yenileme malzemesi olarak, yüz ve çene cerrahisinde veya kalp-damar cerrahisinde yapay kalp parçaları, kateter, vana, kalp kapakçığı olarak kullanım sahaları mevcuttur. Biyomedikal cihaz teknolojisinde teşhis ve tedavi amaçlı üretilen cihazların metalik kısımları biyomateryal malzemelerden yapılır. Demir, bakır, krom, kobalt, nikel, titanyum, tantal, molibden ve vanadyum gibi metallerin uygun miktarlarda birleştirilmeleri sonucu biyomateryaller üretilir. Biyomedikal alanda en uzun geçmişe sahip olan ve insan vücudunda kullanılmak üzere geliştirilen ilk metal Vanadyum Çeliği'dir. Kemik kırıklarında plaka ve vida olarak kullanılmıştır. 1960'lara kadar kullanılan bu protezler, vücut içerisinde korozyona uğraması ciddi tehlikeler oluşturduğundan sonraları kullanımdan vazgeçilmiştir [10].

Üretimi gerçekleşen biyomateryaller vücuda uyumluluk göstermek zorundadır. Metallerin biyolojik ortama uygunluğu vücut içerisinde korozyona uğramasıyla ilişkilidir. Korozyon, metallerin çevresiyle istenmeyen kimyasal reaksiyona girmesi sonucu oksijen ve hidroksit gibi bileşikler oluşturarak özelliğini kaybetmesi sonucu oluşur. İnsan vücudundaki akışkan, su, çözünmüş oksijen, klorür ve hidroksit gibi iyonlar biyomateryaller açısından oldukça korozif bir ortamdır. Bu ortamlarda bulunan malzemeler korozyon sonucunda zayıflar veya oluşan korozyon ürünler doku içerisindeki hücrelere girerek zarar verir. Ayrıca ortopedik uygulamalarda farklı metaller birbirleri ile temas ettiğinde vücut sıvısı içerisinde galvanik pil oluşur. Bu ortamda bulunan cerrahi paslanmaz çelik tel, kobalt veya titanyum alaşımdan yapılmış femur

parçaya temas ederse galvanik pil oluşur ve galvanik korozyon meydana gelir [3]. Ortopedik malzemelerin kullanılacağı yerler, kişinin ağırlığı, günlük aktivitesi, mekanik özelliği ve mekanik yükler dikkate alınarak seçilir. Canlılar, günlük aktiviteleri sırasında kemiklerde 4 MPa, tendonlarda ise 40–80 MPa değerinde gerilme etkisi gösterir. Kalça eklemine oluşan ortalama yük, vücut ağırlığının 3 katına kadar çıkmaktadır. Sıçrama işlemi esnasında bu değerler vücut ağırlığının 10 katına kadar çıkabiliyor. Günlük aktivite (ayakta durma, koşma, oturma) sırasında vücuttaki gerilmeler gün boyunca tekrarlanır. Bu tekrarlı hareketler biyomalzemelerin yorulmasına, çatlamasına ya da plastik deformasyonuna neden olabilir [6].

Ortopedik malzeme seçiminde, şekil verilebilirlik, üretilebilirlik, kullanım esnasında maruz kalınacak gerilmelere karşı dayanım, biyoyumluluk, toksik etki ve vücut sıvılarının korozif etkileri gibi özellikler dikkate alınır. Kullanılan malzemelerden uzun süreli korozyon dayanımı göstermesi beklenir. Biyomateryaller, korozyon açısından kullanılacak olan yerin biyolojik yapısına uygun seçilmelidir. Bunu sağlayabilmek için vücut sıvılarından alınan numuneler ve buna çok yakın bileşimde hazırlanan çözeltiler kullanılarak biyomateryallerin uygunluk testi yapılmalıdır. Biyomateryal uygulamasına geçmeden önce, kişinin ortopedik malzemelere karşı alerjik yapısı dermatologlar tarafından çeşitli alerji testleri kullanılarak (Patch Testi gibi) araştırılmalıdır. Biyoyumluluk göstermeyen biyomateryaller, implantların ve protezlerin üretiminde kullanılacak olan malzemeler açısından tehlike arz etmektedir. Son yıllarda, biyomalzeme/doku etkileşimleri üzerinde yapılan çalışmalar sayesinde vücudun doğal dokusuyla uyumlu biyomalzemeler geliştirilmiştir [7].

## 3. BİYOSERAMİKLER

Ateşin keşfinden sonra kil'in seramik çanak çömleğe dönüştürülmesi, insanların göçebe hayat tarzından yerleşik tarımsal yaşama



geçmesinde büyük rol oynamıştır. Seramiklerin insan hayatında oluşturduğu en büyük gelişme, vücudun zarar gören veya işlevini yitiren kısımlarının onarılması, yeniden yapılandırılması veya yerini alması için özel tasarlanmış seramiklerin geliştirilmesi ve kullanılması sonucu gerçekleşmiştir. Özel olarak tasarlanarak üretimi gerçekleştirilen seramiklere biyoseramikler denir. Biyoseramikler, polikristalin yapılu seramik (alümina ve hidroksiapatit), biyoaktif cam, biyoaktif cam seramikler veya biyoaktif kompozitler (polietilen–hidroksiapatit) şeklinde kullanıma hazırlanır. Yüksek yoğunluk ve yüksek saflığa sahip alümina, yüksek dayanımı, korozyon direnci ve iyi biyouyumluluk özelliğinden dolayı, diş implantlarında ve kalça protezlerinde yaygın olarak kullanılır. İri tane yapısına sahip polikristalin alfa-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün, 1600-1700°C sinterlenme sıcaklığında alümina elde edilir. Alümina, 20 yılı aşkın süredir ortopedik uygulamalarda kullanılmaktadır. Zirkonya (ZrO<sub>2</sub>), kimyasal kararlılık, sertlik ve aşınma dayanımı açısından iyi bir performans gösterir. Zirkonya da, alümina gibi bulunduğu fiziksel ortam üzerinde atıl etki gösterir. Çok daha yüksek çatlama ve bükülme direncine sahip olan zirkonya, uyluk kemiği protezlerin de başarıyla kullanılır. Ancak fizyolojik sıvılar nedeniyle zamanla gerilme direncinin azalması, kaplama özelliklerinin zayıf oluşu ve potansiyel radyoaktif malzemeler içermesi gibi dezavantajları vardır. Zirkonya içerisinde yarılanma ömrü çok uzun olan radyoaktif elementler (uranyum, toryum, vb) bulunur. Bu elementleri yapıdan ayırmak çok zor ve pahalı işlemler gerektirir. Radyoaktivite alfa ve gama etkileşimi olarak ortaya çıkar ve alfa parçacıkları, yüksek iyonlaştırma kapasitesine sahip olduklarından, yumuşak ve sert doku hücrelerini tahrip etme olasılığına sahiptir. Radyoaktivite düzeyi düşük olduğundan bu etkinin uzun süreli sonuçlarının incelenmesi gerekir.

Ozellikler	Alümina	Zirkonya
Elastikiyet Modülü (GPa)	380	190
Eğme Dayanımı	> 0,4	1.0
Sertlik (Mohs)	9.0	6,5
Yoğunluk (g / Cm <sup>3</sup> )	3,8 – 3,9	5,95
Tane Boyutu (µm)	4,0	0,6

**Tablo 3.** Alümine ve Zirkonya'nın mekanik özellikleri [13]

İnorganik malzemelerin önemli bir grubunu oluşturan seramikler, sağlık alanında çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Doku kültür kapları, gözlük camları, teşhis cihazları, termometreler, endoskopide kullanılan fiber optikler, bu uygulamalar arasında sayılabilir. Ayrıca çözünmez gözenekli camlar, enzim, antikor ve antijen taşıyıcı olarak sağlık alanında kullanılır. Seramiklerin mikroorganizmalara, çözücülere, sıcaklığa, pH değişimine ve yüksek basınca gösterdiği direnç uygulama sırasında büyük avantaj sağlıyor. Yapısal işlevlerine göre seramiklerin üç türünden söz edilir.

**3.1. Oksit Seramikleri:** Bunlar atıl yapıda olan ve oksijen iyonlarının oluşturduğu düzlemde metal iyonlarının dağılması sonucu oluşan polikristalin seramiklerdir.

**3.2. Kalsiyum-fosfat seramikleri:** Kalsiyum ve fosfat atomlarının çoklu oksitleri şeklindeki yapılarıdır. Bu seramiklerin, ortopedik kaplamalar ve diş implantlarında, yüz kemiklerinde, kulak kemiklerinde, kalça ve diz protezlerinde kemik tozu şeklinde kullanımları mevcuttur. Tüm kalsiyum fosfat seramikleri değişen hızlarda biyolojik bozunmaya uğrarlar.

**3.3. Cam ve cam-seramikler:** Silika (SiO<sub>2</sub>) temelli seramiklerdir. Cam seramikler Lityum/Alüminyum veya Magnezyum/Alüminyum kristaller içeren yapılara sahip camlardır. Biyoseramikler özellikle iskeletteki sert bağ dokusunun tamirinde veya yenilenmesinde kullanılırlar. İlerleyen yaşla ilişkili olarak bu malzemelere olan gereksinimler ortaya çıkmaktadır. Biyoseramiklerin kullanımını sınırlayan en önemli nedenler, bazı klinik uygulamadaki yavaş ilerleyen çatlaklar, yorulma ve değişik

darbe ve basınçlara dayanımlarının tam olarak bilinmemesi sayılabilir.

#### 4. POLİMERİK BİYOMATERYALLER

Biyolojik olarak üretilen ve benzersiz işlevsel özelliklere sahip olan yapılara doğal polimerler denir. Proteinler (kollajen, jelatin, elastin, aktin, vb), polisakkaritler (selüloz, nişasta, dekstran, kitin, vb) ve Polinükleotidler (DNA ve RNA) başlıca doğal polimerlerdendir. Canlı organizmalarında karmaşık yapılarının bulunması yeni ürün sentezlenmesi esnasında zorluklarla karşılaşılmasına neden olur. Sentezleme işleminin zorluğu üretim maliyetlerini yüksektir ve yeter miktarlarda üretim yapılmasını engeller. Nanoteknolojide ve biyomimetik (doğayı taklit eden) malzemelerin sentezlenmesinde anahtar rolü oynayan doğal polimerler kullanılarak lipid tübüller ve protein lateksler gibi biyopolimerik yapıların geliştirilmesi sağlanır. Doğal polimerler, sahip oldukları işlevsel özellikleri sayesinde çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Kalınlaştırıcı, jel yapıcı, bağlayıcı, dağıtma ajanı, kayganlaştırıcı, yapıştırıcı ve biyomateryaller bunlardan sadece birkaçıdır. Fermentasyon ve saflaştırma teknolojileri kullanılarak doğal hammadde temin edilmesi, sentetik polimerlerin yerine doğal polimerlerin tercih edilmesine sebep olur. Vücudun biyolojik ortamında bulunan makromoleküller, benzer veya aynısı olan doğal polimerlerle temas ettiğinde zehir etkisi ve iltihaplanma gibi istenmeyen reaksiyonlar göstermez. Elde edildikleri kaynağa bağlı olarak bileşimlerinin değişmesi, yüksek sıcaklık altında bozunmaları, şekil verilme esnasında karşılaşılan güçlük ve immünojenik (bağışıklık tepkisine yol açma) olmaları önemli dezavantajlarıdır.

Sentetik polimerler, küçük ve tekrarlanabilen yapıların oluşturduğu uzun zincirli moleküllere denir. Sentetik polimerler, yapı taşları olan monomerlerden farklı özellik gösterir. Bu nedenle, kullanılacağı alana yönelik olarak uygun biyomateryal seçimi biyotıp sektöründe dikkatlice yapılmalıdır. Polimer yapısı uzun hidrokarbon zincirine sahip olan monomerler, karbon ve hidrojen atomlarından oluşur.

Kullanımda olan en basit monomer ise etilen'dir. Oluşturduğu polimer ise polietilen olarak adlandırılır. Işık geçirgenliği, sertliği ve kararlı yapısı nedeniyle göz içi lens ve sert kontakt lens üretiminde yaygın olarak kullanılır. Tıbbi uygulamalarda yüksek yoğunluğa sahip olan polietilen tercih edilir. Çünkü alçak yoğunluklu polietilen sterilizasyon (otoklavlama, etilen oksit, Co radyasyonu) esnasında uygulanan sıcaklığına dayanamaz. Polietilenler, tüp formundaki uygulamalarda ve kateterlerde, çok yüksek molekül ağırlıklı olanı ise yapay kalça protez uygulamalarında tercih edilir. Polietilen malzeme sertliğinin iyi olması nedeniyle yağlara karşı dirençlidir. Polipropilen, polietilen'e benzer, fakat ondan daha sert bir yapıya sahiptir. Kimyasal direnci yüksek ve çekme dayanımı oldukça iyi olmasından dolayı, polietilen'nin yer aldığı uygulamalarda polipropilen de rahatlıkla kullanılabilir. Polivinilklorür (PVC) ise kan nakli, diyaliz ve beslenme amaçlı olarak tıbbi uygulamalarda tüp formundaki uygulamalarda kullanılır. Polivinilklorür, sert ve kırılabilir bir malzeme özelliğine sahip olmasına karşın, yapısına plastikleştirici ilavesiyle yumuşak ve esnek hale getirilir. Mükemmel esneklik ve kararlılık sergilemesi nedeniyle parmak eklemleri, kalp kapakçıkları, kan damarları, göğüs implantları, dış kulak, çene ve burun implantları gibi çok sayıda protez uygulamalarında kullanılır. Poliüretanlar, yumuşak ve sert segmentlerden oluşur. Kanla uyuşma özellikleri çok iyi olduğundan kalp-damar uygulamalarında tercih edilirler.

Polimerlerin kullanım şekli	Polimerlerin kullanım yeri
Çözelti / Jel	Biyoprotezlerin kaplanması İlaç salınım sistemleri Kozmetik Kozmetik deri defektlerinde enjekte edilebilir Üç boyutlu hücre kültürü
İnce içi boş tüp	Hücre kültür matrisi Sinir hücre rejenerasyonu Tübüler doku malzemesi
Küre / Mikroküre	Hücre kültürü için taşıyıcı İlaç salım sistemi
Membran	Bel kemiği cerrahisi Diyaliz membranı Doku rehberli rejenerasyon Kornea koruyucusu Yara örtü materyali Yamalar
Sünger	Hemosolatik ajan İlaç salım sistemi Üç boyutlu hücre kültürü Yara ve den örtü materyali
Toz / Rijit form	İlaç salım sistemi Kemik dolgu ve onanımı Kemik onanımı

**Tablo 3.** Doğal polimerlerin kullanım alanları [15]

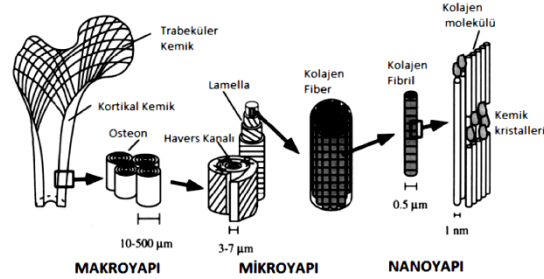
## 5. NANOTIP NEDİR?

Nanotıp, nanoteknoloji uygulamalarında en çok ilgi çeken, potansiyel kullanım alanı oldukça geniş olan, biyoteknoloji ve biyomedikal alanlardaki gelişmelere bağlı olarak gelişim gösteren bir bilim dalıdır. Gelişimin temel nedenlerinden biri, biyolojik bilgi taşıyan ve çeşitli işlevleri olan protein, DNA gibi yapıların fiziksel boyut bakımından nano ölçeklerde olmasıdır. Diğer bir nedeni ise analizi yapılacak olan biyolojik moleküllerin çok zahmetli işlemlerden sonra sınırlı miktarlarda elde edilebilmesi. Modifikasyon işlemlerinde biyolojik moleküllerin analizinde kullanılan sistemlerin küçük boyutlu olması gerekir. Nanoteknoloji ilk olarak gündeme geldiğinde, biyoloji ve tıp alanlarında ne tür gelişmelerin olabileceği hakkında farklı fikirler vardı. İşte bu fikirler bugün bize nanotıp ve nanorobot teknolojilerinin kapılarını araladı. Nano kelime olarak çok küçük anlamına gelmektedir. Nanotıp ise hastalıkların ve yaralanmaların çok küçük ölçeklerde teşhisi ve tedavi edilmesi olarak tanımlanır. Nanotıp, nanokürelerle ilaç salımından, doku yapılanmasını gerçekleştirecek nanoteknolojik tasarıma dayalı doku iskelelerine, hatta teşhis ve tedavi amaçlı nanorobotlara kadar farklı uygulamaları kapsıyor. Sergiledikleri cazip özellikler sayesinde inorganik ve organik peptit ve protein nanoyapılar tıp, sanayi, teknoloji ve endüstri alanlarında kendine birçok uygulama imkânı bulmuştur. Artmış ilaç çözünürlüğü, parçalanmaya karşı koruma, toksik etkilerin azalması, uzatılmış etki, biyoyararlanımın geliştirilmesi, farmakokinetik ve dağılım özelliklerinin düzenlenmesi, hedefleme (hücre/doku) gibi birçok avantaja sahiptir.

Nanobiyoteknoloji, biyolojik materyallerin, biyomimetik veya biyolojiden ilham alınan, inorganik, organik moleküllerin nanoteknolojik cihazlarda biyolojik işlemlerin kontrol ve görüntüleme amacıyla kullanılması demektir. Nanobiyoteknoloji, materyal ve cihazların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmek veya geliştirmek amacıyla uygulanan bir bilim dalıdır. Nanoteknoloji moleküler, hücresel ve genetik özelliklerin manipüle edilmesiyle tıptan

tarıma birçok alan için yeni ürün ve hizmetler geliştiren biyoteknoloji bilim dallarının birleşmesi sonucu oluşan, biyolojik sistemleri taklit etmek veya bu sistemlerin elektronik sistemlerle uyumlu çalışmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir bilim dalıdır [5].

Hücrelerden oluşan vücudumuzda, tüm hastalıklar ve fiziksel bozukluklar moleküler düzeyde gerçekleşir. Bu nedenle tıp alanında kullanılan tekniklerin moleküler düzeye inmesi söz konusu değildir. Sağlık alanındaki problemlerin kökten çözümü için nanotıp parlak bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikro elektronik teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde, katı malzemelerin ve yüzeylerin biyolojik moleküllerle uyumlu bir şekilde etkileşim içinde bulunması sağlanır. Ayrıca mikro ve nano boyutta kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kontrolünü sağlayabilen malzeme üretim süreçlerinin belirlenmesinde de önemli rol oynar.



Şekil 2. Makro yaklaşımdan nano yaklaşıma olan değişim [14]

Nanoteknoloji sayesinde çip-üstü-lab uygulamaları sonucu geliştirilen ürünler her geçen gün artmaktadır. Gen tanımlanması, hastalıkların tespiti ve ilaç geliştirilmesi gibi alanlarda kullanımı olan ve DNA mikroarrayleri olarak bilinen sistemlerin analiz gücünün artırılması yönündeki çalışmalar örnek verilebilir. DNA mikroarrayleri kimyasal olarak aktive edilmiş cam yüzeylere, gen dizilimi bilinen DNA moleküllerinin kontrollü bir şekilde sabitlenmesi sonucu oluşturulur. Oluşturulan bu gen bankaları daha sonra analiz edilecek olan hastalıklı, ilaç yüklenmiş veya gen dizilimi hiç bilinmeyen DNA örnekleriyle reaksiyona sokularak, DNA hibritleşmesi sonucu birçok farklı genetik ve biyolojik bilgi elde etmek mümkün olabiliyor.

Malzeme biliminin ve nanoteknolojinin bu çalışmadaki yeri, DNA moleküllerinin cam yüzeylere uygun formda ve verimli olacak şekilde sabitlenmesi ve bunu artıracak yöntemlerin geliştirilmesi şeklindedir. Nano gözenekli yapısı sayesinde yüzey alanı kontrollü bir şekilde artar ve DNA sabitlenmesine yardım edecek kimyasal gruplarla aktive edilmiş silikat esaslı bir cam üstü kaplama, hem analiz ortamlarında daha dayanıklı olması, hem de DNA sabitleme kapasitesinin yüksek olması nedenleriyle, analiz duyarlılığı daha iyi olan bir seçenek oluşturur. Araştırmacıların özellikle son yıllarda keşfettiği şey, vücudun kendisi gibi nano boyutta bir yapılanmaya sahip olan yüzeylere verdiği cevabın konvansiyonel malzemelere göre çok daha farklı olmasıdır. İmplantın doğal dokuyla bütünleşmesi teknik olarak osseoentegrasyonu sahip olduğu nano boyuttaki modifikasyonlar sayesinde artar.

Tıp alanında cerrahi müdahale ve ilaç tedavisi gibi yöntemler kullanılır. İlaç tedavisi insan vücudunu moleküler düzeyde etkileyen bir tedavi yöntemidir. Dolaşım sistemi üzerinden vücut içerisine alınan ilaç molekülleri, hedeflenmeyen bölgelerde istenmeyen yan etkilere sebep olabilir. Nanorobotlar ise hastalıklı hücreleri tanıma özelliğine sahip olduğundan bu hücreler nerede olursa olsun bulup onları yok ederler. Kanseri hastalığında ilacın doğru hedefe ulaştırılması, kanserli hücrelerin tümünün yok edilmesi ve bu arada sağlıklı hücrelerin zarar görmemesi açısından önem taşımaktadır. Monoklonal antikorlar, kanser ilaçlarına tutturularak ilacın tümöre hedeflendirilmesi işlemini sağlar. Hastalıkların teşhisinde, tedavisinde, saflaştırma ve ilaç hedefleme işlemlerinde kullanılır. Monoklonal antikorlar, vücuda giren yabancı maddeyi tanıyıp onu zararsız hale getirmek üzere üretilen ve her antijenin yüzeyindeki belirleyicilerden yalnız bir tanesine hedeflenerek kilitlenen büyük protein molekülleridir. İşte bu yaklaşımlar nedeniyle tıp dünyası, süregelen tedavi yöntemlerini bir kenara bırakacak olan nanoteknolojik tıbbi gelişmeleri dört gözle beklemektedir.

## 6. NANOTIP ALANINDA KULLANILAN SİSTEMLER

**6.1. Nanoküreler:** İlaç salan sistemlerin en büyük problemi, ilacın vücudun istenilen bölgesine ulaştırılması sırasında yaşanan zorluklardır. Nanoküreler, damara enjekte edildikten sonra genellikle karaciğer veya dalakta parçalanır. Deri altına enjekte edilmeleri sonucu ise makrofajlar (virüs ve bakteri gibi vücuda giren yabancı maddeleri yok etmekle görevli hücreler) tarafından parçalanmaları nedeniyle görevlerini yerine getiremezler. Bağışıklık sistemi hücrelerinin (makrofajların) etkisinden korunmak için ilaç yüklü nanoküreler biyoyumlu bir polimer ile kaplanır. Biyolojik dokularla kaplama malzemesi arasındaki etkileşimi anlamak bağışıklık sistemleri açısından çok önemlidir. Bu nedenle biyolojik deneyler ve bilgisayar modelleri yardımıyla ilacın istenilen hedefe yollanmasını sağlayacak şekilde araştırmalar yapılmaktadır. Saklama sırasında iyi bir stabilite ve uzun yarılanma ömrü sergilemeleri nanokürelerin hedef organ veya dokulara yönelmelerini sağlar. Nanoküreler, ilacın polimer matrikste çözündüğü, hapsediği, enkapsüle olduğu, kimyasal olarak bağlandığı ya da adsorbe olduğu, matriks tipi, katı, koloidal partiküllerdir. İlaç içeren nanoküreler, gönderilmek istenilen bölgeyle ilişkili olarak 20-100 nanometre boyutunda olup oldukça polidispers yapıya sahiptirler [9].

**6.2. Nanorobotlar:** Nanorobotlar çok küçük boyutlarda olan ve insan vücudunu patojenlere (hastalık yapıcılar) karşı etkili bir şekilde savunmak amacıyla tasarlanan cihazlardır. Nanorobotların yapısı, iç ve dış olmak üzere iki bölüm halinde tasarlanır. Dış yapı, vücudumuzda bulunan çok çeşitli kimyasal sıvılarla temas edebilecek kadar dayanıklıdır. İç yapısı ise tamamen kapalı ve gerekmedikçe sıvı geçişine izin vermeyen bir vakum ortamıdır. Nanorobotlar, akustik sinyaller aracılığıyla mesaj ileterek uzman doktorla iletişime geçebilir ve verilen komutları yerine getirebilir. Görevini tamamladığında, herhangi bir yan etkiye sebep olmadan veya bozulmadan vücut dışına atılır. 1-10 MHz aralığındaki ses dalgaları sayesinde akustik

mesajlar yollanarak kontrol edilebilecek olan nanorobotların fagosite edilmesini önlemek, kısa süreli immün süpresyon ile mümkün olmaktadır [11].

Nanorobotların kullanım alanları içerisinde kozmetik ürünleri örnek verebiliriz. Nanorobot içeren kozmetik kremler, ciltteki tüm ölü hücreleri temizleyebilir, fazla yağları alabilir ve hatta cildin beslenmesi için gerekli olan maddeyi takviye yapabilir. Nanorobotlar, ağız ve diş temizliğinde kullandığımız antiseptik sıvılara eklenebilir, ağızda bulunan hastalık yapıcı bakterileri ortadan kaldırabilir ve plak ve tartarları saptayarak oluşumlarını engelleyebilir.

Kullanım ömürleri kısa olan bu nanocihazlar, biyolojik ortamlarda parçalanabilecek şekilde tasarlanan yapıları sayesinde, zararlı yan ürünler oluşturmadan, bozularak vücuttan atılabilir.

Teknolojideki gelişmeler sayesinde, nanorobot uygulamaları hayata geçirilmektedir. Nanorobot konusu incelendiğinde araştırmaların henüz başlangıç aşamasında olduğu görülür. Bu teknolojinin vaadettiği gelişmeler her geçen gün artmaktadır. Araştırma aşamasında olan bu robotların ileride cerrahların yerini alabileceği düşünülmektedir.

**6.3. Biyosensörler:** Biyosensörler (biyoalgılayıcılar), bünyesinde biyolojik bir duyurgacı bulunan ve bir fizikokimyasal çeviriciyle birleştirilmiş analitik cihazlar olarak tanımlanmakta. Biyosensörün amacı, analitin (analiz edilecek madde) miktarıyla orantılı olarak elektrik sinyali üretmektir. Biyosensörler üç temel bileşenden oluşur. Bunlar; seçici tanıma mekanizmasına sahip biyomolekül/biyoajan, bu biyoajanın incelenen maddeyle etkileşmesi sonucu oluşan fizikokimyasal sinyalleri elektronik sinyallere dönüştürebilen çevirici ve elektronik bölümler. Genel olarak biyoajanlar, biyoafinite ajanları ve biyokatalitik ajanlar şeklinde iki alt gruba ayrılırlar. Biyoafinite ajanları olan antikolar, hormon almaçları, DNA, lektin gibi moleküller antijenlerin, hormonların, DNA parçacıklarının

ve glikoproteinlerin moleküler tanımlanmasında kullanılıyorlar. Biyokatalitik ajanlarsa, analit üzerinde moleküler değişime neden olmakta ve bu dönüşüm sonucu ortamda azalan veya artan madde miktarı takip edilerek sonuca gidilmekte. Biyosensörlerin, klinik, teşhis, tıbbi uygulamalar, süreç denetleme, biyoreaktörler, kalite kontrol, tarım ve veterinerlik, bakteriyel ve viral teşhis, ilaç üretimi, endüstriyel atık su denetimi, madencilik, askeri savunma sanayi gibi alanlarda yaygın olarak kullanım alanına sahiptir. Kısa sürede sonuca ulaştırması ve uygulama kolaylığı sağlaması biyosensörlerin en önemli avantajlarından [8].

Biyosensörlerin, biyolojik tanıma ajanının bulunduğu tanıyıcı tabaka dışında, en önemli ikinci kısmı da Çevirici (Transducer) bölümüdür. Çeviriciler, biyoajan-analit etkileşmesi sonucu gerçekleşen fizikokimyasal sinyali elektrik sinyaline dönüştürür, daha sonra bu sinyali güçlendirerek okunabilir ve kaydedilebilir bir şekle getirilmesini sağlar. Bu küçük boyutlu olan değişimi en sağlıklı, doğru ve orantılı olarak yansıtan çevirici, en ideal bir şekilde değerlendirme işlemi gerçekleştirir. Ancak, bir tepkime için ideal olan çeviricinin bir başka tip tepkime için uygun olmayabileceği göz ardı edilmemelidir. Biyosensör araştırmaları, analit çeşidini zenginleştirme ve daha düşük derişimlerde ölçüm yönünde ilerlerken, çeviricilerin de daha yüksek, güçlendirilmiş bir sinyal oluşturmak için araştırmalar yoğun bir şekilde sürmektedir.

**6.4. Biyoçipler:** Biyoçipler, biyolojik olarak kullanılabilen mikroişlemciler olarak tanımlanırlar. Bir biyoçip, ultraminyatürize test tüpleri seti olarak algılanabilir. Bu sistem pek çok testin aynı anda ve hızlı bir biçimde yapılabilmesine imkân sağlar. Tipik olarak bir biyoçipin yüzey alanı bir tırnak büyüklüğünden fazla değildir. Biyoçip binlerce biyolojik tepkimeyi saniyeler içerisinde gerçekleştirebilir. Bilgisayar çipleri fotolitografi tekniği kullanılarak üretilirler. Bu teknik ile katı yüzeyler üzerinde birçok devre kanalları açılır. Biyoçip, biyokimyasal tepkimeler gerçekleştirir. Biyoçip cam veya gözenekli bir

jel veya bir polimer malzeme içerisinde olabilir. Biyoçipler istenilen bir işlevi gerçekleştirmek için tasarlanmış cihazlar ve farklı işlevler için programlanma gibi bir özellikleri yok.

Son dönemde heyecan verici gelişmelere sahne olan biyoçip teknolojisi görme ve işitme duyusunu yitirmiş insanlara bu kayıp yetilerini tekrar kazanmaları için parlak bir umut vaat ediyor. Ancak benzer şekilde implante edilmesi olası kimlik biyoçipleri bazı çevrelerde özgürlüklerin kısıtlanması ve insan haklarına saldırı olarak nitelendirilmekte.

## 7. Sonuç

Biyomateryallerde gelecek için hedefleri vermeden önce geçmişe ve bugüne bir göz atalım. Geçmişte, bir doku hasar gördüğü veya işlevini yitirdiğinde çözüm, bu dokunun uzaklaştırılması şeklindeydi. Ancak sonraları yeni antiseptiklerin, penisilin ve diğer antibiyotiklerin keşfi, hijyenin sağlanması ve aşılamalara bağlı olarak, farklı uygulama alanları gelişti. Bu durumda, hasarlı dokunun yerine sağlamların yerleştirilmesi önem kazandı. Transplantasyonda (nakil), hastanın kendi dokusu, başka bir insandan veya hayvandan alınan dokuların kullanımı söz konusudur. İmplantların (yerleştirme) ömürleri sınırlıdır. Dokulara biyoaktif olarak sabitlenmesi durumunda ortopedik protezlerin ömrü uzar. Doku yapısının yeniden inşası, doku işlevinin, metabolik ve biyokimyasal davranışların ve biyomekanik performansın yeniden kazanılmasını içeriyor. Biyomateryallerin doku yenilenmesinden farklı yöndeki geleceği ise nanoteknolojiye dayalı uygulamalar. Bu teknolojinin ürünü olarak geliştirilecek nanorobotların bakteri ve virüs enfeksiyonlarını tedavi etmesi, kanser hücrelerini saptayıp yok etmesi, dolaşım sistemindeki zararlı maddeleri temizlemesi, biyoaktif cam jeller, kalsiyum oksitfosfor pentaoksit-silisyum dioksit bileşimine sahip inorganik malzemeler kemik dokusu yenilenmesinde kullanılması, hasarlı dokulara oksijen sağlanması ve çeşitli hastalıkların izlenmesi ve teşhisinde kullanımı hedefleniyor. Bu nedenle, doku yenilenmesi,

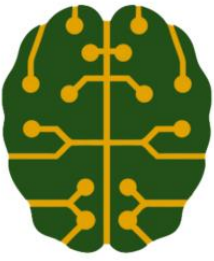
biyoloji, genetik mühendisliği, hücre ve doku mühendisliği, görüntüleme teknikleri ve teşhis, mikro-optik ve mikro-mekanik cerrahideki ilerlemelerin ışığında gerçekleşecek. Gözenekli, inorganik-organik hibrid malzemelerden, kontrol edilebilir hızlarda bozunabilen, kontrol edilebilir yüzey özelliklerine sahip doku iskeleleri hazırlanarak doku yenilenmesi sağlanabilir. inorganik ve organik bölümlerin miktarı değiştirilerek, malzeme üzerindeki hücre üremesi ve farklılaşması kontrol edilebilir.

Sonuç olarak biyomühendislik uygulaması olan biyomateryal bilimi biyolojik yapılar ile uyumlu malzemeler üreterek hayat şartlarımızı ve yaşadığımız dünya'yı daha yaşanabilir hale getirme çabasıdır diyebiliriz. Gelecek için biyomateryal konusundaki araştırmalar, vücudun kendini yenileme kapasitesini kullanacak veya artıracak yöne kaymalı ki doğal dokuların yeniden yapılmasını sağlayacak biyomateryaller geliştirilebilsin.

## Kaynak

1. Chunxiang C, BaoMin H, Lichen Z, Shuangjin L. "Titanium alloy production technology, market prospects and industry development", *Materials and Design*, 2011: 32, 1684–1691.
2. Cömert, Z.Y. Cömert, I. Bakkaloğlu, A. Toz metalurjisinde kullanılan biyomalzemeler, 11th International Materials Symposium, 2004: 161-165.
3. Corces, A. *Metallic alloys, Medicine Instant Access to the Minds of Medicine, Section 1 of 11*, 2004.
4. Enderle, J.D. Blanchard, M.S. Bronzino, D.J. *Introduction To Biomedical Engineering*, 2012.
5. Fakruddin, M., Hossain, Z., Afroz, H., *Prospects and Applications of*

- Nanobiotechnology: a Medical Perspective, Journal of Nanobiotechnology, 2012: 10, 31
6. Gümüşderelioğlu, M. Tıbbın geleceği biyomalzemeler Bilim ve Teknik Dergisi 2002.
  7. Güven, Ş.Y., Çetin, H., 2007, " Metalik Biyomalzemeler ve İmplantlar", S.D.Ü. 15. Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu", 14-16 Kasım, SDÜ, 1989: 175-181
  8. Gooding JJ, Analytica Chimica Acta, 559 2006: 37
  9. Letchford K, Burt H. A review of the formation and classification of amphiphilic block copolymer nanoparticulate structures: micelles, nanospheres, nanocapsules and polymersomes. Eur J Pharm Biopharm 2007: 65:259-269.
  10. Park, J.B. Kim, Y.K. Metallic Biomaterials, The Biomedical Engineering Handbook, Second Edition. CRC Press LLC, 2000.
  11. Şenel F. Nanotıp. Bilim ve Teknik. Nisan 2009:79-83
  12. <http://www.frmtr.com/biyoloji/1002705-biyomalzeme-bilimi.html> (28.04.2017).
  13. <http://www.scribd.com/doc/25023282/Biyoseramik-Malzemeler> (28.04.2017).
  14. [http://www.nanott.hacettepe.edu.tr/nanobulten/13/nanobulten13\\_lr.pdf](http://www.nanott.hacettepe.edu.tr/nanobulten/13/nanobulten13_lr.pdf) (28.04.2017).
  15. <http://kimyaca.com/biyouyumlu-polimerik-malzemeler/> (28.04.2017).
  16. <http://documents.tips/documents/biyomateriyaller-ve-kullanim-alanlari-bitirme-tezi.html> (28.04.2017).



## Bilgisayarla Bütünleşik İmalat Sistemi Tasarımı

Furkan GÜMÜŞ<sup>1</sup>,

Marmara University, Institute of Pure and Applied Sciences, Istanbul, Turkey

<sup>[1]</sup> [furkan.gumus@muhendisbeyinler.net](mailto:furkan.gumus@muhendisbeyinler.net)

**Özet:** Bu çalışmanın temel amacı eğitimde kullanılabilir robot manipülatör, CNC yönlendirici ve 3B yazıcı ünitelerinin yer aldığı bir bütünleşik imalat sistemi tasarımını göstermektir. Üç eksenli bir robot kol manipülatörü için kontrolcü yazılımı oluşturulmuştur. Esnek sistem tasarımı ve özelleştirilebilir arayüz yazılımı sayesinde teknik okullar, üniversiteler, küçük ve orta ölçekli işletmelerde kullanılabilecek maliyeti düşük, fonksiyon açısından endüstriyel standartlara yakın bir teknoloji sunmuş olacak. Eğitim kurumlarının deneysel çalışmalarda kullanabilmesi için sonradan değişikliğe uyarlanabilir bir tasarım yapılacaktır. Mevcut malzeme ve takımların kolay tedarik edilebilmesi hızlı ve ekonomik çözüm sağlayacaktır.

**Anahtar Kelime:** Bilgisayarla Bütünleşik İmalat, 3 Eksenli Robot Kol, CNC Router, 3B Yazıcı, Kontrolcü Yazılımı

## Computer Integrated Manufacturing System Design

**Abstract:** The main objective of this work is to demonstrate an integrated manufacturing system design that includes robot manipulators, CNC routers and 3D printer units that can be used in training. Control software for a three-axis robot arm manipulator was created. Due to flexible system design and customizable interface software allows to low-cost at technical schools, universities, small and medium-sized enterprises. In terms of functions, it will be offered additional technology to industrial standards. Due to deterioration and the lifetime of the current system hasn't been used sustainably by. In this case, causing of the fail a technical training. In addition, the systems used in industry has got a lot of functions. This cause to isn't benefited sufficiently by small and medium-sized enterprises that want to mass production, but not requiring advanced equipment. Changeable a design will be made to use in experimental studies of educational institutions. Supplied in the easy way existing materials and equipment will provide a quick and economical solution.

**Keywords:** Computer Integrated Manufacturing, 3-Axis Robotic Arm, CNC Router, 3D printer, Controller Interface

### I. GİRİŞ

Adını ilk defa 2011 yılında Almanya Hannover Fuarı'nda duyduğumuz Endüstri 4.0 terimi ile 4. Sanayi Devriminin temelleri atılmış, ülkeler ve şirketler küresel boyuttaki bu değişime ayak uydurmak için stratejilerini bu yönde planlamaya başlamıştır.

Ülkemizde otomotiv sektöründe (2017 yılı) yeni yeni uygulanmaya başlayan bu konsept ile 4. sanayi devrimine geçiş büyük bir hızla devam etmektedir. Endüstri ile bilişim teknolojileri bir araya getirilerek oluşturulan bu sistem daha güvenilir, hızlı ve verimli olmasının yanında internet bağlantılı

elektronik cihazların yer alması ile "akıllı fabrika" olma niteliğini elde etmektedir. [1]

Firmalar, bu artan rekabete ayak uydurmak için bilgisayarla bütünleşmiş imalat sistemleri kurmakta ve robotik sistemlere geçme ihtiyacı hissetmektedirler. Ancak teknolojisinin çok pahalı olduğu, ilk yatırım maliyetleri ve bakımları fazla olması nedeniyle çoğu işletmeler ve özellikle eğitim kurumları bu tür sistemleri alamamakta ve yeterli personel eğitimini sağlayamamaktadırlar.

Bu çalışmada 4. sanayi devrimine uyum sağlayabilme ve nitelikli bireylerin yetiştirilmesini sağlamak amacıyla teknik okullar ve üniversitelerde kullanılabilecek



eğitim amaçlı, ilk kurulum maliyeti düşük, ekonomik ve hızlı çözümler sağlayan bilgisayarla bütünleşik imalat sistemi tasarım ve uygulaması ele alınmıştır.

Literatür taramalarında imalat makilerinin tasarım ve uygulaması yer almaktadır. Bilgisayar ile bütünleşik imalat sistemleri için süreç analizleri yapılmış ve robotik sistemlerin uygulaması anlatılmıştır. Bu çalışma ile tüm bu unsurlar tek bir çatı altına alınarak incelenmesi yapılmıştır.

Eğitim kurumları, bu tür bir sistemi kullanarak maliyeti düşük ve hızlı çözüm sunan bir bütünleşik kontrol sistemi ve yazılım programı ile eğitim verebilirler. Yazılım olarak esnek bir yapıya sahip sistem sayesinde çoklu üniteler tek bir scada ekranından görülebilir ve kontrol edilebilir. Robot kol, CNC ve 3B yazıcıların çalışma mantığını, üzerinde yapacakları test ve geliştirme işlemlerini yapabilir olması önemli bir avantajdır. Öğrencinin cihazları bozma korkusu olmadan üzerinde deney yapabilecekleri ve sonradan değişiklik yapmaya uygun bir konsept oluşturulması amaçlanmıştır.

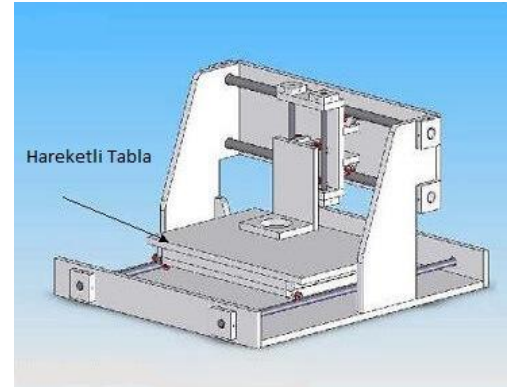
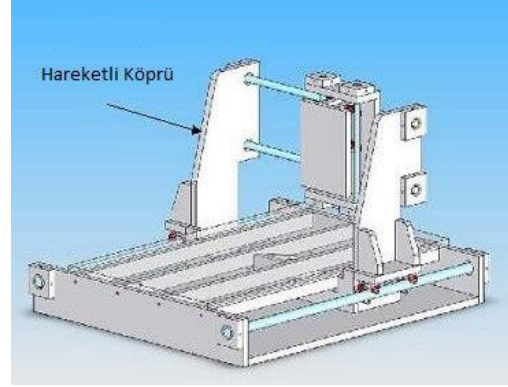
## II. BİLGİSAYARLI SAYISAL YÖNETİM

Eğitim amaçlı kullanılacak cihazların nispeten ucuz ve işlevsel olması beklenmektedir. CNC freze konseptine çok benzeyen, istikrarlı ve yüksek kaliteli iş yapma kabiliyetindeki CNC Router (Bilgisayarlı Sayısal Yönetim Yönlendiricileri) bu çalışma kapsamında ele alınacaktır.

### 2.1. CNC Yönlendirici Tasarım Modelleri

CNC makinelerin birçok çeşidi olduğu gibi aynı sınıftaki bir makine için değişik tasarım modelleri bulunmaktadır. CNC yönlendiriciler için temelde iki farklı tasarım ön plana çıkmaktadır:

- Sabit köprü, hareketli tabla modeli
- Gezer köprü, sabit tabla modeli



Şekil 2.1. CNC router tasarım modelleri [2]

#### 2.1.1 Sabit köprülü tasarım

CNC router üreticilerinin çok fazla tercih etmediği bir tasarım olmasına karşın sabit köprülü tasarımın da bazı üstün yanları bulunmaktadır. Bu tasarım genel olarak PCB veya gravür makineleri gibi küçük CNC makinelerin yapımında kullanılır. Bu boyutlarda bir makine için yatak tasarımı çok verimli çalışmaktadır.

Bu tasarımın en önemli avantajı yük altında esnemeyecek, sağlam bir yataklanmanın çok daha kolay yapılabilir olmasıdır. Sabitlenmiş tasarım sayesinde köprü ağırlığının ve boyutunun bir önemi kalmayacaktır. Böylece köprü üzerindeki yataklamalar çok daha rahat seçilebilir; belirli boyutlara indirgeme mecburiyeti kalmaz. Gezer köprülü yapılarda ise ağırlık, lineer rulman veya kızaklar üzerinde taşınacağı için köprü ağırlığı ve boyutu çok önemli olmaktadır. Köprünün sabitlenmiş olması ise hem rijitlik hem de daha hassas parça işleme olanağı sağlamaktadır. Ayrıca daha büyük motor seçimleri ve çoklu eksenlerin yapımına izin vermektedir.

Bu tasarımın dezavantajı, x-ekseninin uzunluğu arttıkça hareketli tablanın etkisinin

daha az hale gelmesidir. Tabla ağırlığı ve taşıdığı yükün artması ile daha büyük yatak seçimi ve pahalı elemanlara ihtiyaç oluşacaktır.

Sabit köprülü hobi CNC makinelerin x yönündeki hareketi genellikle 30 ile 90 cm arasında olmaktadır. Y ve z-eksenlerinin hareket mesafesi x-eksenine göre daha azdır. Sabit köprülü konstrüksiyon daha rijit yapılı ve hafif olması sebebiyle yataklardaki radyal ve aksel yükler daha az olacaktır. Bu sayede daha ucuz ve küçük boyutlu yataklama elemanları (lineer rulmanlı yataklar veya mil yatakları) ile taşıyıcı unsurlar (kızak, mil veya ray destekleri) tercih edilebilir.

Gezer köprü tasarımlarında bilyalı vidalar kullanılırken, sabit köprülü yapı için daha ucuz olan aktarma vidalarını kullanılabilir. Ayrıca 3B yazıcılar için çok sık karşılaşılan diğer bir alternatif olan triger kayış-kasnak sistemleri de mevcuttur. Konstrüktif açıdan çok yakın olmalarına karşın freze veya matkabın talaş kaldırma sırasında alt tablaya uygulayacağı itme kuvveti, taşıma sistemlerine fazladan yük bindirmiş olacağından çoğu zaman kayış-kasnak sistemleri tercih edilememektedir. Sonuç olarak,

- Küçük boyutlu bir makine yapmak istiyorsak sabit köprülü tasarım tam bize göre olacaktır.
- Daha kompakt ve yapımı diğerlerine göre çok daha basittir.
- İskelet yapısı rijittir; esneme çok az
- Genel olarak boyuta kısıtlama getirilmeli
- Maliyeti nispeten daha düşük olmaktadır

### 2.1.2 Gezer köprülü tasarım

Gezer köprü tasarımı, CNC yönlendirici modellerinin %95'ini oluşturmaktadır. Tüm x-ekseni boyunca hareket edebilen köprü tasarımı sayesinde, makine boyutunun çok daha büyük yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak boyutun artması ve ağırlığın fazla olması sebebiyle rijit köprü yapımı da zorlaşacaktır.

Gezer köprülü tasarımlarda aksel kuvvetlerin çok daha fazla olması sebebiyle aşınma miktarı en az olan ve yer yönlü kuvveti taşıyan bilyalı vidalar tercih edilir. Sürtünme kayıplarının az olması sebebiyle daha düşük güç gereksinimi olan motorlar tercih edilebilmesi bir avantaj sağlar. Bilyalı vida somunları ve yatakları özel olduğu için diğer

vidalı sistemlere göre 10 kat daha pahalı olabilmektedirler. Özellikle mil çapının artması, fiyatının da aşırı yükselmesine neden olduğundan daha ucuz motor seçme avantajımızın bir anlamı kalmamaktadır. Sonuç olarak;

- Büyük boyutlu bir makine yapılmak istenildiğinde tercih edilebilir,
- İskeletin rijit şekilde yapılabilmesi nispeten daha zordur,
- Boyutta bir sınırlama yoktur. İmkanların el verdiği ölçüde büyük yapılabilir,
- Maliyeti nispeten yüksek olmaktadır.

### 2.2. CNC Yönlendirici Unsurları

Eğitim amaçlı kullanacağımız makinenin daha işlevsel olması için hibrid bir tasarım mimarisi uygulayacağız. 3B Yazıcı veya CNC yönlendiriciyi kullanmak için makine üzerinde ufak değişiklikler yapılarak dönüşümlü kullanılması hedeflenmiştir. Bu sebeple tasarım modeli olarak sabit köprülü tasarım seçilmiştir. Bu kapsamında hibrid router çalışması anlatılacaktır. Gerekli tüm seçim kriterleri aşağıdaki gibi olmaktadır.

## III. CNC YÖNLENDİRİCİ İMALATI

### 3.1. Kesme Kuvvetinin Belirlenmesi

CNC yönlendirici hesaplarını yapabilmemiz için talaş kaldırma işleminde oluşacak kesme kuvvetlerinin de bilinmesi gereklidir. Kesme kuvvetin belirlenebilmesi için bilmemiz gereken bazı terimler vardır: kesme hızı ve ilerleme. Kesme hızı değeri kesici takım imalatçı firmalarının kataloglarından alınır. Genel olarak kesme hızı HSS kesiciler için **25-50 m/dk** arasında değişmektedir [3]. Kesme hızının formülü aşağıdaki gibidir;

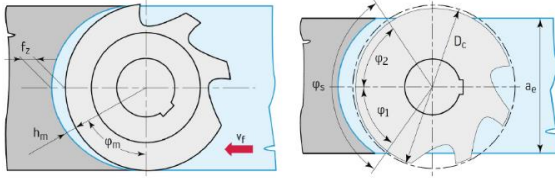
$$V = \frac{\pi D n}{1000} \left[ \frac{m}{dk} \right] \quad (1)$$

Burada,

- V: Kesme hızı (m/dk)
- D: Freze kesici çapı (mm)
- n: Devir sayısı (rpm veya devir/dk)

En yüksek kesme hızı için 7 mm kesici çapına sahip parmak freze kullanılırsa,

$$V = \frac{\pi \cdot 7 \cdot 1500}{1000} \cong 33 \text{ m/dk}$$



Şekil 3.1. Parmak freze ile talaş kaldırma [4]

Ortalama talaş kalınlığını hesaplayabilmemiz için diş başı ilerleme miktarını belirlememiz gerekmektedir. İşleyeceğimiz malzemeler ahşap, sert köpük olacak ancak katalogta yer almadıkları için alüminyuma göre hesap yapacağız. Bu durumda parmak freze için  $f_z$  veya  $S_z$  değeri 0.06 olarak kabul edilmiştir. Ortalama talaş kalınlığı;

$$h_m = \frac{180 \times \sin \gamma \times a_e \times S_z}{\pi \times D \times \sin^{-1} \left( \frac{a_e}{D} \right)} \quad [mm] \quad (2)$$

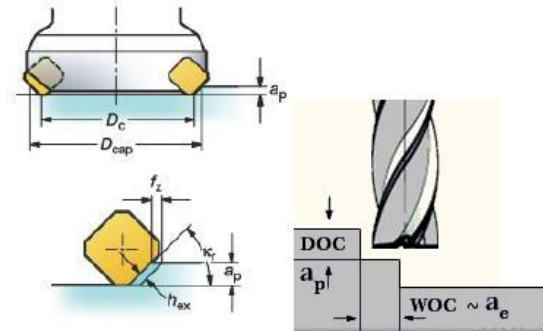
Burada,

- $\gamma$ : Yaklaşma açısı (parmak freze için  $90^\circ$ )
- $a_e$ : Kesme genişliği (mm) – En yüksek sonuç için 7 mm freze çapı kullanıldı
- $S_z$ : Diş başı ilerleme (mm/diş) olmaktadır. Buna göre:

$$h_m = \frac{180 \times \sin 90 \times 7 \times 0.06}{\pi \times 7 \times \sin^{-1} \left( \frac{7}{7} \right)} = 0.038 \text{ mm}$$

İlerleme hızı (S veya  $V_f$ ) ise n devir sayısı ve z frezenin diş sayısı olmak üzere aşağıdaki gibidir:

$$S \text{ (feed rate)} = z \cdot n \cdot S_z = 4 \times 1500 \times 0.06 = 360 \text{ mm/dk}$$



Şekil 3.2. Parmak freze değerleri

Frezenin en fazla 5 mm derinliğe inerek paso vereceğini kabul edersek aksenal kesme derinliği  $a_p = 5$  mm olmaktadır. Kesme kuvvetini hesaplamak için  $K_s$  değerini aşağıdaki tablodan  $800 \text{ N/mm}^2$  olarak kabul

ettik. Buna göre bir dişe karşılık gelen ortalama kesme kuvveti:

$$F_{S_z} = A_s \times K_s = a_p \times h_m \times K_s \quad [N] \quad (3)$$

$$F_{S_z} = 5 \times 0.038 \times 800 = 152 \text{ N}$$

olmaktadır.

Tablo 3.1. Kolaylaştırılmış yöntemle  $K_s$  değeri [5]

Parça Malzemesi	$K_s$ [k/mm <sup>2</sup> ]
Dökme Çelik	1500
Dökme Demir	2000
Al-Cu-Mg Alaşımı (Duraliminyum)	800

Aynı anda parça ile temasta bulunan diş sayısı ise

$$\varphi_s = 2 \sin^{-1} \left( \frac{a_e}{D} \right) = 2 \sin^{-1} \frac{7}{7} = 180^\circ \text{ ise}$$

$$Z_e = z \frac{\varphi_s}{360^\circ} = 4 \frac{180^\circ}{360^\circ} = 2 \text{ diş}$$

Buna göre ortalama kesme kuvveti,

$$F_S = Z_e \times F_{S_z} = 2 \times 152 = 304 \text{ N}$$

Kesme gücü,

$$P_S = \frac{F_S \times V}{60 \times 1000} \quad [kW] \quad (4)$$

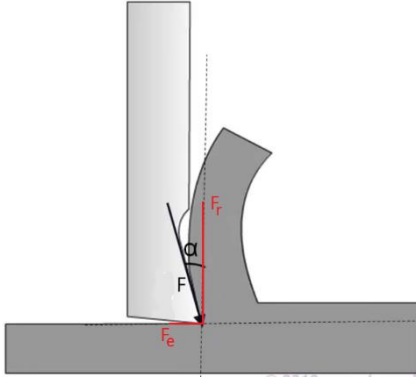
$$P_S = \frac{304 \times 33}{60 \times 1000} = 0.167 \text{ kW}$$

Mabuchi RS-775 DC motor kataloğuna göre en fazla 300 W güce sahiptir [6]. Bu durumda redüktör kullanmadan da çalışmaya uygundur. Kesme kuvvetlerinin arasında kesin bağıntılar olmamakla birlikte deneylere dayanarak oluşturulmuş ampirik bağıntılar bulunmaktadır [5]. Aynı yönde frezeleme yöntemine göre radyal ve aksenal (ilerleme) kuvvetlerini hesaplırsak:

$$F_{\text{radyal}} = 0.8 \times F_S = 0.8 \times 304 = 243.2 \text{ N}$$

$$F_{\text{eksenel}} = 0.9 \times F_S = 0.9 \times 304 = 273.6 \text{ N}$$

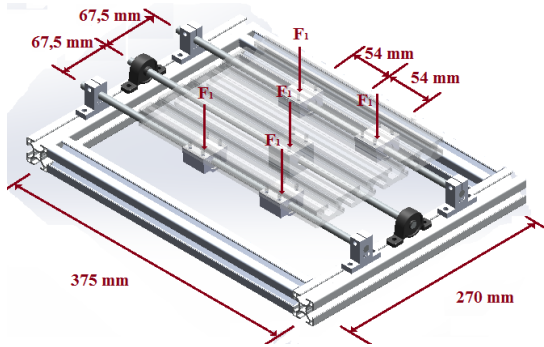
olmaktadır.



Şekil 3.3. Kesme kuvvetleri

### 3.2. X Ekseninin Tasarımı

Bu bölümde, cnc tablası üzerindeki bir iş parçası için en fazla ne kadar ağırlığa kadar düzenli çalışmaya uygun bunu hesaplayacağız. Maliyet açısından takım halinde tedarik etmeye en uygun seçim Çin menşeli metrik ACME T8 tipi trapezoidal vidalar olmaktadır. Vida yataklaması için UP08 serisi rulmanlı yataklar kullanılmıştır. Destekler için mil-lineer yatak sistemi kullanılacaktır. Bu amaçla trapezoidal vida uzunluğuna göre belirlediğimiz 375 mm uzunluğunda 8 mm çapında 2 adet krom kaplı indüksiyonlu taşlanmış mil kullanılmıştır. CK 55 malzemesinden imal edilmiş olup 62+/-2 HRC yüzey sertliğindedir [7]. Her mil üzerinde iki adet SC08UU serili lineer rulman kullanılacağı için mil yüzeyinin aşınmaması önem arz etmektedir. Yüzey sertliğinin düşük olması çizilmeyi, bu da rulmanın pis bir yüzeyde çalışmasına ve kısa zamanda bozulmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden sertleştirilmiş mil kullanılmasını tercih ettik.



Şekil 3.4. X Eksenini gösterimi

Nema 17 serisi motorlar nispeten ucuz ve daha kolay bulunabilmektedir. İş parçası ağırlığı, kesme kuvveti vb. etkilerden dolayı cnc yönlendiricinin en fazla torka ihtiyaç

duyduğu kısım bu bölümdür. Bu sebeple nema 17 serilerinden en yüksek torklu motor seçilmiştir.

### Başlangıç değerlerimiz

- Metrik ACME T8 Trapezoidal vida malzemesi 304 kalite paslanmaz çeliktir.
- T8 Trapezoidal vidanın akma mukavemeti: 205 Mpa [8]
- T8 Trapezoidal için pitch = 2 mm ve lead = 8 mm
- T8 Sürtünme katsayısı f = 0.08
- Nema 17 17HS8401 adım motoru çalışma torku 52 N.cm
- Nema 17 17HS8401 adım motoru frenleme torku: 2.6 N.cm

Aktarma vidası için katalogta önerilen formüle göre hesaplırsak

$$\text{Helis Açısı} = \tan^{-1}\left(\frac{\text{lead}}{\pi d}\right) \quad (9)$$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{8}{8\pi}\right) = 17.66^\circ$$

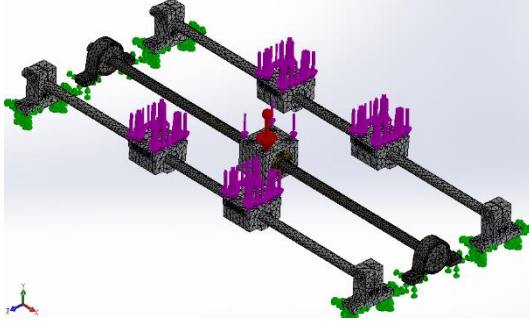
$$\text{Verim} = \frac{\tan(\text{helis açısı})}{\tan(\text{helis açısı} + \arctan f)} \times 100 \quad (10)$$

$$\delta = \frac{\tan(17.66)}{\tan(17.66 + \arctan 0.08)} \times 100 = \%77.88$$

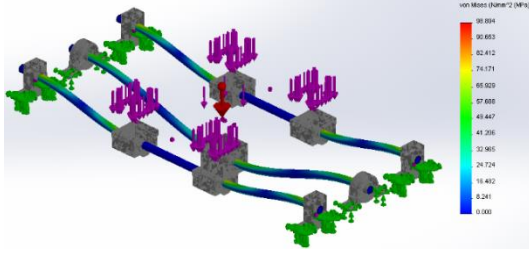
$$\text{Tork} = \frac{\text{Yük [N]} \times \text{Lead [mm]}}{2\pi\delta} \quad [\text{Nmm}] \quad (11)$$

$$\text{Yük} = \frac{2\pi \times 0.7788 \times 520}{8} = 318 \quad [\text{N}]$$

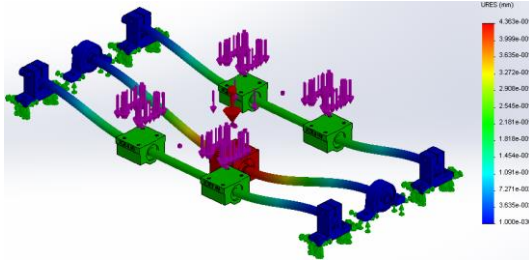
İvmesiz hareket altında Nema 17 17HS8401 model motor ile en fazla 32 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir. Radyal kesme kuvveti (243 N) ve tabla üzerindeki ağırlıklar göz önüne alındığında güvenli olarak 7,5 kg yük rahatça işlenebilir. Ayrıca daha düşük freze çakısı çapları kullanıldığında tablanın güvenli taşıma kapasitesinin artacağı da unutulmamalıdır. Montajlanan sistemde farklı malzeme grupları olduğu için Solidworks 2013 Simulation Pro programı ile statik analiz yapılarak yük dayanımı test edilmiştir. Analizin çözümünü kolaylaştırmak için bazı kabuller yapıldı. Lineer rulmanlara düşey yönlü olarak toplamda 350 N kuvvet uygulandığı, yatak ve mil tutucuların şekil değiştirmez olarak sabitlendiği kabulü ile analiz gerçekleştirilmiştir. İterasyon işleminin uzun sürmesi ve PC belleği yetersiz kaldığı için kaba mesh işlemi uygulanabilmiştir.



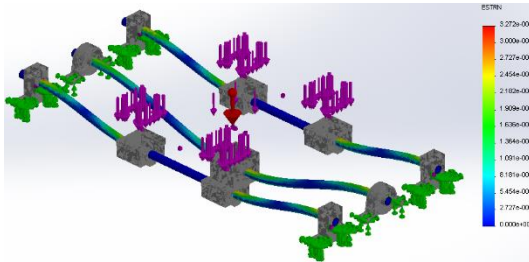
Şekil 3.5. X Eksenli statik analiz



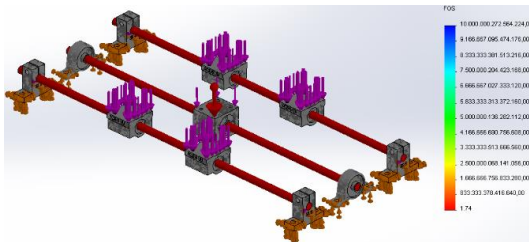
Şekil 3.6. X Eksenli von mises stresi



Şekil 3.7. X Eksenli yer değiştirme



Şekil 3.8. X Eksenli eş değer gerilme

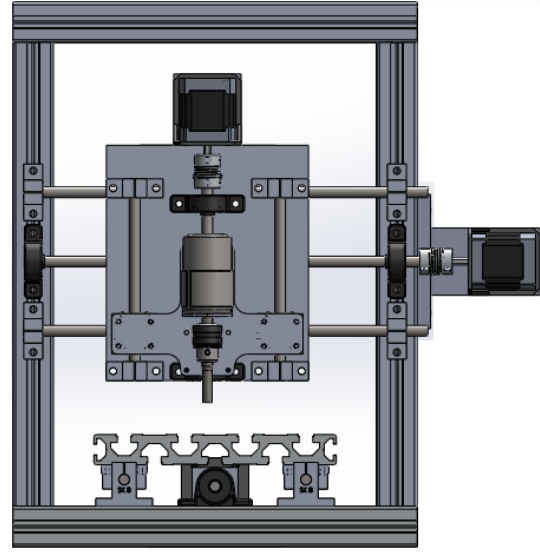


Şekil 3.9. X Eksenli güvenlik faktörü

En düşük güvenlik faktörü vida ve mil üzerinde olmasına karşın sistemi 1,74 kat emniyetli taşıyabilmektedir. En yüksek Von Mises gerilmesi (90 Mpa), trapez vidanın akma mukavemeti 205 Mpa ve krom kaplamalı mil için akma mukavemeti 550 Mpa değerlerini geçmediğinden herhangi bir kalıcı plastik deformasyonun oluşması söz konusu değildir.

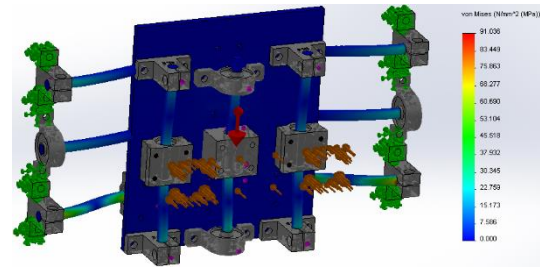
### 3.3. Y ve Z Ekseninin Tasarımı

Kesme kuvveti etkisiyle Y ve Z eksenlerinde iki yönlü eğilme momenti oluşacaktır.

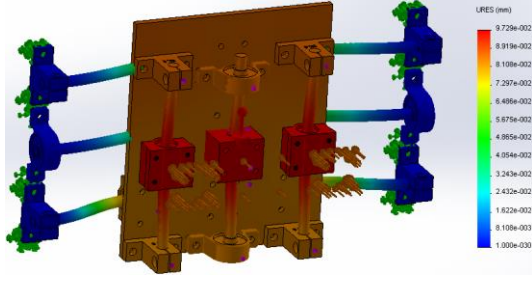


Şekil 3.10. Önden görünüş

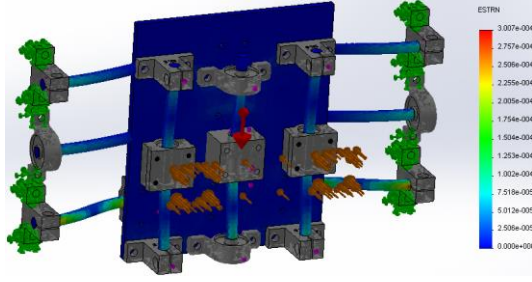
Problemi basitleştirmek kesme kuvvetini (304N) lineer rulmanlı yataklara ve vidalı mil somununa dağıttık.



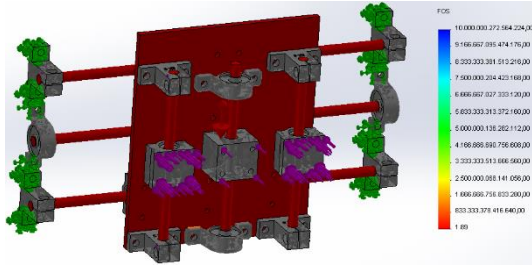
Şekil 3.11. YZ Eksenli von mises stresi



Şekil 3.12. YZ Eksenli yer değiştirme



Şekil 3.13. YZ Eksenli eş değer gerilme



Şekil 3.14. YZ Eksenli güvenlik faktörü

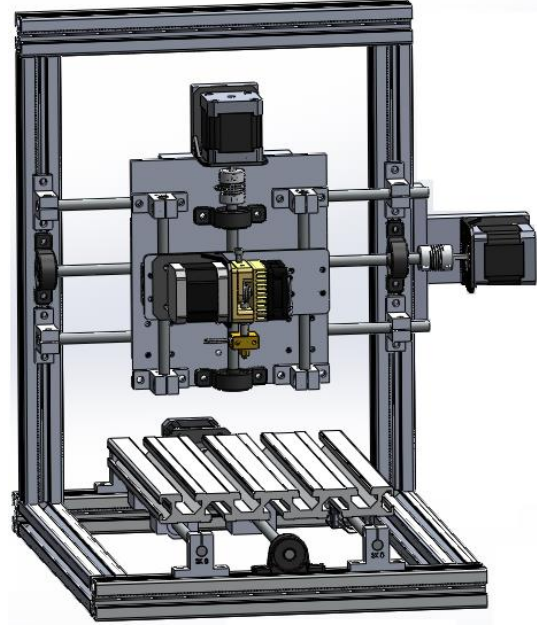
Analiz sonucunda 1,89 kat emniyetli olarak sistem çalışacaktır. X eksenine göre daha az kuvvetlere maruz kaldığından sonucun güvenli çıkması tabiidir.

#### IV. ÜÇ BOYUTLU BASKILAMA

Hızlı prototipleşmeye imkân verdiği için endüstriyel alanda kendisine yer bulan 3B yazıcı teknolojisi, baskı malzemesi fiyatlarının düşmesiyle birlikte artık bireysel ihtiyaçlara da cevap verebilmektedir. Mühendislik öğrencilerinin projelerini gerçek bir modele dönüştürebilmesi, üzerinde çalışabilir olması ve koşullarını sınavabilmeleri daha üretken olmalarını sağlamakla birlikte mühendislik konularını uygulamalı olarak kavrama şansı elde edebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında imalatını gerçekleştirdiğimiz CNC yönlendiriciye ufak eklemeler yaparak en kolay yoldan şekil 4.1'deki gibi bir 3B yazıcı tasarladık. Böylece aynı tezgâh ile hem talaşlı imalat hem de

plastik model üretimi yapılabilecek bir hibrid sistem tasarlanmış oldu. CNC yönlendirici tasarımı aynen kullanılacağı için mekanik unsurlarda bir değişiklik olmamıştır. 3B Baskı teknolojisine özel kavramları incelememiz bizim için yeterlidir.



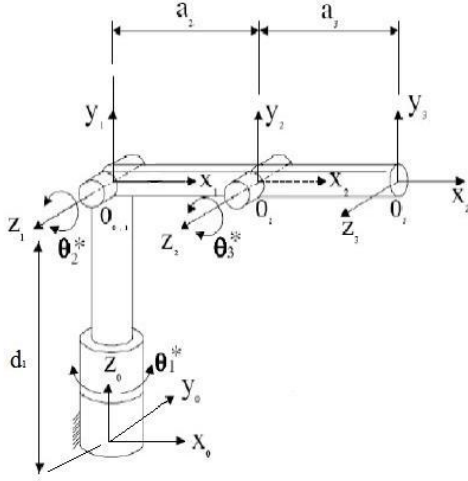
Şekil 4.1. 3B Yazıcı

#### V. ÜÇ EKSENLİ ROBOT KOL

Bilgisayarlı bütünleşik imalatın temel unsuru olan robot manipülatörler, endüstri 4.0 ile birlikte daha da önem kazanmıştır. Bu çalışma kapsamında eğitimde kullanılacak 3 eksenli robot kol tasarımı, hesaplaması ve imalatı ile kontrol yazılımı gerçekleştirilecektir.

##### 5.1. Robot Kinematığı

Geometrik bir sistemin yapısını ve hareketlerini inceleyen bilim dalına kinematik denir. Bir sistemin belirli şartlar altında nasıl hareket ettiğini anlayabilmek için bu sistemin kuvvet, atalet gibi büyüklükleri yani dinamiği hakkında bilgi sahibi olmamız gerekmektedir. Robotun ileri yön kinematığı, robot bağlarının konumları, hızları ve ivmeleri arasındaki ilişkidir. Robotun eklem değişkenlerinin belirlenmesinde Denavit – Hartenberg yöntemi uygulanacaktır.



Şekil 5.1. Eksen yerleştirme

Elde edilecek transfer fonksiyonları robot manipülâtörün uç ve eklem koordinatlarını vermektedir. Yazılım bölümünde bu transfer fonksiyonları kullanılacaktır.

Tablo 5.1. Denevit – Hartenberg gösterimi

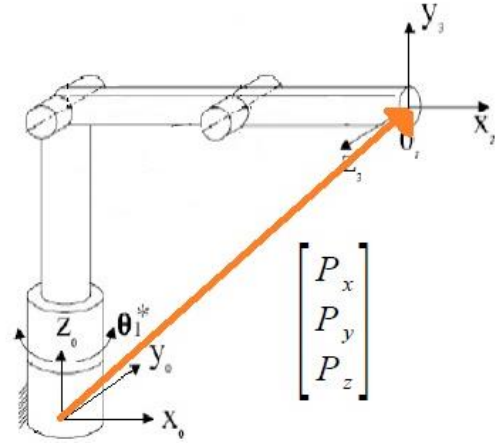
D-H Değişkenlerinin Belirlenmesi				
$i$	$a_i$	$\alpha_i$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	$90^\circ$	$d$	$\theta_1$
2	$a_2$	0	0	$\theta_2$
3	$a_3$	0	0	$\theta_3$

### 5.1.1. İleri kinematik hesaplaması

İleri kinematik hesaplamaları manipülâtörün eklem açıları girildiğinde uç noktanın koordinatlarını belirlemeye yaramaktadır. Bu koordinatları aynı zamanda kontrol yazılımında kullanacağız. Denevit – Hartenberg yönteminden faydalanarak dönüşüm matrislerini hesaplanacaktır.

Aşağıdaki matris  $P_x$ ,  $P_y$  ve  $P_z$  vektörleri robot kolunun uç noktasının konum koordinatlarını vermektedir.

$${}^0_3T = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_2 C\theta_1 C\theta_2 + a_3 C\theta_1 C\theta_3 C\theta_2 - a_3 C\theta_1 S\theta_2 S\theta_3 \\ a_2 C\theta_2 S\theta_1 + a_3 C\theta_2 C\theta_3 S\theta_1 - a_3 S\theta_2 S\theta_3 S\theta_1 \\ d_1 + a_2 S\theta_2 + a_3 C\theta_3 S\theta_2 + a_3 C\theta_2 S\theta_3 \\ 1 \end{bmatrix}$$



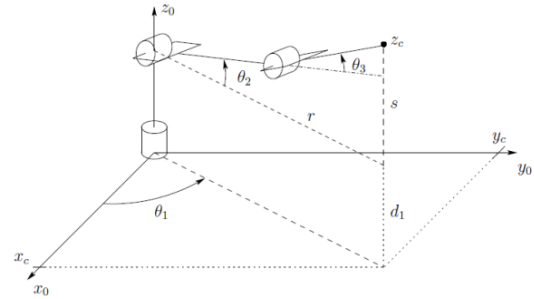
Şekil 5.2. Konum vektörü

### 5.1.2. Ters kinematik hesaplaması

Ters kinematik probleminin çözümü için iki farklı alternatif çözüm yolu yapılacaktır.

#### 5.1.2.1. Birinci Yöntem

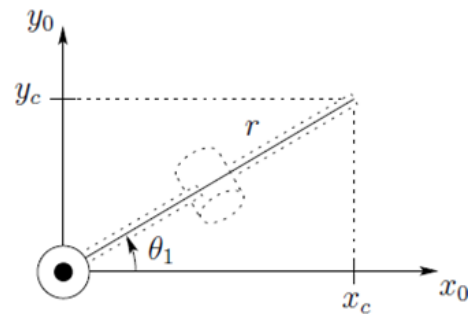
Bu yöntemde çözüm 2 alt probleme ayrılarak sonuca ulaşmaktadır.



Şekil 5.3. Ters kinematik

#### 1. Alt Problem

Sistem diğer uzunlarından bağımsız olarak ilk önce  $\theta_1$  açısının hesabı yapılır. Bu açının referansının  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ 'a göre olduğuna dikkat ediniz.



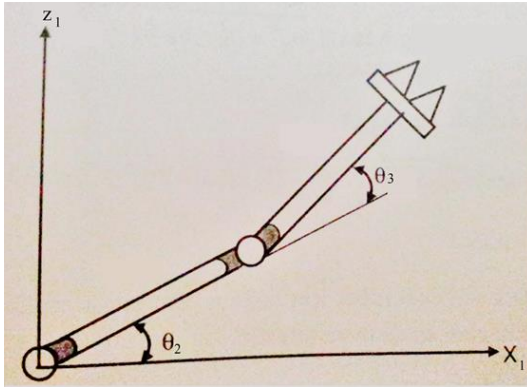
Şekil 5.4. Üstten görünüş

Buradan  $\theta_1$  değeri aşağıdaki gibi olur.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{P_y}{P_x} \right)$$

## 2. Alt Problem

İkinci ve üçüncü uzvu birlikte  $X_1, Y_1, Z_1$  eksen takımına göre bağımsız analitik çözüm yapılır.  $X_0, Y_0, Z_0$  ye göre verilen koordinatlar  $X_1, Y_1, Z_1$  eksen koordinatlarına dönüşüm yapılarak verilir.



Şekil 5.5. X-Z Görünüş [9]

Buna göre,

$$D = \frac{(P_x / \cos(\theta_1))^2 + (P_z - d_1)^2 - a_2^2 - a_3^2}{2 \cdot a_2 \cdot a_1}$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left( \frac{\pm \sqrt{1 - D^2}}{D} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{(P_z - d_1) \cdot \cos(\theta_1)}{P_x} \right)$$

$$\pm \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{(P_z - d_1)^2 + (P_x / \cos(\theta_1))^2 - (a_3 \cdot \cos(\theta_3) + a_2)^2}}{a_3 \cdot \cos(\theta_3) + a_2} \right)$$

Olmaktadır. Bunu örnek ile irdeleyerek daha net görebiliriz.

### 5.1.2.2. İkinci Yöntem

Bu yöntem ile eksenlerin yerini değiştirmeden çözümü vermektedir. Buna göre;

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{P_y}{P_x} \right)$$

$$F = \frac{P_x^2 + P_y^2 + (P_z - d_1)^2 + a_2^2 - a_3^2}{2 \cdot a_2 \cdot \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + (P_z - d_1)^2}}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{P_z - d_1}{\sqrt{P_x^2 + P_y^2}} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{\pm \sqrt{1 - F^2}}{F} \right)$$

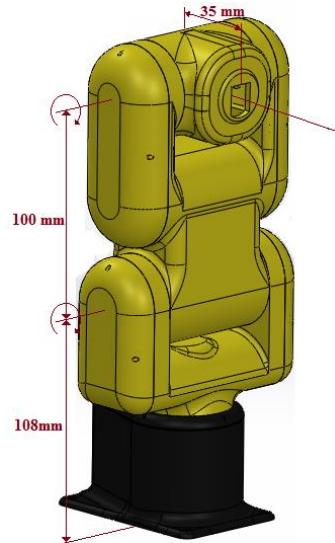
$$G = \frac{P_x^2 + P_y^2 + (P_z - d_1)^2 - (a_2^2 + a_3^2)}{2 \cdot a_2 \cdot a_3}$$

$$\theta_3 = \pm \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{1 - G^2}}{G} \right)$$

Her iki yöntemin karşılaştırmasını yaparsak, son çözüm yolumuzda her bir denklem içerisinde x, y ve z konumları mutlaka bulunmaktadır. Ancak ilk yöntemde z koordinatı yer almadığı için kontrol gerçekleştirilirken fazladan fonksiyon kullanılması gerekli kalmaktadır. Bu sebeple yazılım kontrolü yapıldığında son çözüm yöntemi temel alınarak fonksiyon yazılmasına dikkat edilmiştir.

## 5.2. Manipülatör Tasarımı

Üç eksenli robot manipülatörün tasarımını belirleyecek en önemli unsur taşıyacağı ağırlıktır. Kendi ağırlığı, hareket sırasındaki dinamik yükler ve motor ataleti göz önünde bulundurularak boyutlandırma ve motor seçimi yapılması gerekmektedir. Sonraki bölümde ele alınacak kontrolcü yazılımının gerçekleştirilebilmesi için rc servo tip motor kullanılmıştır. Motor seçimini yapmadan önce taslak bir model hazırlamamız gerekmektedir. Bu modeli referans olarak başlangıç kütle ve mafsallar arası uzunlukları bir başlangıç koşulu olarak kullanacağız.



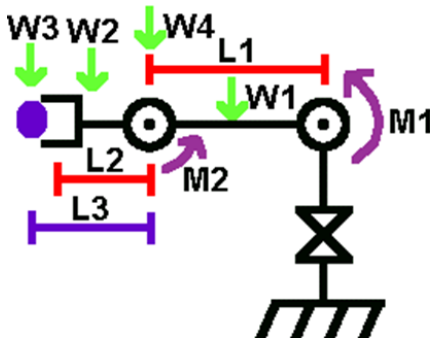
Şekil 5.6. Üç eksenli manipülatör modeli



Ucuza imal etmek için Tower Pro SG90 RC Mini Servo kütle ve tork değerlerine göre optimum tasarım yapılmıştır.

### 5.2.1. Statik kuvvet hesabı

Eklemlere binecek kuvvetleri ve oluşturacakları momentlerin tespit edilmesi sayesinde minimal motor değerlerimizi tespit edebiliriz. Motorlar sadece robot kolunun kendi ağırlığını taşımakla kalmaz, aynı zamanda tutulacak cisminde hedefe güvenli bir şekilde ulaştırılmasını sağlayan önemli bir unsurdur. Taşınacak cismin ağırlığı ve atalet değerleri robotun hassasiyetliğinin ölçütünü belirleyecektir.



Şekil 5.7. Üç eksenli manipülâtör için serbest cisim diyagramı

İlk adım olarak en fazla uzunluğu gösterecek şekilde robot kolumuzun şekil 5.7 'deki gibi bir serbest cisim diyagramı çizmek ile başlıyoruz. Sonraki adımda aşağıdaki gibi bir moment kolu hesabı yapıyoruz.

0. Eklem için statik moment:

$$M_0 = 0$$

1. Eklem için statik moment:

$$M_1 = (KMU_o \times W_1) + (L_1 \times W_4) + (KMU_d \times W_2) + (L_1 + L_3) \times W_3 \quad [kg.cm]$$

$$W_1 = 0,06226 \text{ kg}, W_2 = 0,0144 \text{ ve}$$

$$W_3 = 0,01 \text{ kg}, W_4 = 0,009 \text{ kg ise}$$

$$M_1 = 4,7 \times 0,06226 + 10 \times 0,009 + 11 \times 0,0144 + (10 + 3,5) \times 0,01$$

$$M_1 = 0,67 \quad [kg.cm]$$

2. Eklem için statik moment:

$$M_2 = (KMU_d \times W_2) + (L_3 \times W_3) \quad [kg.cm]$$

$$M_2 = ((11 - 10) \times 0,0144) + (3,5 \times 0,01) \quad [kg.cm]$$

$$M_2 = 0,0494 \quad [kg.cm]$$

### 5.2.2. Hız ve hareket planlaması

Uç noktanın hız değerinin hesaplanması matematiksel olarak biraz karmaşıktır. Ancak biz burada RC Servo motor kullandığımız için motorun en fazla zorlanacağı konuma göre maksimum hızı bulmaya çalışacağız. Kolun en hızlı olacağı pozisyon kolların merkezden en uzak olacağı konum olacağından basitçe  $\vartheta = \omega \cdot r$  formülünü kullanarak dairesel hızını bulabiliriz.  $J_0$  eklemının devir sayısı ve uç noktanın merkeze göre olan uzaklığını bilmemiz yeterli olacaktır. Eğer diğer eklemlerde dönüş olsaydı bu vakit hızımız daha farklı olacak ve hesaplaması zorlaşacaktı bu yüzden sadece tek bir eklemi hareketli olduğunu ve merkez noktaya göre dönüşündeki hızının analizini buluyoruz:

$$Uç \text{ Noktanın Hızı} = \omega \cdot r = (2\pi r) \times rpm$$

$$rpm = \frac{\text{devir sayısı}}{\text{dakika}}$$

RC Servo motorların çoğu en fazla  $180^\circ$  açı değerine kadar dönebilmektedir. Genellikle katalog üzerinde belirtilen açısal hız değerleri  $\frac{1}{\omega} = \frac{\text{Saniye}}{60^\circ}$  şeklinde olmaktadır. SG 90 Micro Servo Modeli bir motoru 5 cm'lik bir uzaklıkta  $180^\circ$  açı yol aldığıında maksimum uç nokta hız değeri aşağıdaki gibi olacaktır.

(SG 90 Micro Servo için işletme hızı  $0.12s/60^\circ$ )

$$V = \frac{\omega \cdot r}{180^\circ} = \frac{60^\circ \times \pi \times 5 \text{ cm}}{180^\circ \times 0.12 \text{ s}} = 43,63 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$= 0.4363 \text{ m/s olacaktır.}$$

### 5.2.3. Dinamik kuvvet hesabı

Bu bölüme kadar olan kısımda robot kolun statik yani her zaman için durağan koşullarda üzerine etkiyen kuvvet değerlerine göre hesap yaptık. Ancak hareketli cisimlerin dönmeye karşı kütle ve yüzey şeklini değiştirmeye çalışan kuvvetlere karşı da bir tepkisi olacaktır. İşte bu tepkiye atalet momenti demekteyiz. Kısaca atalet momenti, rijit cisimlerin kendi dönme hareketlerindeki değişime karşı gösterdiği eylemsizlik tepkisidir. Atalet kuvvetleri göz önünde

bulundurarak dinamiksel tork ifadesi oluşturmamız gereklidir.

Kolaylık olması açısından robot kol uzuvlarını L uzunluğunda ve m kütleinde ince çubuk olduğunu kabul ettik. Çubuğu merkez noktasından döndürmek istediğimizde oluşacak atalet momenti:

$$I_{\text{merkez}} = \frac{mL^2}{12}$$

Dönme eksenini çubuğun sonunda olduğundaki atalet momenti ise,

$$I_{\text{son}} = \frac{mL^2}{3} \text{ olmaktadır.}$$

Robotumuzun  $J_0$  eklemi için  $I_{\text{merkez}}$   $J_1$ ,  $J_2$  için ise  $I_{\text{son}}$  atalet momentlerinin değerleri kullanılır. Bu ifadelere göre dinamiksel tork ifademizi tanımlarsak;

$$\text{Tork} = \text{Atalet Momenti} \times \text{Açısal İvme}$$

Veya  $\tau = I \cdot \alpha$  olmaktadır. İfadeyi daha açarsak;

$$\text{Tork} = \text{Kütle} \times \text{uzaklık}^2 \times \left( \frac{\text{Açısal Hızdaki Değişim}}{\text{Zamandaki Değişim}} \right)$$

Burada,

#### Açısal Hızdaki Değişim

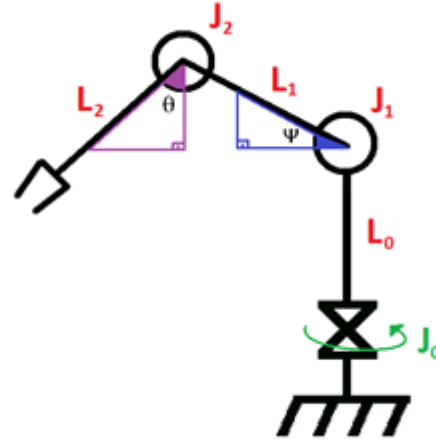
$$= \text{Son Açısal Hız} \\ - \text{İlk Açısal Hız} = \omega_1 - \omega_0$$

$$\text{Açısal ivme}(\alpha) = \frac{\omega_1 - \omega_0}{\Delta t} \text{ olmaktadır.}$$

Robotumuzu  $J_0$  ekleminden  $180^\circ$  açı ile Sg 90 model servo motor ile 0,3 saniyede alacağı dinamiksel tork değerini bulmak isteyelim. Başlangıç anındaki ( $t_0 = 0$ ) açısal hızı  $\omega_0 = 0$  olarak kabul edersek (yani ilk hızsız olarak harekete başlarsa) 0.3 saniye sonundaki açısal hız ve ivme değerleri aşağıdaki gibi olmaktadır. (Sg90 model  $180^\circ$ 'yi 0.3s almaktadır)

$$\text{Açısal Hız} (\omega) = \frac{\theta_1 - \theta_0}{\Delta t} = \frac{\pi}{t} = \frac{\pi}{0.3} = 10.47 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Açısal ivme}(\alpha) = \frac{\omega_1 - \omega_0}{\Delta t} = \frac{10.47}{0.3} = 34.9 \frac{\text{Rad}}{\text{s}^2} \text{ olmaktadır.}$$



Şekil 5.8. Üç eksenli manipülatörün dinamik analizi

Her bir kolün kütlesi sırasıyla  $m_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  ve her bir motorun kütlesi de  $j_0$ ,  $j_1$ ,  $j_2$  olmak üzere kolları gidebileceği en uzak konuma kadar açarak atalet Momentlerini hesaplırsak;

$$I_0 = \frac{(m_1 + m_2 + j_1 + j_2)(L_1 + L_2)^2}{3} \\ I_1 = \frac{(m_1 + m_2 + j_2)(L_1 + L_2)^2}{3} \\ I_2 = \frac{(m_2)(L_2)^2}{3}$$

Olmaktadır. Atalet değerleri dinamiksel tork formülünde yerine konarak hareketli bir cisim döndürecek tork değerini bulmuş olduk. Bazı durumlarda dinamik değerler statik değerlerden fazla olmaktadır. Bu durumda en büyük tork değeri tercih edilmelidir. Daha emniyetli bir sonuca ulaşılmak isteniyorsa ve değerleriniz ufak ise tork değerlerinin toplamı tercih edilir.

$$\tau_{\text{motor}} = \tau_{\text{statik}} + \tau_{\text{dinamik}}$$

Buradaki formüller yazılım kısmında kullanılarak bir hesap makinesi yapılacaktır. Bulunan değerler kullanılarak seçtiğimiz motorun uygunluğu tespit edilecektir.

## VI. YAZILIM

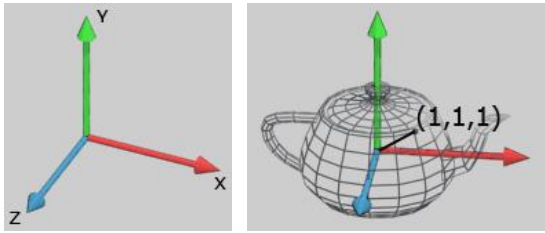
Bu bölümde bir robot kolun simülasyonu, gerçek zamanlı kontrol işlemi, hesaplama ve sonuçların çıktısını almayı gösteren bir yazılım anlatılacaktır.

C# nesneye yönelik programlama dili olmasına karşın 3B modellerin hareketi, konumu gibi önemli parametrelerin kendi içerisinde tanımlanmaya ihtiyacı

bulunmaktadır. Bilgisayar grafiğinde bazı kavramları ilerleyen bölümlerde sık kullanacağımız için tanımlama yapmakla başlayalım.

### 6.1. Bilgisayar Grafiği

Bir bilgisayar ekranındaki pikseller iki boyuta sahiptir ancak görüntülemek istediğimiz nesne eğer üç boyuta sahipse bunu ancak derinlik algısı yaratarak oluşturabiliriz. Bu algıyı oluşturmak için ışıklandırma, konum için ise vektör uzayı kavramlarını bilmemiz gerekmektedir. Ayrıca nesnenin hareketini yani pikseller arası geçişlerin matematiğini bizlere matris çözümlerini verecektir.



Şekil 6.1. Vektör tabanı [10]

Matris dönüşüm zincirleri bir 3B nesnenin 2B ekran üzerinde temsil edilmesine izin vermeyi sağlar. Bir vektör uzayı ise lineer olan bağımsız vektörlerin sayısına göre tanımlanan matematiksel bir yapıdır. Buna vektör tabanı da denilmektedir. Örnek olarak üç boyutlu bir uzay, üç taban vektörüne sahip iken 2B uzay 2 taban vektörüne sahip olur. Bu taban vektörleri uzayda tüm diğer vektörleri elde etmek için ölçeklenebilir ve birbirine eklenebilir. Vektör uzayı aslında çok geniş bir konudur ve bizim amacımız tüm bu başlıkları açıklamak değildir. Bizim hedefimiz gerçek bir özel vektör uzayındaki modelimizi, model uzayı ismi altında incelemek ve kabul edilmiş 3B koordinat sistemi ile temsil etmektir.

Şekil 6.1 ele alırsak tüm köşeler model uzayın orijinine göre yapılmıştır. Bu yüzden eğer biz model uzayda (1,1,1) koordinatında bir noktaya sahipsek, nerede olduğumuzu tam olarak biliriz. Her model kendi model uzayında gerçek ve hareketlidir, eğer istersek bu modelleri herhangi bir mekânsal ilişki içerisinde sokabiliriz (Çaydanlığı masa üstüne koymak gibi).

Bunları yapmak için ortak bir uzaya (genellikle World uzayı olarak isimlendirilir) onları dönüştürmeniz gereklidir. Bir vektörün, sadece koordinat sistemi içinde anlamı

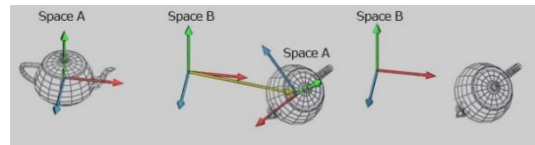
olduğunu anlamanız önemlidir. Biz uzay belirtmiyorsak herhangi bir noktayı tanımlayamayız. Modeller dışa aktarıldıktan (export) sonra tüm köşeler model uzayında tanımlanmış olur. Eğer bir objeyi içeri almak (import) istersek, onu istenilen konuma taşımamız gerekecektir. Bunu da nesnenin içerisindeki world uzayına yerleştireceğiz. Taşıma, döndürme ya da ölçeklendirmeyi (scaling) bir nesnenin transformasyonu olarak isimlendiriyoruz. Tüm nesnelere ortak bir uzay (World Uzay) içerisinde dönüştürülmektedir. Onların köşeleri kendi world uzayına bağlı olacaktır.

#### 6.1.1. Dönüşüm kavramı - transformation

Herhangi bir değişiklik için, vektör uzayındaki dönüşümü basitçe başka bir uzaydan görebiliriz. Vektör dönüşümlerinin en zor kısmı bitleridir (parçaları) bu yüzden her birini açık ve anlaşılır yapmaya çalışacağız.

Bir 3B vektör uzayında şekil 6.1'deki gibi 3 ortogonal eksen olduğunu hayal edeceğiz. Daima "aktif" bir uzaya sahip olmamız gerekiyor. Böylece bu uzayı her şeyin referansı gibi kullanabiliriz (Ya da hem geometri hem de diğer uzaylar için). Eğer her birisi kendi Model uzayında olmak koşuluyla 2 modelimiz varsa, onları ortak bir "aktif" uzayda tanımlayana kadar her ikisini çizemeyiz.

Şimdi aktif bir uzay kavramı ile başlayalım ve bu uzaya A diyelim; bu da bir çaydanlık içeriyor olsun. Şimdi biz A uzayı içerisinde her şeyi yeni bir konum içerisine taşıyan bir dönüşüm uygulamak istiyoruz diyelim. Ancak eğer taşırsak bizim A uzayını, sonradan dönüştürülmüş A uzayını temsil edecek yeni bir aktif uzay tanımlamamız gerekecek. İşte bu yeni aktif uzayımıza B uzayı olarak isim veriyoruz.



Şekil 6.2. Vektör uzayı [10]

Dönüşümden önce, A uzayındaki herhangi bir nokta tanımlıdır. A uzayının orijini başlangıç konumuna göredir (şekil 6.2'de en soldaki). Dönüşüm uygulandıktan sonra tüm noktalar şimdi yeni aktif uzaydaki durumuna bağlıdır: B Uzayı (sağdaki). A uzayındaki herhangi bir işlemde B uzayında yeniden tanımlanır ve bu

bir dönüşüm olur. Nasıl olduğuna dikkat edin, dönüşümden sonra A uzayı B uzayı içerisinde kayboluyor ya da daha kesin olarak onu B uzayında yeniden haritalandırıyor. Böylece herhangi diğer dönüşümleri uygulamamız için bizim başka yolumuz olmayacaktır. (Dönüşümleri geri almadıkça ve A uzayını "aktif" uzay yapmadıkça tekrar)

Bunu görmenin diğer yolu, tüm bunları bir uzayda taban vektörleri ile hareket ettiğini hayal edin ve A uzayını B uzayı üstünde mükemmel bir şekilde çakıştırılmış olduğunu düşünün. Dönüşümü yaptığımız zaman bizim A uzayı B uzayından ayrılıyor ve A uzayındaki tüm şeyler onun ile hareketleniyor. Tüm köşeler taşındıktan sonra bizim B uzayımızdaki konumlara göre tanımlı oluyor ve dönüşümü tamamlamış oluyoruz.

Bu durumda A uzayındaki işlemleri tekrar tersine dönüşüm yapmamız (Inverse Transformation) ile B uzayını elde etmemiz de mümkündür. Böylece B uzayı yeniden haritalanabiliyor olacak A uzayı içerisinde yeniden (ve bu noktaları biz "kaybederiz" B uzayında). Eğer hem dönüşümünü hem de onların tersini (inverse) biliyorsak daima yeniden 2 uzayı, birini diğerinden yeniden haritalandırabiliriz. Vektör uzayındaki dönüşümleri ölçeklendirme (scale), öteleme (translation), döndürme (rotation) için kullanırız. Burada önemli bir nokta, tüm dönüşümler daima orijine göre tanımlıdır. Eğer 90° sol ve sonra öteleme yaparsak farklı bir şey eğer ilk öteleme sonra 90° döndürme yaparsak farklı şeyler yapmış oluruz.

### 6.1.2. Dönüşüm matrisi – transformation matrix

Biliyoruz ki bir dönüşüm bir uzaydan diğerine olan değişimdir ve bunu matematiksel olarak yapabiliriz. Eğer 3B uzayı olan bir dönüşümü diğerine temsil etmek istersek 4x4'lük bir matrise ihtiyacımız olacak. OpenGL'de olduğu gibi, bir sütun vektör notasyonu üzerinden bunu anlatmaya çalışalım. Eğer satır vektörleri içerisindeyseniz sadece devrik (transpose) matrise ve çarpılabilir vektörlere ihtiyacınız olacaktır. Dönüşümleri uygulamak amacıyla tüm vektörleri çarpılabilir yapmamız gereklidir. Eğer A uzayındaki vektörler ve dönüşümler A uzayının yeni konumu B uzayına göre tanımlanabiliyorsa, çarpmadan sonra tüm vektörler B uzayında sonradan tanımlanabilir olacaktır.

#### 6.1.2.1. Öteleme matrisi – translation matrix

Öteleme bir 3B vektörü uzayımızda taşımak istediğimiz bir konumu temsil etmektedir. Bir öteleme matrisi, aktif uzayda tam olarak döndürülmüş tüm eksenleri bırakır.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Translation.x \\ 0 & 1 & 0 & Translation.y \\ 0 & 0 & 1 & Translation.z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

#### 6.1.2.2. Ölçekleme matrisi – scale matrix

Her bir eksen boyunca ölçeği tanımlayan bir 3D vektördür. İlk sütunu okursanız yeni X eksenin nasıl olduğunu görebilirsiniz. Hala aynı yöne bakacak şekilde duruyor ancak Scale.x tarafından ölçeklendirilmiş şekildedir. Bunun yanı sıra tüm diğer eksenlerde de aynı şeyler olur. Ayrıca translation sütunlarının (en sağdaki siyah olan sütün) bu sefer 0 olduğuna dikkat edin, bunun anlamı öteleme yapılmadığını gösteriyor.

$$\begin{bmatrix} Scale.x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Scale.y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Scale.z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

#### 6.1.2.3. Dönme matrisi – rotation matrix

Teta, bizim dönüş yapmak için kullanmak istediğimiz açıdır. X eksenini etrafında dönüş yapıyor olacağımızdan ilk sütünün asla değişmeyecektir. Ayrıca tetanın 90°'lik değişikliğinin nasıl Y eksenini Z eksenine içerisinde ve Z eksenini de -Y eksenine içerisinde yeniden haritalandığını görebiliyoruz.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

X eksenini dönme matrisi

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Y eksenini dönme matrisi

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Z eksenini dönme matrisi

Z ve Y eksenini için dönme matrisleri X eksenini etrafındaki dönme matrisiyle aynı davranışlara sahiptir. Biz burada sadece en çok kullanılan bazı matrisleri anlattık. Birbiri ardına matrisleri çarpım şekline getirerek onları zincir dönüşümü şeklinde yapabilirsiniz. Sonuç tam bir dönüşümü şifreleyen tek bir matris olacaktır. Dönüşüm bölümünde gördüğümüz gibi transformasyonları uygulamalı olarak kullanabilmemiz çok önemlidir. Matematikteki çarpımda yer değişim özelliği burada biraz farklıdır çünkü [öteleme x dönme] ile [dönme x öteleme] birbirinden farklıdır.

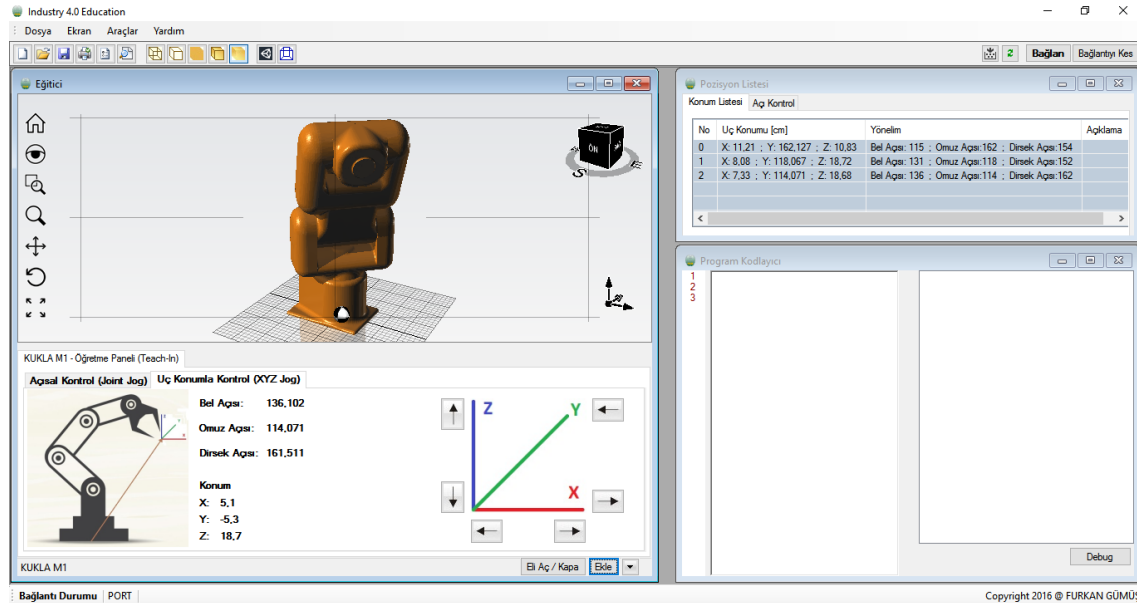
Bu bölümdeki kavramları kullanarak simülasyondaki robot manipülâtörün hareketlerini matrisler cinsinden ifade edeceğiz. Hesaplamış olduğumuz ileri ve ters kinematik matris yapıları ile birlikte kullanılarak C# yazılımında simüle edilebilirlik kazandırılmıştır.

## 6.2. Kontrolcü Yazılımının Oluşturulması

Bütünleşik imalat sistemlerini bir çatı altında toplayan ve öğrencilerin temel robot programlama bilgisini oluşturma amacıyla aşağıdaki gibi bir program hazırlanmıştır. Gerçek zamanlı kontrol, simülasyon ve elektronik kartlar ile seri haberleşebilme ve hatta robot programlama dili ile hazırlanmış (move master command) metni debug ve compiler edebilmektedir.

Kullandığımız rc servo motor Arduino prototip geliştirme kartı ile sürülmektedir. Kart ve program arasında haberleşmenin sağlanması için Visual Studio'da açtığımız bir winform içerisindeki araçlar menüsünden SerialPort eklendi

Servo motorların sürülebilmesi için hazır kütüphaneye sahip olan Arduino sayesinde bilmemiz gerekli olan tek şey motorun konumudur. Sahip olduğumuz motor 0-180° açı değerlerinde çalışabilmektedir. Kart ile yazılım arasında sadece int (tam sayı) değerinde bir karakter gönderilmesi pozisyonlama için yeterlidir. Ancak birden fazla motor olduğu için hangi motora hangi açı değeri gönderilecek bunu ayırt edecek bir şifreleme metodu oluşturmamız gereklidir. Bu amaçla gönderilecek koddan önce her seferinde bir char tipinde karakterin önceden gelmesini istiyoruz. Algoritmanın bu mantık ile kurulması, char tipinde şifreli bir kodun gönderilip başka bir ortamda çözülmesine benzer. Bu özellik farklı ortamlarda da işlevsel olarak kullanılabilir. Ancak programı yazan kişinin ne tür bir şifre göndereceğini karşı tarafa da söylemiş olmalıdır. Bu algoritma sayesinde şifreli ve güvenli bir haberleşme sağlanmış olmaktadır. Şekil 6.6'da görüldüğü gibi robotu istediğimiz pozisyona ulaştırmak için motorun açı değerini kullanıyoruz. Bu değer direk seri haberleşme üzerinden karta gönderip gerçek zamanlı hareket yapmasını



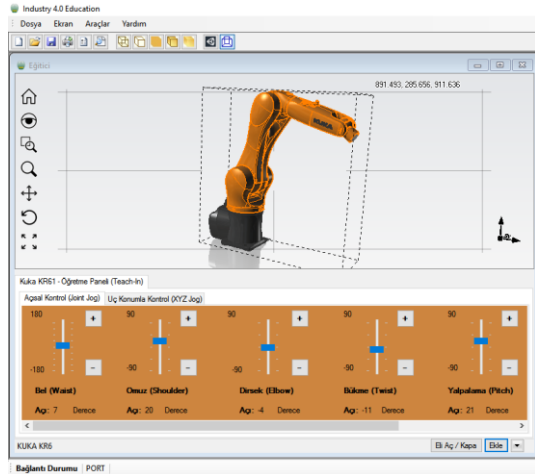
Şekil 6.4. Üç eksenli robot kontrolü

Kontrolcü algoritması ve manipülâtörün hareketini oluşturan temel unsur servo motorların çalışma mantığına bağlıdır.

sağlayabiliriz veya pozisyonları kaydederek daha sonra belirli sıralarda çağırabiliriz. Açı değerini kullanarak manipülâtörün uç

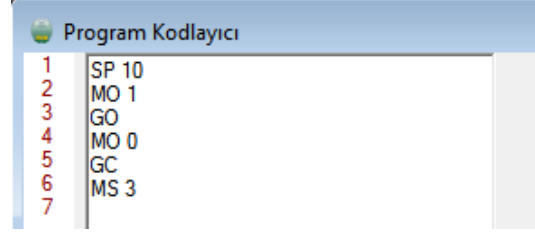
konumunun koordinatlarını ileri kinematik hesaplama ile daha önceki bölümde nasıl bulunacağını göstermiştik. Şekil 6.4'de ise tam tersi gösterilmektedir. Uç noktanın koordinatları x, y ve z'de bir birim ilerlenerek değişmektedir. Bu hareketler sırasında motorların alacağı açı değerlerinin hesaplanması ters kinematik ile olmaktadır. 5. Bölümdeki ters kinematik işlemler kullanılarak bu açı değerlerini saptadık. Bunu hareketlerin simülasyon ekranında 3 boyutlu olarak gösterilmesini sağlamak için önceki bölümde anlatılan transfer matrisleri kullanılmıştır.

Burada kullandığımız her bir model Solidworks ortamında çizilmiştir. Kinematik denklemlerini çıkartabileceğimiz her modeli buraya yükleyebilir ve kontrol edebiliriz. Bu program bizlere esnek ve geliştirilebilir bir ortam sunmaktadır.



Şekil 6.6. KUKA KR6 model manipülatörün kontrolü

Robotun hareketini açısal kontrol (joint jog) veya uç konum (XYZ jog) hareketiyle sağlayabilmekteyiz. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi her hareket sonrasında kaydet butonuna basarak konum ve yönelim bilgisini pozisyon bilgisi ekranında saklayabiliyoruz. Daha sonra bu verilen konumları kullanarak robotumuzu eğitebilir ve algoritma kurarak döngü içerisinde çalıştırılmasını sağlayabiliriz. Bu amaçla geliştirilmiş Move Master, Melfa Basic gibi robot programlama dilleri mevcuttur. Eğitim amaçlı bir uygulama olacağı için bu dilleri kullanabileceğimiz kütüphanelerin oluşturulması gerekmektedir. Move Master komutlarından bazılarını kullanarak bunu biraz açalım.



Şekil 6.7. Move master kodlaması

Örnek bir programlama ekranında, SP (speed) komutu robotun hareket hızını, MO (move) komutu kaçınıcı sıradaki pozisyona gidileceğini, MS (move straight) istenen konuma doğrusal hareket yapılacağını, GO (gripper open) ve GC (gripper close) ise elin açılıp kapatılacağı anlamına gelmektedir. Programın işleyişi yukarıdan aşağı doğru satır halinde okuyarak gitmektedir. Ancak bu ekrana verdiğimiz kodların dışında yanlış bir karakter girilmesi, fazla veya düşük sayı verilmesi veya eksik kod yazılması durumunda sistemin bu hatayı belirlemesi gerekmektedir. Bu amaçla düzenli ifadeler (regex) kavramını kullanacağız.

Visual studio'da

System.Text.RegularExpressions kütüphanesi eklenerek satırdaki ifadelerin düzenli olup olmadığının kontrolünü yapabiliriz. Örnek olarak,

```
Regex move = new Regex("^MO\\s*[0-9]*\\s*$");
Regex movestraight = new Regex("^MS\\s*[0-9]*\\s*$");
Regex equal = new Regex("^EQ\\s*[0-9]*\\s*[0-9]*\\s*$");
Regex gripperopen = new Regex("^GO\\s*$");
Regex gripperclose = new Regex("^GC\\s*$");
```

Burada ^ ifadesi MO ile başlayan kelimeyi tut demektir. \\s\* ise çoklu satır aralığı ve [0-9]\* ifadesi ise sıfır ile 9 rakamları arasında çoklu basamaklar halinde olabilecek karakterlerin eşleşmesini aramaktadır. \$ ifadesi ile aradığımız cümle veya kelime bütünü sonlandığını söylüyoruz.

```
if
(move.Match( richTextBox1.Lines[i] ).Success)
{
```

```
foreach (Match isim in
Regex.Matches( richTextBox1.Lines[i],
"^MO\\s*[0-9]*\\s*$" ))
```

```
MessageBox.Show(Convert.ToString(isim.Val
ue)); string[] dizi =
Regex.Split(richTextBox1.Lines[j], " ");
```

```
for (; j <= dizi.Length - 1; j++)
    listBox1.Items.Add(dizi[j]);
}
```

Satır içerisinde bu veya buna benzer regex ifadelerini bulamaz ise o satır geçilmektedir. Geçilen her bir satır aslında debug edilmiş olduğundan hata analizi için benzer bir kodlama yapılmıştır. Yukarıdaki fonksiyonda eşleşme yapılan her bir kodun parçalarına ayrılıp diziler içerisinde saklandığı gösterilmektedir. Bu fonksiyon içerisinde motorun nasıl bir hareket yapması gerektiğini anlatan kütüphaneler yazılmıştır.

Bölüm 5'de robot kinematığını anlattığımızda hesaplamaların yazılım içerisinde yer alacağından bahsetmiştik. Program içerisine 3 eksenli robot için statik, dinamik ve kinematik analizlerin yapılabileceği bir kodlama yapılmıştır. Şekil 6.8'deki değerler 5.bölümde tasarımını yaptığımız manipülatöre aittir.

halinde bağlaması ile hem daha az maliyet (profil fiyatları arasında ciddi fark vardır) hem de sisteme daha az yük binmesi sağlanabilir. Böylece daha düşük torka sahip ucuz step motor kullanılabilir.

Spindle yerine kullanılan Mabuchi RS-775 model motor gayet yüksek performans göstermiştir. Tahta ve sert köpük işleme düşük ilerleme hızlarında başarılıdır. Daha iyi freze takımı ile yüksek ilerleme hızlarında etkili sonuç alabilmeyi vaat etmektedir. Mandren takımı için daha uygun bağlantı şekilleri yapılarak iyileştirilemeye ihtiyaç bulunmaktadır. 12V DC güç kaynağı kullanıldığı için katalogdaki nominal 18V değerinde çalışılma koşulları sınınamamıştır. Motor 20V (en fazla 24V) çalışabilme kapasitesine sahiptir. Voltaj regülatörlü ve PWM kontrollü motor sürücü devresi kullanılarak torktan kayıp olmayacak şekilde verimli talaş kaldırma ve delme işlemleri yapılmaya müsaittir. Redüktör kullanılarak tork daha da yükseltilebilir ve uygun tasarım yapılarak mandren takımı daha verimli yerleştirilebilir.

UNSUR	Ağırlık (kg)	Uzunluk (cm)	K.M.U
Bel (L0)	0,04168	10,8	8,15
Omuz (L1)	0,06226	10	4,7
Dirsek (L2)	0,0144	3,5	11

UNSUR	Ağırlık (kg)	Verim
0.Motor (J0)	0,009	90
1.Motor (J1)	0,009	90
2.Motor (J2)	0,009	90
Nesne	0,01	

İleri Kinematik	Ters Kinematik		
Eklemler	Açı	Eklemin x Konumu	Eklemin z Konumu
J0	0	0	10,8
J1	0	10	10,8
J2	0	13,5	10,8

4.8V Torku:	1,3 kg/cm	17,65 N.cm	1,8 kgf.cm	0,176 N.m	Motor için gerekli Tork
4.8V Hızı:	0,1 s/60°	0,3 s/180°			Bel Motorlan: 0,0221939 Nm Motor Uygundur
Ağırlık:	90 gram				Omuz Motorlan: 0,0866031 Nm Motor Uygundur
Açısal Hız (w):	10,471 rad/s				Dirsek Motorlan: 0,0051939 Nm Motor Uygundur
Açısal İvme (a):	34,90 rad/s <sup>2</sup>				

Unsur	Ağırlık [kg]	Uzunluk [cm]	Kütle Merkezi Uzaklığı [cm]	Statik Moment [Nm]	Dinamik Moment [Nm]	Çizgisel Hızı [m/s]	Merkezil İvme [m/s <sup>2</sup> ]	Atalet Momenti [kg.m <sup>2</sup> ]
Bel [L0]	0,04168	10,8	8,15	0	0,0221939383809178	1,41371669411...	14,804406601634	0,0006358095
Omuz [L1]	0,06226	10	4,7	0,0663177582	0,020285420843862	1,41371669411...	14,804406601634	0,0005811345
Dirsek [L2]	0,0144	3,5	11	0,00484614	0,000347785942280...	0,36651914291...	3,83817948931253	9,96333333333333E-06

Şekil 6.8. Üç eksenli manipülatör için hesap makinesi

## VII. SONUÇLAR

Hibrid yönlendiricide bağlama tablası için kullanılan 22.5x180'lik yüzey kaplama profili ağırlığından dolayı trapez vidaya fazladan yük bindirmiştir. Aynı işlevi 15x120'lik yüzey kaplama profili yan şekilde çoklu üniteler

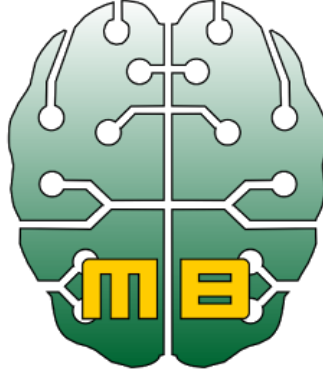
Simülasyonda kullanılan modellerin uzantılarına göre yüklenme süreleri değişken olduğu gözlemlendi. Stl uzantısına sahip çizimler daha hızlı açılırken step uzantılı dosyaların yüklenmesi yaklaşık 130 saniye daha uzun sürmektedir. Step uzantılı modellerin görümleri daha canlı ve gerçekçi olurken stl

uzantılı modellerde bazı görünüm özellikleri eksik çıkmaktadır. Yaptığımız modellerin çıktısını alırken global bir koordinat tanımlamamız gerekmektedir. Aksi halde çizim uzayındaki yerel koordinatlar simülasyon uzayımızda farklı doğrultulara düşebilmektedir.

#### KAYNAKLAR / REFERENCES

- [1] Endüstri 4.0, <https://goo.gl/wGkcqx> (06.01.2017)
- [2] CNC Router Tasarım Modelleri, <https://goo.gl/Eroork> (06.01.2017)
- [3] CNC Operatörünün El Kitabı, Makine Yüksek Mühendisi Hamit ARSLAN
- [4] Freze Çakısı Ürün Kataloğu, Engineering Supply Company Ltd., İskoçya, 2017
- [5] Akkurt, A., (1985) Talas Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [6] Mabuchi RS-775 Motor Kataloğu, [http://61.114.190.123/cgi-bin/catalog/e\\_catalog.cgi?CAT\\_ID=rs\\_775vcwc](http://61.114.190.123/cgi-bin/catalog/e_catalog.cgi?CAT_ID=rs_775vcwc) (09.01.2017)
- [7] Krom Kaplı Milin Özellikleri, <https://goo.gl/dqTG8I> (09.01.2017)
- [8] 304 Kalite Paslanmaz Çeliğin Özellikleri, <https://goo.gl/trJ3nH> (09.01.2017)
- [9] Bingül, Z., Küçük, S., (2005) Robot Tekniği I, Birsen Yayınevi, ISBN: 975-511-424-6
- [10] Bilgisayar Grafiği Kavramı, <https://www.muhendisbeyinler.net/bilgisayar-grafiği-nedir-ve-matris-kavramı> (09.01.2017)





# Sen de Katıl!

## Odak ve Kapsam

Temel Bilimler ve Mühendislik alanlarında

- Özgün araştırma makaleleri,
- Lisansüstü ve doktora tez makaleleri,
- Derleme ve tarama makaleleri,
- Editöre mektup,
- Bildiri ve raporlar

Kabul edilmektedir. Deneysel, teorik (kuramsal) veya uygulama içeren araştırma ve çalışmalarınızın yayımlandığı bir dergidir. Dergide yayımlanan makaleler izin alınmaksızın başka bir yerde yayımlanamaz veya bildiri olarak sunulamaz. Makalelerin bir kısmı veya tamamı dergimiz kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

## Yayın Dili ve Dizin

- Dergimiz Türkçe ve İngilizce dillerinde yazılmış makaleleri yayımlamaktadır.
- Dergimiz hakemli değildir.
- Makaleler Google Scholar dizininde yer almaktadır.

Başvuru için [furkan.gumus@muhendisbeyinler.net](mailto:furkan.gumus@muhendisbeyinler.net) adresinden irtibata geçebilirsiniz.

Blog: [www.muhendisbeyinler.net](http://www.muhendisbeyinler.net)

Forum: [www.muhendisbeyinler.net/forum](http://www.muhendisbeyinler.net/forum)

Instagram: [www.instagram.com/muhendisbeyinler](http://www.instagram.com/muhendisbeyinler)

Facebook: [www.facebook.com/MuhendisBeyinler](http://www.facebook.com/MuhendisBeyinler)

**MÜHENDİS BEYİNLER**

2017