

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KESİKLİ DÖNER HAREKET MEKANİZMASININ ESNEK
ELEMANLARLA TASARLANMASI VE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Samet Adem CÖMERT**

Anabilim Dalı : Mekatronik Mühendisliği

Programı : Mekatronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Ümit SÖNMEZ

TEMMUZ 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KESİKLİ DÖNER HAREKET MEKANİZMASININ ESNEK
ELEMENLARLA TASARLANMASI VE ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Samet Adem CÖMERT
(518081039)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Temmuz 2011

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Ümit SÖNMEZ (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şafak YILMAZ (İTÜ)
Doç. Dr. Levent TRABZON (İTÜ)**

TEMMUZ 2011

ÖNSÖZ

Öncelikle tez konum olan esnek mekanizmalar dünyasını bana tanıtan ve bu yolda değerli bilgileriyle bana yol gösteren danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ümit SÖNMEZ'e, tez çalışmalarım boyunca desteklerini hep arkamda hissettiğim aileme, çıkmaza girdiğim noktalarda verdikleri fikirlerle yolumu açan ev arkadaşlarım Mutlu GÜNDÜZ ve Alper GERÇEK'e, sorularıma yılmadan cevap veren iş arkadaşlarım M. Hakan DEMİR, Nurullah TURGUT, Ahmet KIRLI ve değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Erhan AKDOĞAN ve Dr. Utku BÜYÜKŞAHİN'e, bana laboratuvarını açan ve malzemelerini kullanmama izin veren Prof. Dr. Ahmet KOYUN'a ve manevi desteğiyle bu tezin bitmesinde büyük emeği olan Günsu KİMYON'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2011

Samet A. CÖMERT
Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Esnek Mekanizmanın Tanımı	1
1.2 Esnek Mekanizmaların Avantajları	3
1.3 Esnek Mekanizmaların Dezavantajları	4
1.4 Tarihsel Geçmiş	5
1.5 Esnek mekanizma tasarımında önemli terimler	6
1.6 Literatür Özeti	8
2 ESNEK MEKANİZMAYLA 4 İSTASYONLU DÖNER TABLA	
TASARIMI	14
2.1 Döner Tabla Tanımı	15
2.2 Mevcut Kullanılan Sistemler	16
2.2.1 Elektriksel Tahrikli Döner Tabla	16
2.2.2 Pnömatik Tahrikli Döner Tabla	18
2.3 Esnek Mekanizma İle Döner Tabla Tasarımı	20
2.3.1 Mekanik tasarım	20
2.3.1.1 Tasarım Aşamaları	20
2.3.1.2 Döner Tabla İçin Yapılan Son Tasarım	24
2.3.2 Elektrik Donanımı	31
3 GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE SİSTEMDEN VERİ TOPLAMA	34
3.1 Görüntü İşlemenin Esasları	35
3.2 Döner tabla verilerinin görüntü işleme ile alınması	44
4 SİSTEMİN MODELLENMESİ	51
4.1 Esnek Elemanların Modeldenmesi	51
4.2 ANSYS İle Esnek Elemanların Kuvvet Eğrilerinin Elde Edilmesi	52
4.2.1 ANSYS Paket Programı	52
4.2.2 Esnek Elemanların ANSYS İle Analizi	54
4.2.2.1 ANSYS'te parçaların analize hazırlanması	54
4.2.2.2 ANSYS'te Elde Edilen Çözüm	58
4.3 Sistemin Simulink İle Modeldenmesi	62
4.4 Karşılaştırmalar	67
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	73

KISALTMALAR

MEMS	: Mikro Electro Mechanical Systems
PRBM	: Pseudo Rigid Body Model
CAD	: Computer Aided Design
AISI	: American Iron and Steel Institute
RGB	: Red Green Blue

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 : İşaretçilerin bulunmasında kullanılan RGB değer aralıkları	46
Tablo 4.1 : AISI 301'in özellikleri	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Rijid mekanizma örnekleri: (a) Krank Biyel Mekanizması (b) Geneva Mekanizması	1
Şekil 1.2 : Bilinen esnek aletler. Bir dosya klipsi, kâğıt klipsi, sırt çantası kilidi, kirpik kıvrımcı ve tırnak makası	2
Şekil 1.3 : Çift kararlılık bir anahtar	3
Şekil 1.4 : (a) Esnek mekanizmayla tasarlanmış kavrama (b) Rijit mekanizmayla tasarlanmış kavramanın parçaları	4
Şekil 1.5 : Gevşek, gergin ve kullanıma hazır haldeki okulu yay	6
Şekil 1.6 : Esnek mekanizma kullanılarak yapılmış kanat çırpma mekanizması	8
Şekil 1.7 : MEMS teknolojisi kullanılarak mikro bilek tasarımı	9
Şekil 1.8 : Parmak hareketlerini taklit edebilecek temas yardımcı esnek mekanizma çalışması	10
Şekil 1.9 : Omurga hareketlerinin hepsini taklit edebilecek temas destekli esnek mekanizma tasarımı	11
Şekil 1.10 : Üç kararlılık esnek mekanizma tasarımı	11
Şekil 1.11 : Bilek rehabilitasyon aletinin tasarımı	12
Şekil 2.1 : Döner tablanın otomasyonda kullanımı	15
Şekil 2.2 : Döner tablalı divizör	16
Şekil 2.3 : Elektriksel tahrikli sistemlerin çalışma mekanizması	17
Şekil 2.4 : Elektriksel tahrikli sistemlerin yataklanması	17
Şekil 2.5 : Elektriksel tahrikli sistemlerin (a) hız ve (b) ivme grafikleri	18
Şekil 2.6 : Pnömatik tahrikli sistemlerin çalışma şekli	19
Şekil 2.7 : Pnömatik tahrikli sistemlerin tahrik mekanizması	19
Şekil 2.8 : Tasarımın eksiklikleri giderildikten sonraki dış görünümü	21
Şekil 2.9 : 2. tasarımın üstten (a) ve isometrik (b) görünümü	22
Şekil 2.10 : 2. tasarımın sönümleme (a) ve merkezleme mekanizmaları(b)	22
Şekil 2.11 : Basitleştirildikten sonra yapılan 3. Tasarım	23
Şekil 2.12 : 3. Tasarım yavaşlatma ve merkezleme mekanizması	24
Şekil 2.13 : Tasarımın son halinin CAD modeli	25
Şekil 2.14 : Tasarımın gerçekleşmiş hali	25
Şekil 2.15 : Tahrik milinin yataklanması	26
Şekil 2.16 : Esnek elemanın gerilmeye başlamadan önceki sürekli hali	27
Şekil 2.17 : Esnek eleman esnemeye başlarken	28
Şekil 2.18 : Esnek elemanın deforme olmuş hali	28
Şekil 2.19 : Yavaşlatma ve sabitleme mekanizması	29
Şekil 2.20 : Sönümleyici elemanın görünümü ve montajı	29
Şekil 2.21 : Merkezleme mekanizması	30
Şekil 2.22 : Elektrik motoru ve kasnak mekanizması	31
Şekil 2.23 : PLC nin girişi için yapılan bağlantı şeması	32
Şekil 2.24 : PLC nin çıkışları için yapılan bağlantı şeması	32

Şekil 2.25 : Kullanılan sınır anahtarları ve merkezleme mekanizması.....	33
Şekil 3.1 : Bir fiziksel görüntü ve dijital karşılığı	35
Şekil 3.2 : Bir görüntünün sayısallaştırılması	36
Şekil 3.3 : Sürekli bir görüntünün sayısallaştırılmış hali. $[m,n]$ gibi bir nokta sayısal olarak koordinat, parlaklık vs. değerlerle tanımlanmış	36
Şekil 3.4 : Bir Dijital Görüntü İşleme Sistemi	37
Şekil 3.5 : Görüntü Türleri	38
Şekil 3.6 : Çeşitli Görüntü Operasyonlarının Örneklenmesi	40
Şekil 3.7 : Dijital Görüntü İşleme Sırası	42
Şekil 3.8 : Dijital Görüntü İşlemede Temel Adımlar	43
Şekil 3.9 : Görüntü işleme için üstünde işaretleme yapılmış tabla	45
Şekil 3.10 : Yapılan taramalar sonucunda elde edilen kırmızı pikseller	46
Şekil 3.11 : Yapılan taramalar sonucunda elde edilen pembe pikseller	47
Şekil 3.12 : Tablanın açısal yerdeğiştirme grafiği	48
Şekil 3.13 : Tablanın açısal hız grafiği	48
Şekil 3.14 : Tablanın açısal ivme grafiği	49
Şekil 4.1 : ANSYS'te yapılmış nonlinear geometri ve nonlinear malzemeli analizin sonucu.....	53
Şekil 4.2 : Analizde belirlenen sınırlar, A sabit B döner mesnet.....	55
Şekil 4.3 : Analizde verilen giriş yükü, Z eksenı etrafında açısal yer değıştirme	56
Şekil 4.4 : Modelin Ağ örölmüş hali.....	57
Şekil 4.5 : ANSYS ile elde edilen von misses gerilme sonuçları	58
Şekil 4.6 : ANSYS ile elde edilen gerinme değeri	59
Şekil 4.7 : Gerçek (a) ve ANSYS (b) ile elde edilen yerdeğıştirme	59
Şekil 4.8 : ANSYS ile elde edilen gerinme enerjisi değeri	60
Şekil 4.9 : Parçanın sertlik enerjisi değeri	61
Şekil 4.10 : Tablaya etki eden teğetsel kuvvet.....	61
Şekil 4.11 : Sistemin bütününün simülük modeli	63
Şekil 4.12 : 1. Denklemin ivme hız ve pozisyon grafiğı.....	64
Şekil 4.13 : 2. Denklemin ivme, hız ve pozisyon grafikleri	65
Şekil 4.14 : Simülük modelinden elde edilen açısal ivme grafiğı	66
Şekil 4.15 : Simülük modelinden elde edilen açısal hız grafiğı	66
Şekil 4.16 : Simülük modelinden elde edilen açısal pozisyon grafiğı	67
Şekil 4.17 : Pozisyonun gerçek ve simülasyon değeri lerinin karşılaştırılması	67
Şekil 4.18 : Hızın gerçek ve simülasyon değeri lerinin karşılaştırılması	68
Şekil 4.19 : İvmenin gerçek ve simülasyon değeri lerinin karşılaştırılması	68

KESİKLİ DÖNER HAREKET MEKANİZMASININ ESNEK ELEMANLARLA TASARLANMASI VE ANALİZİ

ÖZET

Endüstriyel Otomasyon uygulamalarında, üzerinde işlem yapılacak parçaların hassas bir şekilde transferi bu alandaki en önemli problemdir. Bu amaç için kullanılan pnömatik pistonlar, mekanizmalar veya servo motor kullanılarak yapılan döner tablalarda hassas konumlama ve maliyet bakımından istenilen kriterleri sağlayamayışı bu alandaki arayışları arttırmıştır.

Bu çalışmada parça transferini hızlı bir şekilde gerçekleştirecek hareket sonunda hassas bir şekilde konumlama yapabilecek basit mekanizmalar ve esnek elemanlar kullanan bir mekanizma yapılması planlanmıştır. Bu doğrultuda yapılan tasarım aşamaları ve yapılan iyileştirmeler anlatılıp elverişli bir tasarımın kriterleri çıkarılmıştır. Yapılan son tasarım CAD ortamında çizilmiştir. CAD ortamında tasarlanan mekanizma imal edilip PLC ile kontrolü sağlanmıştır. Dönme hareketinde kullanılan esnek elemanların tablaya uyguladıkları teğetsel kuvvet sonlu elemanlar paket programı ile hesaplanıp Matlab Simulink ortamında sistemin modeli oluşturulmuş, imal edilen deney düzeneğinden görüntü işleme metodu ile alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Bu projede 4 istasyonlu bir döner tablanın, esnek elemanlar üzerinde enerji depolayarak elektrik motorundan aldığı sürekli dönme hareketini kesikli harekete çevirebilecek hassas konumlama özelliği olan basit bir tasarımın gerçekleştirilmesi ve böylece motorun kalkışlarda harcadığı gücü minimuma indirilirken, hızlı hareket sağlayarak minimum transfer zamanı elde edilmesi daha sonra sistem üzerinden ölçümler alınarak işlevliğinin gözlemlenmesi ve geliştirme çalışmalarında araştırmacıya yol gösterebilecek bir modelinin oluşturulmasıdır.

Bu çalışma ile endüstriyel otomasyon uygulamalarının maliyetini düşürerek üreticinin bu alana yatırım yapması teşvik edilmesi ve Türkiye'nin bu konudaki dışa bağımlılığı azaltılması amaçlanmaktadır.

DESIGN AND ANALYSIS OF INTERMITTENT MOTION WITH COMPLIANT MECHANISMS

SUMMARY

It is very common and important problem in applications of industrial automation that transporting a piece to make process on it. Pneumatic pistons, mechanisms or rotary indexing tables with servo motor technologies in use for this purpose is not satisfy the needs in according to high precision and cost so seeking in this sector is rising.

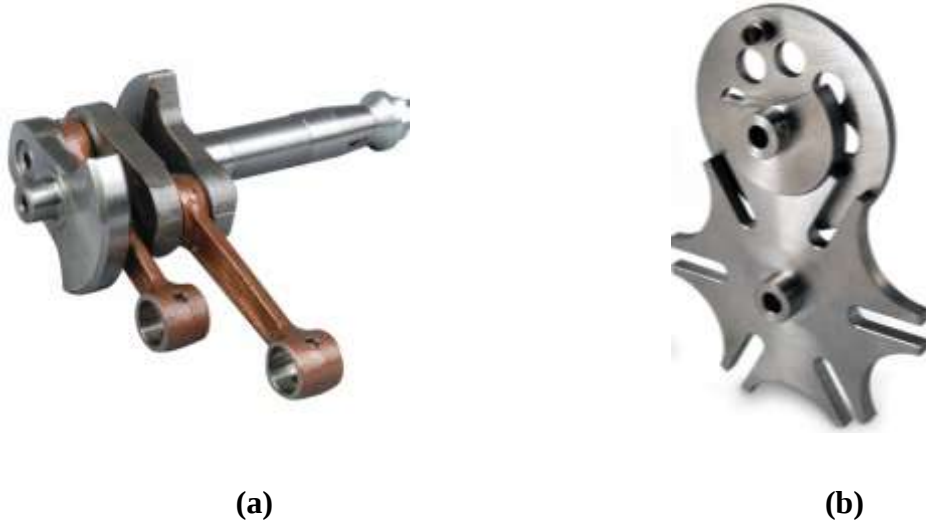
In this research, main purpose is to make a mechanism that transfer the working piece with high precision and high speed with simple and compliant mechanisms. In this purpose, the steps of design and the revisions conducted are explained. After that the efficient design criteria are identified. The last design has drawn in CAD platform. The mechanism that drawn in CAD platform is manufactured and then controlled with PLC. The tangential force, which the compliant mechanisms applied to the rotary table, calculated with finite element method programme and then systems' model accomplished in Matlab simulink. The results obtained from manufactured mechanism with image process are compared with results from simulink model.

In this thesis a simple rotary indexing table with four station is designed with compliant mechanisms which can store strain energy on it and can change the continues rotary motion to intermittent motion with high precision thus the transfer time and the peak current point is diminished. Then the measurements which taken from mechanism is used for making model of system so that can be a guide for researcher in the development studies.

1 GİRİŞ

1.1 Esnek Mekanizmanın Tanımı

Belirli bir amaca ulaşmak için rijit elemanlarını kullanarak hareket ve güç ileten sistemlere mekanizma denir. Günümüze kadar çeşitli fonksiyonları yerine getirebilmek için binlerce mekanizma tasarlanmıştır. Bu tasarımlar insan hayatını kolaylaştırarak ve hızlandırarak insanın yaşam kalitesini yükseltmiştir. Örnek olarak araçlar motorlarında kullanılan şekil1.1(a) da gösterilen krank biyel mekanizması döner hareketi lineer harekete çevirebilmek için kullanılan en yaygın mekanizma türüdür. Yine şekil1.1(b) de gösterilen geneva mekanizması (Malta haçı mekanizması) döner hareketi üzerindeki kanallar ve pim sayesinde kesikli harekete çevirebilmek için kullanılan en yaygın mekanizmadır.



Şekil 1.1 : Rijit mekanizma örnekleri: (a) Krank Biyel Mekanizması (b) Geneva Mekanizması

Esnek mekanizmalar rijit elemanlı mekanizmalardan, hareket ve enerji iletimini hareketli eklemlerinin yer değiştirmesinin yanında esnek kısımlarının deformasyonu sayesinde sağlamasıyla farklılık gösterir. Esnek elemanlarının üzerinde enerji depolandığından girişteki enerji ile çıkıştaki enerji birbirine eşit olmaz ve bu özellikleri ile daha yumuşak hareketler elde edilir. Esnek elemanların bu özelliğini doğadan rahatlıkla örneklendirebiliriz mesela; arı ve böceklerin kanatları, ağaç

dalları, balıklar ve tek hücreli organizmalar esnekliğin avantajlarını kullanmaktadır. Günlük hayatımızda da oldukça geniş yer kaplayan esnek mekanizma örneklerini şekil 1.2 de görülmektedir.



Şekil 1.2 : Bilinen esnek aletler. Bir dosya klipsi, kâğıt klipsi, sırt çantası kilidi, kirpik kıvrırcı ve tırnak makası [1]

Burada en çok kullandığımız tırnak makasının çalışma prensibi iki adet çubuk rijit olarak birbirine bağlanmıştır, bu çubuklardan alttaki sabit kalırken üstteki çubuk üçüncü bir kolun moment etkisiyle eğilerek sabit çubuğun üzerine doğru hareket eder. Bu hareket sonucunda iki çubuk birbirine yaklaşır ve keskin uçlarla tırnak kesilir. Cımbız gibi el aletlerinde iki esnek çubuğun eğilmesiyle birlikte küçük objelerin tutulması sağlanmaktadır. [2]

Başka bir esnek mekanizma örneği olan tek kararlılık (bi-stable) mekanizmanın elektrik devrelerinde anahtarlama elemanı olarak kullanımının bir örneği şekil 3’de görülmektedir. Bu mekanizmada mekanizmanın pozisyonunu koruduğu 2 pozisyon bulunmaktadır fakat 1. Pozisyondan 2. Pozisyona geçirmek için dışarıdan bir kuvvet uygulamak gerekmektedir fakat herhangi bir tutma kuvvetine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu mekanizmanın en büyük avantajı basit üretilebilmesi, ucuz ve uzun ömürlü olmasıdır.



Şekil 1.3 : Çift kararlılıkl bir anahtar

1.2 Esnek Mekanizmaların Avantajları

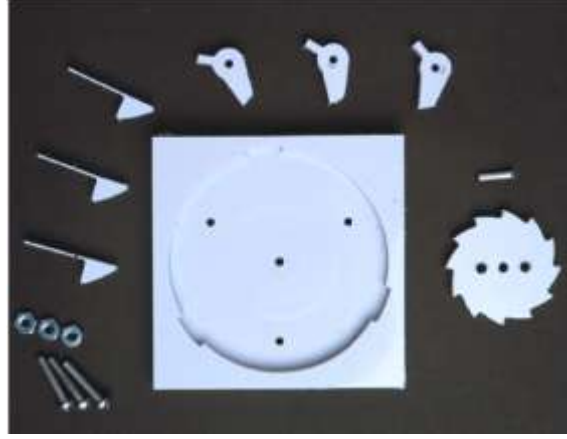
Esnek mekanizmalar birçok sebepten dolayı belirli uygulamalarda kullanılırlar. Esnek mekanizmaların avantajları iki kategoride incelenebilir. Bunlar;

1. Maliyet azalması (parça sayısında azalma, montaj zamanında azalma, üretim sürecinde basitlik)
2. Performans artışı (hassasiyetin artması, güvenilirliğin artması, aşınmanın azalması, ağırlığın azalması ve bakımın azalması)

Rijit gövde elemanlarına nispeten çok daha az parça gereksinimine sahip olması esnek mekanizmaları daha cazip hale getirmiştir. Şekil 1.4’de esnek kavrama mekanizması ve rijit gövde modeli gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi tamamen esnek olarak üretilen mekanizmadaki parça sayısı rijit olarak üretilen mekanizmaya oranla çok daha azdır. Parça sayısında azalma üretim ve montaj zamanını azaltacağı gibi üretim masrafını da azaltır. Eklem sayısının azalması mekanizma ağırlığının azalmasına neden olur. Ağırlığın azalması uzay araçlarında kullanılmasını sağlar. Esnek mekanizmaların diğer bir avantajı minyatürleştirilmelerinde kolaylık sağlamalarıdır.



(a)



(b)

Şekil 1.4 : (a) Esnek mekanizmayla tasarlanmış kavrama (b) Rijit mekanizmayla tasarlanmış kavramanın parçaları [1]

Ayrıca esnek mekanizmalar daha az sayıda oynar eklemlere sahiptir. Bu da aşınmanın ve yağlama gereksiniminin daha az olmasını sağlar. Bu özellik kolay ulaşılamayan veya kötü ortamlarda çalışan mekanizmalar için çok önemli karakteristiklerdir. Bu basit kavrama aleti proses sırasında bilgisayar çipi gibi metal bir kalıbı herhangi bir kuvvet uygulamadan tutar. Böylelikle metal kalıp birçok kimyasal arasından zarar görmeden taşınır. Eklem sayısının azalması mekanizma içindeki boşluk miktarını azaltacağından mekanizmanın doğruluğunun artmasını sağlar.

Hareket birleştirilen parçaların sürtünmesinden ziyade eğilmesinden kaynaklandığından dolayı titreşim ve gürültü azaltılmış olur.

Esnek mekanizmalar esnek üyelerin eğilmesine bağlı olduğundan, enerji esnek üyelerde gerinme enerjisi şeklinde depolanır. Depolanan bu enerji tıpkı yaydaki gerinme enerjisi gibidir ve esnek mekanizma tasarımında bu yay etkisi dâhil edilir. O halde, enerji daha sonra serbest bırakılmak veya farklı hareketi gerçeklemek için kolaylıkla depolanır veya dönüştürülür [1].

1.3 Esnek Mekanizmaların Dezavantajları

Esnek mekanizmaların birçok avantajının yanı sıra bazı uygulamalarda dezavantajları da bulunmaktadır. Belki de en önemli dezavantajı esnek mekanizmaların analizinde ve tasarımında oluşabilecek zorluklardır. Mekanizma analiz ve sentez metotları ve esnek parçaların eğilmesi hakkında bilgi sahip olunması gerekebilir. Esnek mekanizmalarda iki gövdenin birleşiminde bilinmesi gerekenler

sadece ikisinin de ayrı ayrı anlaşılması değil, karmaşık durumlarda birbirleriyle etkileşimlerinin de bilinmesi gerekir. Birçok esnek çubuk büyük eğilmelere maruz kalacağından lineerleştirilmiş kiriş denklemleri geçersiz olur. Bundan dolayı, büyük eğilmeleri hesap edebilmek için lineer olmayan denklemler kullanılmaktadır. Bütün bu zorluklardan dolayı geçmişte birçok esnek mekanizma deneme yanılma yöntemiyle tasarlanıyordu. Böyle metotlar basit mekanizmalar için kullanılıyordu. Esnek mekanizmaların birçok üstün özellikleri olmasına rağmen analizlerinin rijit mekanizmalara göre daha zor olması karmaşık mekanizmalarında tercih edilmesini zorlaştırmaktadır.

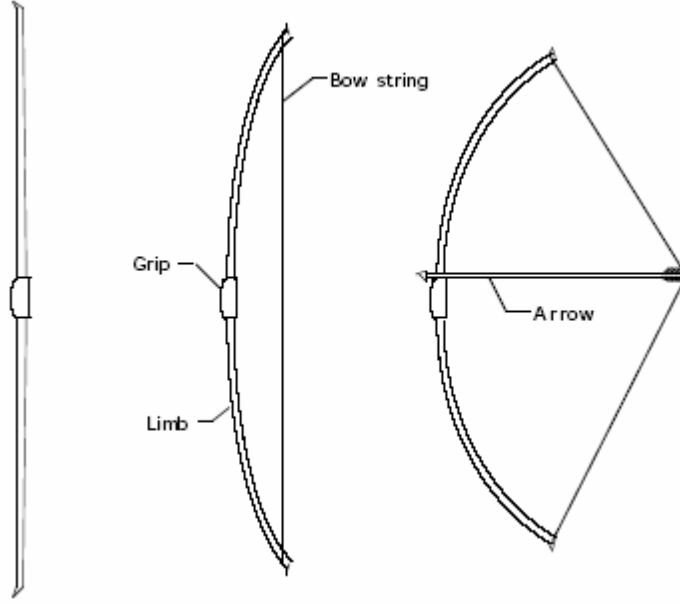
Enerjinin esnek elemanlarca depolanması bir avantaj olarak nitelendirilir. İçinde yay olan mekanizmaları sadeleştirmek, kuvvet-eğilme ilişkisini elde etmek ve mekanizma tarafından elde edilen ya da iletilen enerjiyi depo etmek için kullanılır.

Bununla beraber bazı uygulamalarda esnek elemanlar tarafından enerji depolanması bir dezavantaj olabilir. Örnek vermek gerekirse, eğer bir mekanizmanın fonksiyonu enerjiyi girişten çıkışa iletmekse, enerjinin bir kısmı esnek elemanlarca depolanacağı için tamamı iletilemeyecektir. Bu da bir dezavantaj oluşturacaktır.

Yorulma analizi esnek mekanizmalarda rijit gövde eşlerine nazaran daha önemli bir sorun oluşturmaktadırlar. Çünkü esnek mekanizmalar kullanıldığında, esnek üyeler periyodik olarak yükleneceğinden istenilen fonksiyonları yerine getirebilmesi için gerekli yorulma ömrüne sahip olması gerekir [1].

1.4 Tarihsel Geçmiş

Yaklaşık bin yıldır enerji depolayan ve hareket oluşturan esnek mekanizmalar kullanılmaktadır. Verilebilecek en güzel örnek arkeolojik kazılar sonucu bulunan M.Ö. 8000 yılında kullanılmaya başlanan oklu yaylardır (Şekil 1.5). İlk silah ve de avlanma amacı güden bu yaylar, ilk olarak ağaçtan ya da hayvan eklemelerinden yapılmıştır. Yayda depolanan gerilme enerjisi, oku fırlatabilecek kinetik enerjiye dönüştürülür. Diğer bir örnek de M.Ö dördüncü yüzyılda ilk defa Yunanlılar tarafından kullanılmaya başlayan sapandır. Enerji depolamak ve bu enerjiyi, taşı fırlatmak için serbest bırakmakta kullanılan sapan da ilk başlarda ağaçtan yapılıyordu.



Şekil 1.5 : Gevşek, gergin ve kullanıma hazır haldeki okulu yay [1].

Esnek mekanizmalar ölçme aletlerinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örnekleri yüksek kesinlikli şarj pillerine sahip kuvvet ölçme ve basınç ölmek için kullanılan Bourdon tüplerinde görülmektedir. Son on yıldır esnek mekanizmaların kullanılarak fonksiyonlarını yerine getiren ürün sayısı artmıştır. Bu, esnek mekanizmaların kullanılabilirliği için daha güçlü ve güvenilir malzemeler geliştirilmesi sonucudur [1].

1.5 Esnek mekanizma tasarımında önemli terimler

Eğer geleneksel mafsallar kullanılarak bağlantı oluşturulmamışsa yani mekanizma yekpare olarak üretilmişse bu tarz mekanizmalara “tümüyle esnek mekanizma” denir. Çünkü mekanizmanın bütün hareketi esnek elemanların eğilmesiyle olur. Bir ya da daha fazla geleneksel mesnet içeren esnek mekanizmalara ise “kısmi esnek mekanizmalar” denir.

Esnek mekanizmalarda karşılaşılan en büyük sorunlar sürünme ve gerilme boşalmasıdır. Sürünme yük altında kalan bir malzemede zamanla oluşan deformasyondur. Sürünme, metallerde genellikle yüksek sıcaklıklarda oluşmasına rağmen polimerlerde oda sıcaklığında dahi oluşabilir. Şekilde tipik bir sürünme modeli görülmektedir. Yay, yük altında eğilen esnek malzemeyi temsil etmektedir.

Gerilme boşalması da sürünme boşalmasıyla hemen hemen aynıdır; ama gerilme boşalması esnek mekanizmalarda sürünme boşanmasından daha fazla ortaya çıkar. Belirli, sabit bir gerilmeye maruz kalan yapılarda sonuçta ortaya çıkan gerilme zamanla azalır. İlk çekme anında ortaya çıkan gerilme maksimumdur. Modelde, ilk kuvvet yay sabiti ile yer değişiminin çarpımına eşittir. Bu da elastik malzemenin ilk anda ne kadar yer değiştirdiğine karşılık gelir. Sönüm elemanının zamanla hareket etmesi tepki kuvvetinin azalmasına sebep olur. Sürünmedekine benzer olarak sönüm elemanının karakteristikleri malzeme özelliğine bağlı olarak değişir. [1]

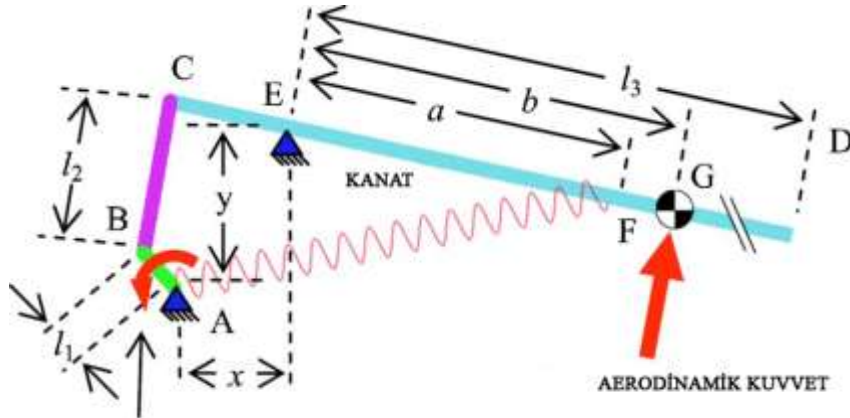
Esnek elemanların deformasyonları esnasında ortaya çıkan yer değiştirme kuvvet eğrisi nonlineerdir. Deforme olabilen gövde ya da yapıya etki eden yükle, sonuçta ortaya çıkan deformasyon arasındaki bağıntının nonlineer olması dört sebeple açıklanabilir:

1. Yapının iki parçası arasındaki etkileşimin deformasyona bağlı olabilmesi,
2. Malzemenin elemanlarının müsaade ettiği gerilmenin fazla olabilmesi,
3. Malzemenin gerilme-gerinme ilişkisinin nonlineer olabilmesi,
4. Malzemenin ilk durumuyla kıyas edildiğinde küçümsenemeyecek kadar çok deformasyona uğrayabilmesidir [3]

Yapısal mekanizmalarda nonlineerite birçok yolla ortaya çıkabilir. Genelleştirilmiş Hooke kuralı malzeme gerilme-gerinme davranışı nonlineerse geçerli olmaz. Bu tip nonlineerlikler malzeme ya da fiziksel nonlineerliklerdir. Birçok durumda ise nonlineerlik elastik gövdenin deformasyonuna bağlıdır. Büyük deformasyon içeren problemler geometrik nonlineer problemler olarak adlandırılırlar. Elastik malzemedeki deformasyon miktarı aşırı gerinmeye sebep olmayabilir ya da yüksek deformasyonda gerilme oluşturabilir. Bundan dolayı eğrilik deformasyon nonlineerliği, deformasyon miktarına bağlı olarak değişir. Bu durum deformasyona bağlı olduğundan geometrik nonlineerlik olarak adlandırılır. Geometrik ve fiziksel nonlineerliklerin birarada bulunması da muhtemeldir. Bir sistemde nonlineerlik; nonlineer sınır koşulları, nonlineer yay veya kısmi kayma elemanı mevcut olduğunda artabilir. Bilindiği gibi nonlineerlikler tarafından yönetilen gövdenin statik ve dinamik çıkışları analitik araştırmaları karmaşık hale getirir. Bunun nedeni de lineer sistemlere uygulanabilen süper pozisyon ilkesinin lineer olmayan sistemlere uygulanamayışındır [3]

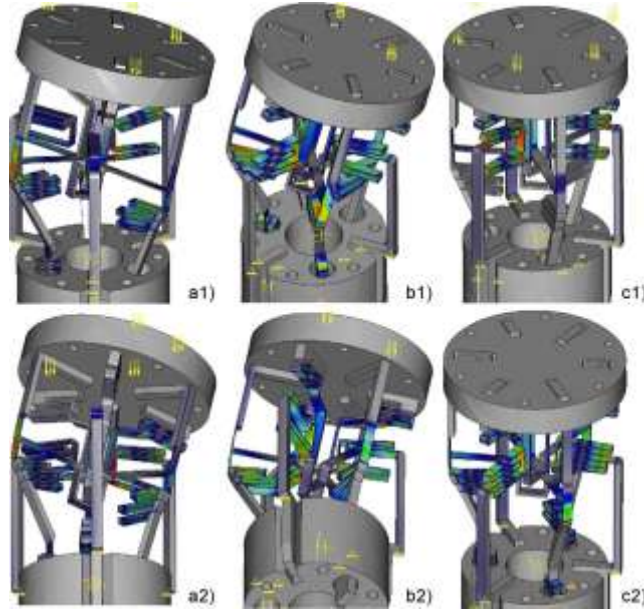
1.6 Literatür Özeti

Tantanawat ve Kota, esnek mekanizmaların dinamik uygulamalarındaki güç akışını araştırmışlardır. Özel olarak, dışarıdan etkiyen yük ile giriş kuvveti arasındaki ilişkiyi ve enerji depolayan çeşitli elemanları ve esnek iletim esnasında depolanan gerilme enerjisi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmadaki amaç en etkili biçimde esnek mekanizmaların kendilerine özgü enerji depolama özelliklerini dinamik uygulamalarda çalışabilecek esnek mekanizma tasarımının yapılmasıdır. Yaptıkları çalışmada kapsamlı olarak bir kanat çırpma mekanizmasının detaylı sunumunu yapmışlardır. Pik giriş gücü ihtiyacının rijit mekanizmalarla ve lineer yayla yapılmış tasarımla, esnek mekanizmayla yapılmış tasarımın karşılaştırmasını yapmışlardır. Esnek mekanizmada depolanan enerji ile pik giriş gücü ihtiyacının azaltılmasını açıklarlarken iki yaklaşım kullanmışlardır bunlar tepki kuvvetinin iptali ve üretici yükten yararlanılmasıdır. Esnek çırpma mekanizması ve lineer olmayan geçici analiz kullanılarak değerlendirilmesi önerilmiştir. Önerilen mekanizmada esnek mekanizmayı sürebilmek için gerekli giriş gücü, yaysız rijit dört kol mekanizmasını sürmek için gerekli enerjiye göre %50 daha az olduğu ve yay rijit dört kol mekanizmasını sürmek için gerekli enerjiye göre %15 daha az olduğu gösterilmiştir. Bu enerji ihtiyacının azaltılmasının nedeni esnek mekanizmaların elastisitesinden yararlanılmasıdır. Bu sonuç bize esnek mekanizmaların yay kullanılan mekanizmalara avantajlı bir alternatif olduğunu göstermektedir. [4]



Şekil 1.6 : Esnek mekanizma kullanılarak yapılmış kanat çırpma mekanizması[4]

Zoppi ve diğeri yaptıkları çalışmada iğne laparoskopik ameliyatı için mikro elektromekaniksel mekanizma (MEMS) teknolojisi kullanılarak mikro bilek tasarımı yapmışlar ve 3 serbestlik dereceli 3D mimarisini tasarlamışlardır. İğneli görüntüleme teknolojisindeki ilerlemeler çok serbestlik dereceli 1-2 mm çapındaki mikro araçlarında gelişimini ilerletmektedir. Bu çalışmada mevcut teknoloji ile 3D bileğin gerçekleştirilmesinde kullanılan tasarım çözümleri ve gelişim basamakları tartışılmıştır. Üç bacaklı paralel kinematik mekanizması referans alınarak bir esnek mekanizma tasarımı yapılmıştır. Değişik hareketleri elde edebilecek tek tasarım düzeni ele alınmış ve bunu üzerinden geliştirme yapılmıştır. Bu tasarımın performansını arttırabilmek için alternatif bacak tasarımları araştırılmıştır. Bacaklar yekpare olarak imal edilmiş ve bilek gövdesinin içine montajı yapılmıştır. Bacakların tasarımı ve bacak geometrisinin ortaya konması oldukça karmaşık bir konu olduğu ortaya çıkmıştır. İstenen görevleri yerine getirecek son tasarımın basamakları açıklanmıştır.[5]



Şekil 1.7 : MEMS teknolojisi kullanılarak mikro bilek tasarımı[5]

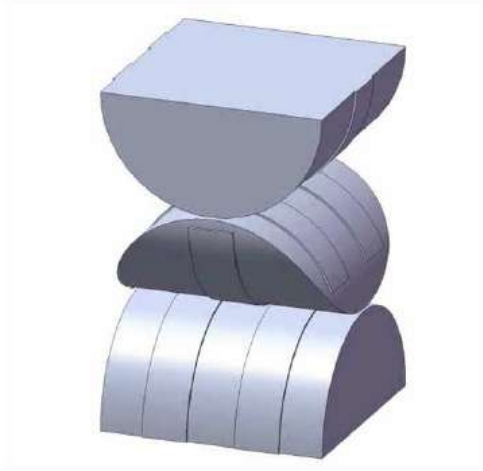
Yong-Mo Moon yaptığı bu çalışmada parmak hareketlerini taklit edebilecek temas yardımcı esnek mekanizma çalışması yapmıştır. Belirli görevleri gerçekleştirecek mekanizma tasarımlarının öncelikle rijit elemanlarla tasarlanacağını ve ondan sonra esnek mekanizmaya çevrilerek eleman sayısını düşürüleceğini belirtmiştir. Bu amacını gerçekleştirebilmek için bir parmağın distal phalanx ve orta phalanx arasındaki hareketi taklit edebilecek dört kol mekanizması tasarımı yapmıştır. Yaptığı rijit mekanizmanın yörüngelerini izleyerek temas destekli esnek mekanizma

tasarımı yapılmıştır. Burada kullanılan “temas destekli” kelimesinin anlamı birbiriyle temas halindeki iki yüzeyin arasına yerleştirilmiş esnek eleman sayesinde hareketin geri dönüşü sağlanmaktadır. [6]



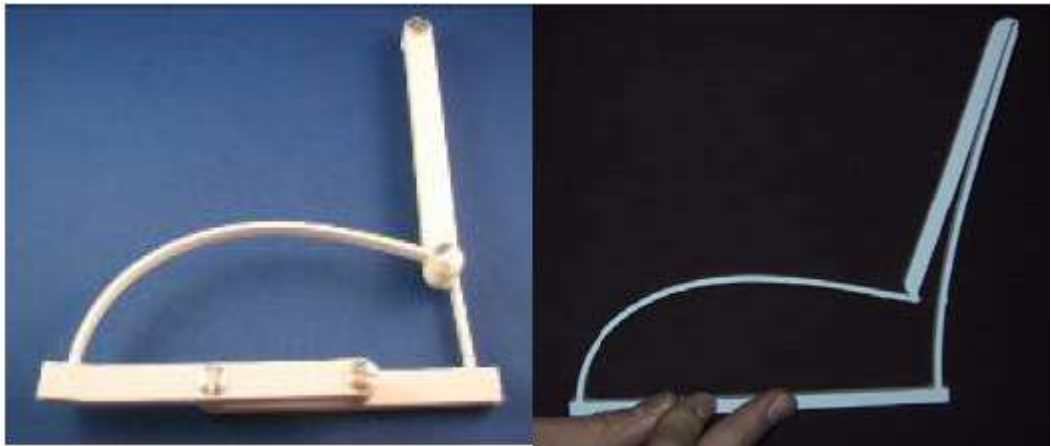
Şekil 1.8 : Parmak hareketlerini taklit edebilecek temas yardımlı esnek mekanizma çalışması[6]

Peter A. Halverson yaptığı doktora çalışmasında zedelenen ve ameliyatla iyileştirilemeyen omurga zedelenmelerinde omurga görevini yerine getirebilecek aşınma sorunu olmayan ve omurga hareketlerinin hepsini taklit edebilecek temas destekli esnek mekanizma tasarımı yapılmıştır. Kısmi olarak, helisel eksen hareketinin yerini ve yörüngesini ve moment-dönme cevabını yineleyebilecek tam bir disk tasarımı için esnek mekanizma tasarım teknikleri kullanmışlardır. Tasarımın performansı için kapalı çevrim çözümü kullanılmış ve fiziksel prototip gerçekleştirilmiş ve kadavra üzerinde denenmiştir. Geliştirilen Pseudo rijit gövde modelinin moment-dönme cevabını bütün örneklerde tahmin edebildiği görülmüştür. Sonuçlar prototipin hareket kalitesinin tasarım kriteri olarak belirlenen hareket kalitesiyle yaklaşık olarak uyduğunu göstermektedir.[7]



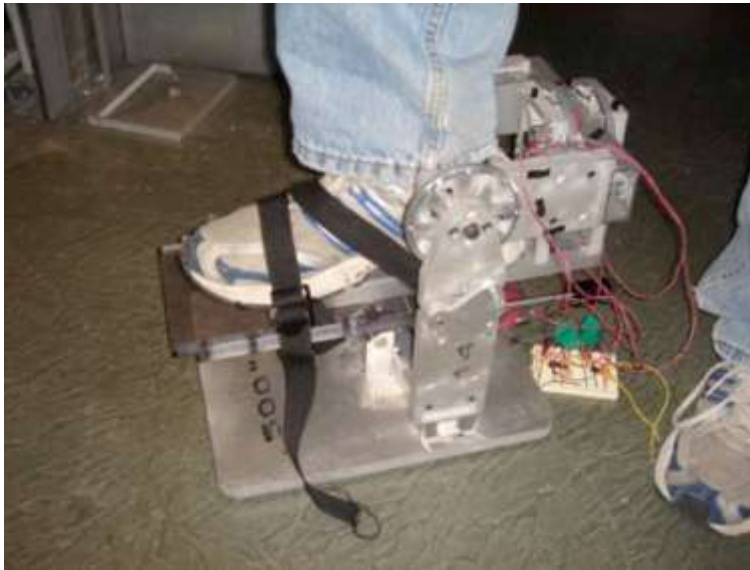
Şekil 1.9 : Omurga hareketlerinin hepsini taklit edebilecek temas destekli esnek mekanizma tasarımı[7]

Tyler Max Pendleton yaptığı doktora çalışmasında üç kararlılık esnek mekanizmanın gerçekleştirilmesi için gerekli araçları geliştirmiştir. Çalışma modelin ve konsept tasarımın oluşturulması, makro ölçekteki üç kararlılık esnek mekanizma prototipinin imaliyle tasarımın fizibilitesinin kanıtlanması amaçlanmıştır. Tasarlanacak olan sistem yekpare olacağı için performansı yüksek ve maliyeti düşük olacaktır. Üç kararlılık esnek mekanizma tasarımı için sonlu elemanlar yöntemi ve pseudo rijit gövde modelleri kullanılmıştır. mekanizma kısmi ve tam esnek mekanizma olarak tasarlanmış ve performansları tartışılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle ve ölçümlerle elde edilen veriler karşılaştırılarak sistemin geçerliliği tartışılmış ve en son sonlu elemanlar yöntemiyle yorulma testi yapılmıştır.[8]



Şekil 1.10 : Üç kararlılık esnek mekanizma tasarımı[8]

Sung ve diğerkleri yaptıkları çalışmada kompleks bilek zedelenmelerinin tanısında ve tedavisini geliştirmek amaçlı kullanılan bilek rehabilitasyon aletinin tasarımı, analizlerini ve testlerini sunmuşlardır. Bilek rehabilitasyon aleti rehabilitörler için zedelenme zorluğunun kaliteli bir şekilde ölçülmesini sağlarlar. Bunu eklem kuvvet, moment ve güç çıkışında olduğu gibi hareket kabiliyetindeki azalmayı ölçerek gerçekleştirir. Zamanla belli derecelerde iyileşmelerin değerlendirilmesiyle rehabilitasyon esnasında yanlış değerlendirmeler sonucu oluşacak hataların önüne geçilmesinde yardımcı olmaktadır. Bileğe bağılı dönel mesnetler esnek elemanlar kullanılarak gerçekleştirilmiş ve çeşitli parametrelerinin ölçülmesinde Wheatstone köprüsü devresi kullanılmıştır. Aracın platar ve dorsifleksiyon hareketleri yapabilecek kısımları esnek mekanizmayla tasarlanmıştır. Araç bilekteki 3 eksen hareketini ölçmek için tasarlanmıştır; yunuslama, yalpalama, yuvarlanma. Araç çoklu değışken platar ve dorsifleksiyon derecelerini ölçebilmek için ayarlanabilecek esnekliğe ve hareket kabiliyetine sahiptir. Mevcut esnek mekanizmanın sınırları bilinebilmesi için sonlu elemanlar yöntemiyle deformasyon sonuçları incelenmiştir.[9]



Şekil 1.11 : Bilek rehabilitasyon aletinin tasarımı[9]

Saggere ve Kota, esnek-parça hareket üretimi için düzlemsel, dört kollu esnek mekanizmaların sentezi üzerinde çalışmışlardır. Bağlayıcı elamanı esnek parça olan esnek-parça hareketini meydana getirmeye çalışmışlardır. Bu tarz mekanizmaların adaptif yapılarda potansiyel uygulama alanları mevcuttur. Çözümünde, literatürde yazılmayan değışik, ters bir elastik problem içermektedir. Bu ters problem, rijit

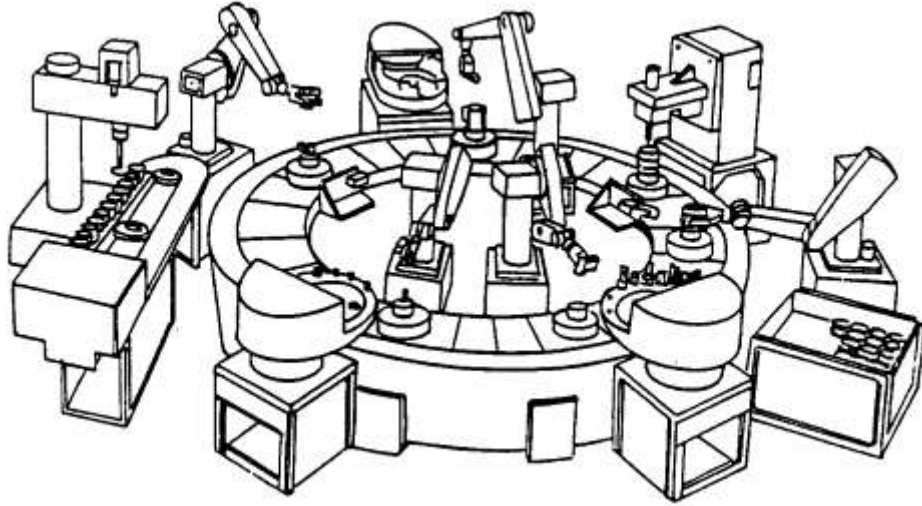
parçaların sentezinde kullanılan kapalı çevrim denkleminin esnek parçalara uyarlanmış ve daha sonra optimizasyon emasındaki elastik denge denklemiyle birleştirilerek özölmüřtür [10].

Yuve ve diğ., rijit gövde modeli gibi davranan esnek mekanizmaların dinamik modellenmesi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Dinamik denge ilkesine dayanılarak, rigid gövde gibi davranan model kullanılarak esnek mekanizmalar için yeni bir model geliştirmişlerdir. Genel, düzlemsel esnek mekanizma dinamik denklemleri türetilmiştir. Esnek mekanizmanın doğal frekansını elde etmişlerdir [11].

2 ESNEK MEKANİZMAYLA 4 İSTASYONLU DÖNER TABLA TASARIMI

2.1 Döner Tabla Tanımı

Döner tablalar parçaların ya da makine elemanlarının belirli açılarda ilerletilmesinde kullanılan böylece bu parçalar üzerinde işlem yapılmasını, çalışılmasını ya da montaj yapılmasını sağlayan ekipmanlardır. Bu tablalar genellikle dairesel çelik plaka, sürücü sistem ve parçaları tabla üstünde tutan deliklerden oluşur. İlerledikleri açılar sabit ya da ayarlanabilir olabilir. Her dönüş sonunda tabla belirlenen bir süre duraklayarak parça üzerinde işlem yapılmasına imkân tanır. Tabla içindeki yataklamalar tablanın yük taşıma ve hassasiyet özelliklerini belirler. Açısal kontak tipi rulmanlar yüksek yük kapasitesine ve eksenel rijidliği sağlamasına rağmen maliyeti oldukça yüksektir. [12]



Şekil 2.1 : Döner tablanın otomasyonda kullanımı

Döner tablaların tahrikleri pnömatik, elektrik motoru, hidrolik sürücüler olabilir. Sürücü mekanizmaları tablanın yanında, altında, üstünde ya da arkasında konuşlanabilir. Pnömatik döner tablalar küçük ve orta yükler için uygundur. Pnömatik sürücülerde 1 veya daha fazla silindirden oluşur her biri bir ilerlemeyi sağlar. Dönüş stroğu esnasında bir tutucu tablayı yerinde sabitler. Bazı pnömatik

döner tablalarda tutucu ayarlanarak istasyon sayısı ayarlanabilir. Elektrik motorlarıyla tahrik edilen döner tablalar pnömatik olanlara göre daha hızlıdır ve daha büyük yüklerle baş edebilirler. Hidrolik sürücülerle tahrik edilen döner tablalar basınçlı sıvı kullanılarak dönel hareke elde edilir. Ayrıca elle tahrik edilen genellikle freze tezgâhlarında divizörün yerine kullanılan döner tablolarda mevcuttur.



Şekil 2.2 : Döner tablalı divizör [12]

Döner tablayı içeren uygulamalar montaj, donanım sabitleme ve çeşitli otomasyon uygulamalarında, denetleme ve talaşlı işlemedir. Çoğu döner tabla, hızlı ve basit dikey işlem yapan makineyle birlikte çok uyumlu çalışabilir. Mesela; endüstriyel presler, tornavidalar, perçinler, dağıtıcılar, tutma yerleştirme üniteleri.

2.2 Mevcut Kullanılan Sistemler

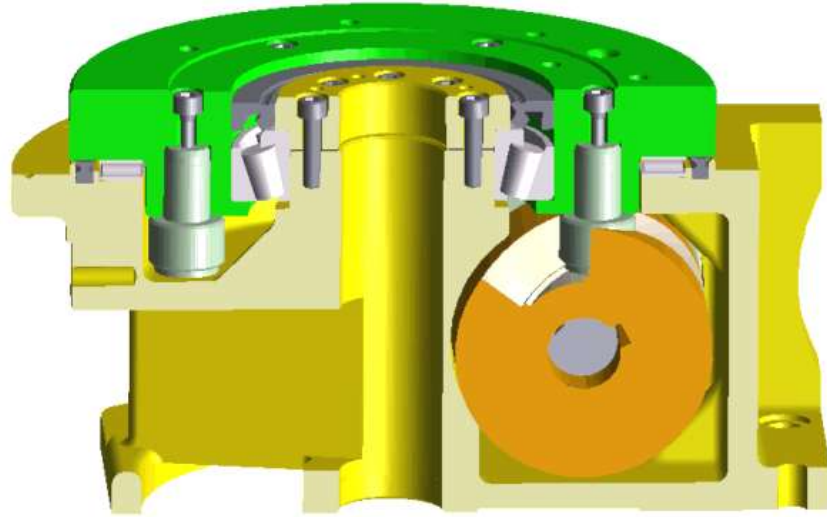
2.2.1 Elektriksel Tahrikli Döner Tabla

Kullanılan mevcut bu sistemde çalışma mantığı kam mekanizmasına benzemektedir. Şekil 2.3 de görüldüğü gibi silindirik mil üzerine açılmış kam profillerine tabla üzerindeki pimlerin bu profilleri izlemesi ile istenilen hareket elde edilir. Burada taşınacak yükün büyüklüğüne ve tablanın ivmelenmesi, yavaşlaması esnasında meydana gelen dinamik yüklerin büyüklüğüne göre aynı ada kam mekanizması sayısı artmakta bu da mekanizmanın büyüklüğünü etkilemektedir.



Şekil 2.3 : Elektriksel tahrikli sistemlerin çalışma mekanizması

Şekil 2.4’de de görülebildiği gibi tablanın yataklanmasının hassasiyeti, tablanın tekrarlanabilirliğini ve hassasiyetini etkilemektedir. Rulmanların yağlanması ve aşınmaya karşı direnci yine sistemin ömrünü belirleyen önemli etkenlerdendir.

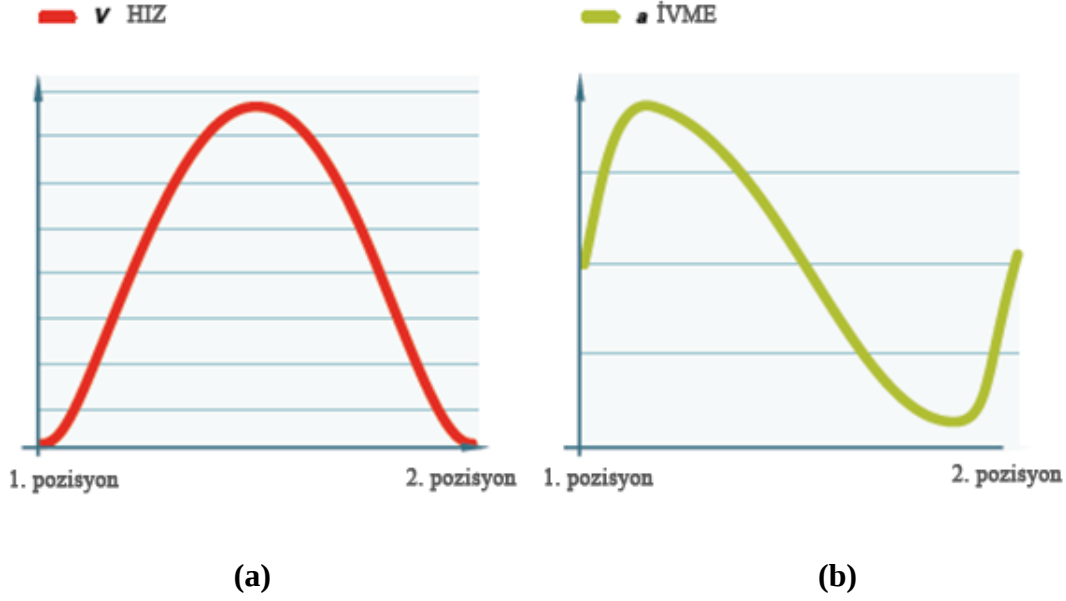


Şekil 2.4 : Elektriksel tahrikli sistemlerin yataklanması

Kullanılan bu sistemlerde sistemin kompakt olması,

- Herhangi bir çarpma durumunda sistemin çok az zarar görmesi,
- Acil durumlarda istemin ani cevap verebilmesi,
- Saat yönünde ve saat yönünün tersinde dönebilmesi,

Bu sistemin en önemli avantajlarını oluşturmaktadır.



Şekil 2.5 : Elektriksel tahrikli sistemlerin (a) hız ve (b) ivme grafikleri

Sistemin ivmelenmesini, yavaşlamasını ve duruş süresinin ayarlanabilmesi için frenli motor ya da servo motor kullanılarak sağlanmaktadır ayrıca tablanın verileri dış ortama aktarılabilir.

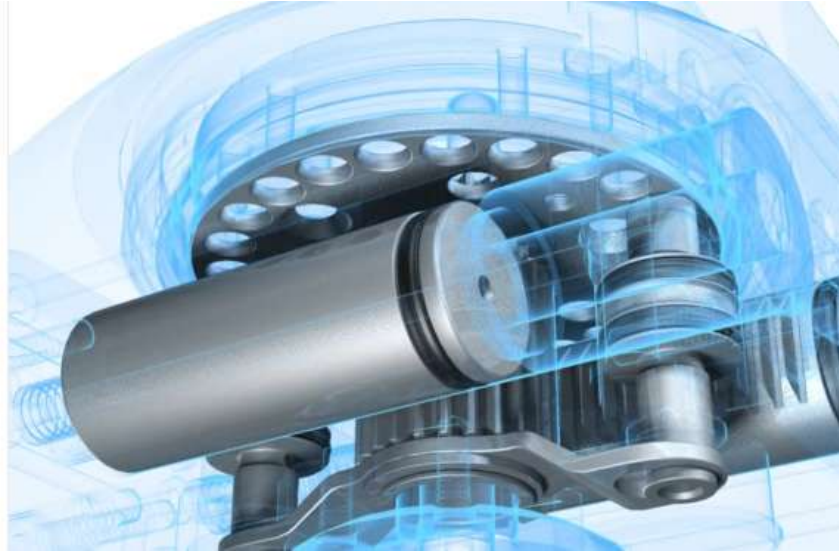
Sistemin kam ve izleyiciyle tahrik edilmesinin bazı dezavantajları vardır bunlar; kam profili sabit olduğu için bekleme süresinin motoru yavaşlatılarak elde edilmesiyle ilerleme süresi de artacağından motor hızının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için kullanılan servo motor uygulamaları oldukça maliyetli olmaktadır. Bunun yanında kam mekanizmasının en önemli dezavantajı aşınmadır. Kullanılan bu sistemlerde bu sorunların giderilmesi maliyetin oldukça artmasına neden olur.

2.2.2 Pnömatik Tahrikli Döner Tabla

Pnömatik tahrikli döner tablolarda hareketi lineer hareket eden pistonlar sağlar. İstenilen tork değerine göre piston sayısı artırılabilir. Bu sistemde çalışma iki mekanizma vardır birincisi döndürme mekanizması ikincisi sabitleme mekanizması. Şekillerde görüldüğü gibi iki piston üzerinde açılmış dişler tablayı döndüren mekanizma üzerindeki dişliyi tahrik eder, dönme işlemi tamamlandıktan sonra dişli mekanizması merkezleme pimleriyle birlikte yukarı kalkar pistonlar geri stroğunu gerçekleştirirken merkezleme pimleri tabla üzerindeki yuvalara yerleşerek tablanın konumlanmasını sağlar.



Şekil 2.6 : Pnömatik tahrikli sistemlerin çalışma şekli



Şekil 2.7 : Pnömatik tahrikli sistemlerin tahrik mekanizması

Pnömatik sistemlerin en önemli avantajları;

- Aşınmanın diğer sisteme göre daha az olması,
- Kompakt olması,
- İlerleme süresinin ve bekleme süresinin birbirinden bağımsız olması
- Saat yönünde ve saat yönünü tersinde hareket edebilmesi
- %2 hassasiyetle çalışması
- Hidrolik darbe emicileri ile daha yumuşak duruş yaparlar

Bu avantajların yanında pnömatik sistemlerin en büyük dezavantajı yeterli torkun sağlanamamasıdır, yani düşük ve orta yüklemelerde kullanılırlar. Bunun dışında

istasyon sayısı değiştirilemez ve tablanın hız ivme pozisyon gibi bilgileri dışarı aktarılmaz.

2.3 Esnek Mekanizma İle Döner Tabla Tasarımı

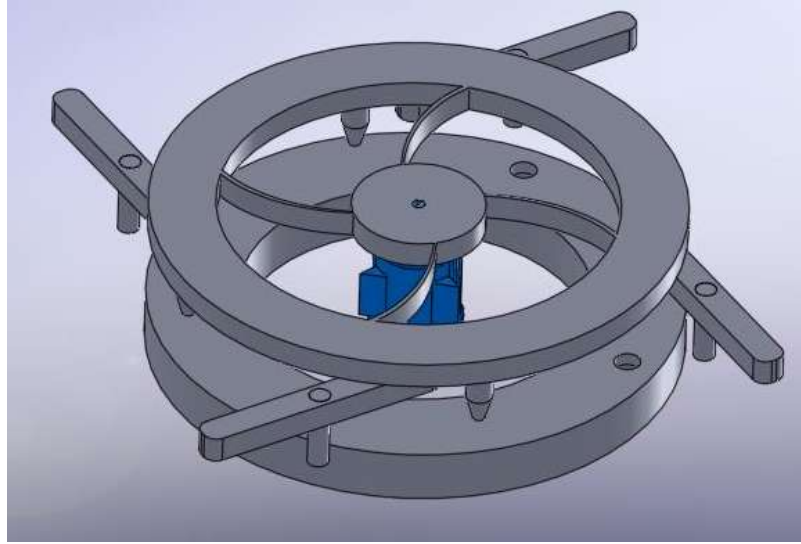
2.3.1 Mekanik tasarım

2.3.1.1 Tasarım Aşamaları

Mevcut sistemlerin hepsinde hassasiyeti sağlayabilmek için kullanılan servo istemler, hassas işleme ve yüksek yüzey sertleştirme teknolojileri gibi etkenler bu sistemlerin maliyetlerini çok yükseltmektedir. Normal bir AC veya DC motor kullanılması halinde ise tablanın hassas bir şekilde konumlanması ve motorların özellikle kalkış esnasında çektikleri akım çok yüksek olması sorun olmaktadır.

Bu sorunlar göz önüne alınarak bir tasarım düşünöldüğünde normal bir motorun kalkış anında çektiğı akımı ortadan kaldırmak için motorun sürekli döndüğünü ve tablanın hareketinin ayrıca kontrol edilmesi gerektiğini düşünebiliriz. Sürekli dönen bir mil ile tabla arasına kısmi esnek mekanizma yerleştirebilirsek tabla durdurulduğı anda motorun dönmesi ile enerji esnek elemanlar üzerinde gerilme enerjisi olarak depolanacaktır. Tabla serbest bırakıldığında esnek eleman üzerindeki enerji ile tabla hareket edecektir. Burada seçilecek esnek elemanın kalınlığı oldukça önemlidir keza tablanın yüksek hızda döndürölmesinin yanında yavaş bir şekilde durdurulması da önemli bir ayrıntıdır.

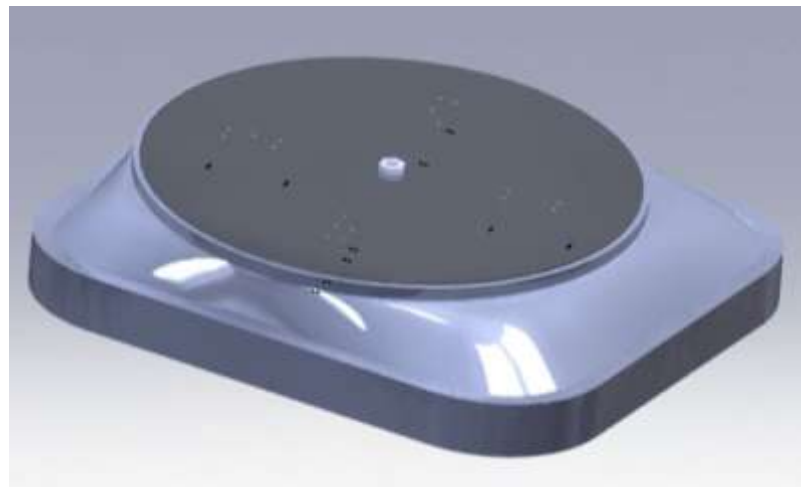
Bu ayrıntılar düşünölerek yola çıkılacak ilk kabataslak şekil 2.7 ‘de göröndüğü gibi çizilmiştir. Burada, yapılacak tasarımın temel prensipleri oturtulmaya çalışılmıştır. İlk düşünölen prototipte tabla mil ile yekpare olarak üretilecek aradaki şeritler üzerinde enerji depolayacak esnek elemanlar olacaktır. Yavaşlatma mekanizması yine esnek elemanlardan oluşun tek istikrarlı (bi-stable) sistem olarak düşünölmüştür.



Şekil 2.7 : Sistemin ilk kabataslağı

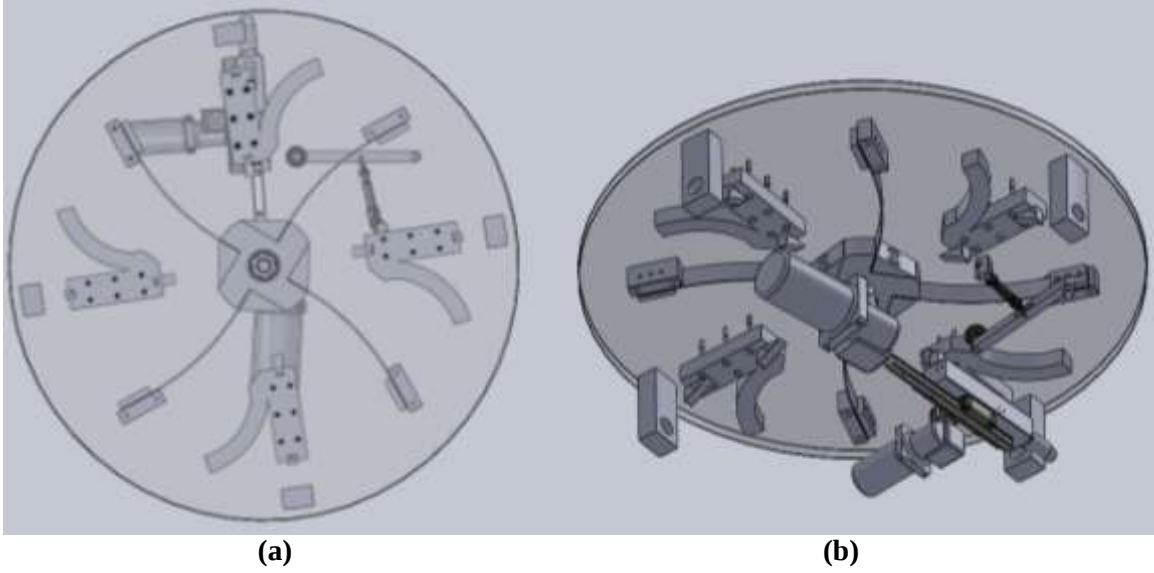
Yavaşlatmanın ardından sabitlemeyi gerçekleştirecek mekanizma tablanın altında yer alan ve dikeyde hareket eden plakadır, bu plaka üzerindeki delikle vasıtasıyla tabla üzerindeki pimler kullanılarak merkezleme yapılması planlanmaktadır.

Tasarımın bu ilk aşamasında fark edilen ilk eksiklikler; tablanın yekpare imal edilmesi oldukça maliyetli olacaktır ve esnek elemanların uzunluğu, kalınlığı denemeler sonucunda elde edileceğinden her deneme için kalıp imali imkânsızdır. Esnek elemanların modellenmesi kontrolü daha önce bahsedildiği gibi oldukça zordur bu nedenle iki esnek mekanizmayı eş zamanlı çalıştırmak oldukça non-lineer modellerle karşılaşmamıza neden olacaktır. Bunun için öncelikle tablanın hareketini veren esnek elemanlar bırakılarak yavaşlatma ve durdurma mekanizması ayrı bir mekanizma olarak değiştirilmiş ve tasarım revize edilmiştir.



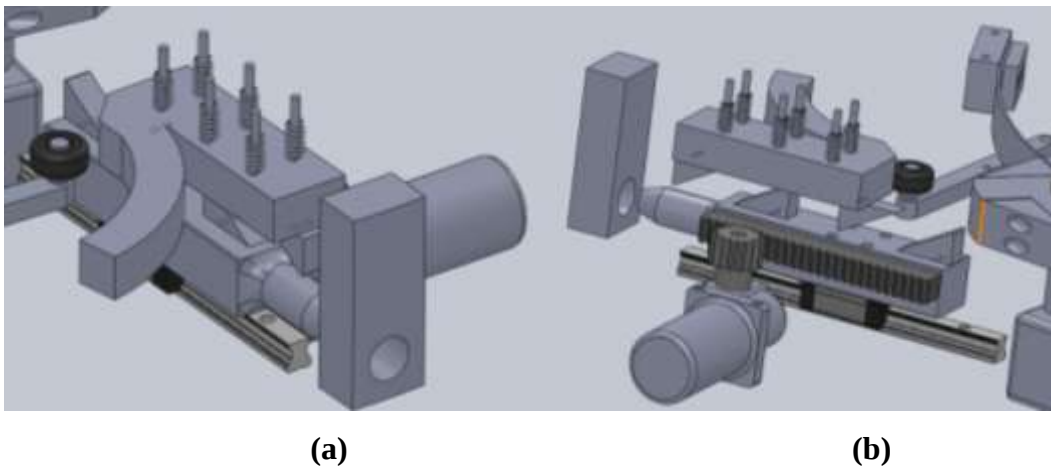
Şekil 2.8 : Tasarımın eksiklikleri giderildikten sonraki dış görünümü

Yukarıda da görüldüğü gibi ortadaki kısım sabit ve düşük devirle dönen bir motor vasıtasıyla tahrik edilmektedir. Bu kısımdan tablaya herhangi bir güç aktarımı yoktur tahrik miline tabla rulmanla yataklanmıştır. Tablaya hareket göbekteki mesnetlere fix-fix şeklinde bağlanan esnek elemanlar sayesinde iletilmektedir.



Şekil 2.9 : 2. tasarımın üstten (a) ve isometrik (b) görünümü

Şekil 2.9(a) da görüldüğü gibi hareketli tablayı yavaşlatmak için eğik bir yüzey üzerinde tablayı yavaşlatacak lineer sönümleyici elemana bağlı bir kol kullanılır. Kol, en son kısımda eğimli yüzey sönümleyici elemanın strok sonuna gelinecek şekilde montaj yapılır.



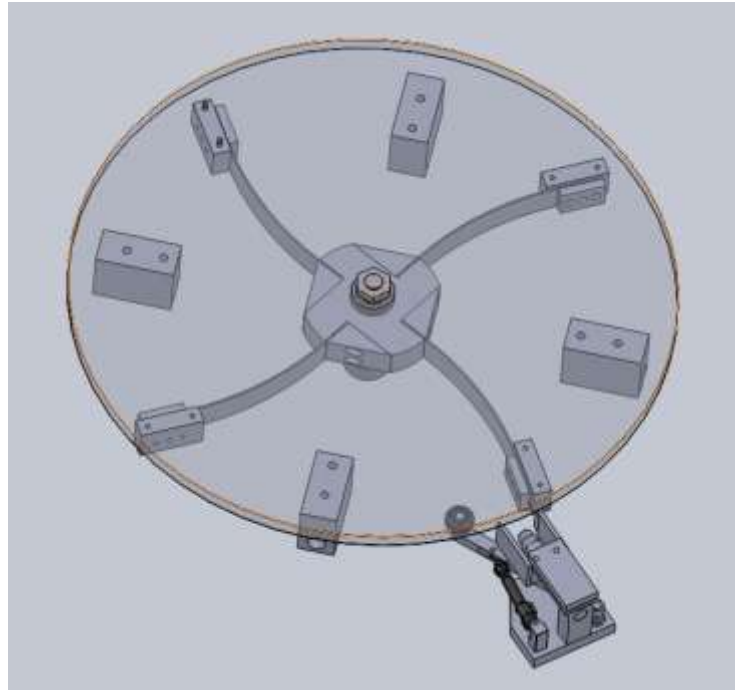
Şekil 2.10 : 2. tasarımın sönümleme (a) ve merkezleme mekanizmaları(b)

Sistem durdurulduktan sonra şekilde görülen hassas kızak üzerine yerleştirilmiş mekanizma 2. Motor ile tahrik edilir ileri giden sistem aynı zamanda üzerindeki kam

sistemi ile yavaşlatmanın yapıldığı mekanizmayı yukarı kaldırır böylece sönümleyici eleman serbest kalır. Mekanizmanın uç kısmı ise tablayı istenen konuma sabitleyici, sabitleme kısmının tablanın en dışında olması tasarıma bir avantaj getirir çünkü daha merkezde yapılacak bir merkezlemede oluşacak boşluk, gevşeme gibi hatalar dış kısımda daha belirgin olacak. Mekanizma geri çekildiğinde sistem serbest kalır ve döner.

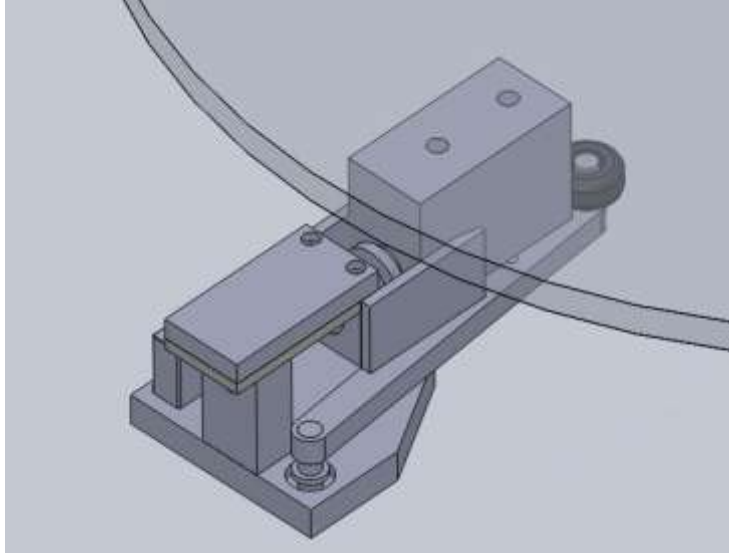
Tasarlanan bu sistemde imal edilecek parça sayısının fazlalığı ve zorluğu nedeniyle tasarım yine revize edilmiştir.

Yapılan yeni tasarımda parça sayısı azaltılmaya ve bir önceki tasarımdaki eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır. Öncelikle işlenmesi zor olan parçalar basitleştirilmiştir. Bunun için tablanın yavaşlatılmasını sağlayacak bloklar sadece sönümleyici elemanın rahatça üzerinde hareket edebileceği yüzeyler olarak değiştirilmiş ve üzerindeki delikler sayesinde merkezlemeler yapılabilecektir.



Şekil 2.11 : Basitleştirildikten sonra yapılan 3. Tasarım

Şekil 2.11’de de görüldüğü gibi yavaşlatma ve merkezleme aynı mekanizma üzerine yerleştirilmiştir. Burada yapılmak istenilen yavaşlatma ve merkezleme hareketlerin senkronize olarak çalışıp fazladan bir eyleyici kullanımını ortadan kaldırmaktır fakat bu senkronizasyonu sağlamak oldukça güç olduğundan bu tasarımda bu mekanizmadan vazgeçilmiştir.



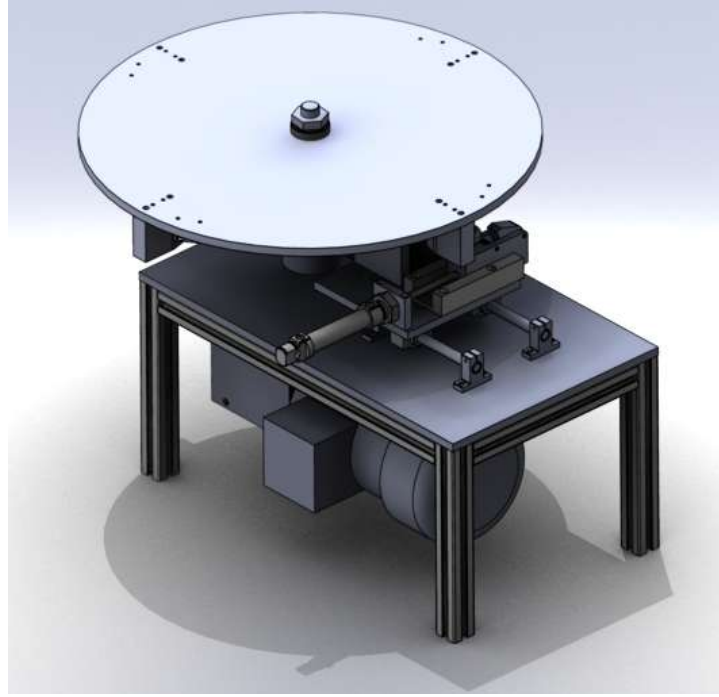
Şekil 2.12 : 3. Tasarım yavaşlatma ve merkezleme mekanizması

Yapılan bu tasarımlar sonrasında ideal tasarımın karşılaması gereken kriterler şöyle sıralanabilir;

- Merkezlemenin ve yavaşlatmanın tablanın dışından yapılması
- Merkezde tek bir motor olmalı
- Tabla tahrik milinin üzerine yataklanmalı
- Tabla hafif olmalıdır
- Esnek elemanlar en az deformasyona uğrayacak ve en az yer kaplayacak şekilde bağlanmalı
- Esnek elemanların montaj ve demontajı basit olmalı
- Eş çalışan parçaların aşınmaları en az düzeyde olmalı
- Parça sayısının az ve basit olması
- Az sayıda eyleyici kullanılması

2.3.1.2 Döner Tabla İçin Yapılan Son Tasarım

Tasarım aşamalarının sonunda elde ettiğimiz kriterlere uygun yapılan son tasarımın CAD modeli şekil 2.13’de imal edilmiş hali şekil 2.14’de gösterilmiştir.



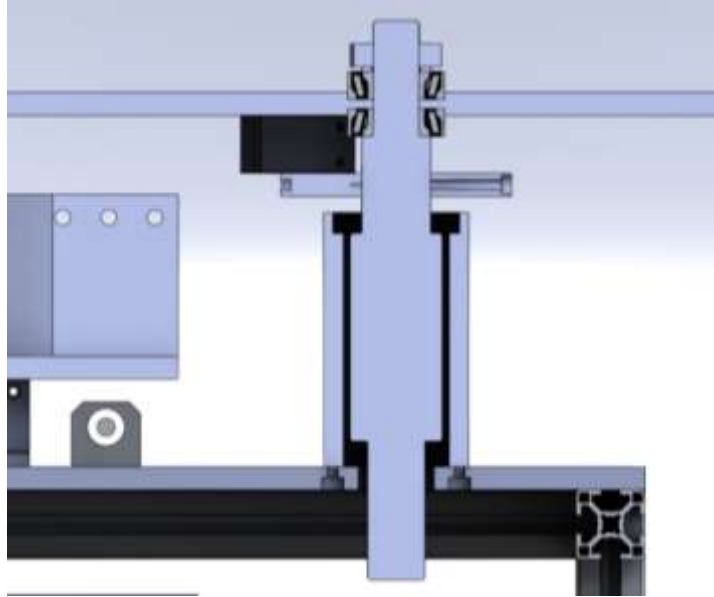
Şekil 2.13 : Tasarımın son halinin CAD modeli



Şekil 2.14 : Tasarımın gerçekleştirilmiş hali

Sistem bir platform üzerine kurulmuştur. Bu platform sigma profillerden bir masa yapılarak yere bağlanmaktadır. Burada sigma profillerin kullanılmasını amacı sigma profil bağlantıların modüler olması ve sigma profillerin yerlerinin değiştirilerek masanın şeklinde kolayca değişiklik yapılabilmesidir. Sigma profilin bir avantajıda

hafif olmasıdır böylece sistemin taşınması oldukça kolaylaşır fakat kullandığımız sistemde sönümleyici eleman bulunmasına karşın yinede sistemde bir vurma olduğundan sistemin ağır olması daha etkili olabilir. Tahrik alan milin ve tablanın yataklanması şekil 2.15 'de gösterilmektedir. Burada mil eksenel ve radyal olarak bir borunun içine yataklanmış ve gövdeye sabitlenmiştir. Yataklamada iki adet açılı rulman kullanılmıştır. Alüminyum tabla şekilde gösterildiği gibi ortasında 2 mm et kalınlığı kalacak şekilde açılal rulmanların ortulacağı yüzeyler işlenmiştir. Yataklanana açılal rulmanların iç bilezikleri sabit kalacak şekilde alttaki mil faturasına oturtulacak şekilde üstteki ise mil üzerine çekilen dişler sayesinde bir somun ile sıkıştırılır. Mil uzun olduğu ve radyal yük taşıyacağı için mil bir borunun içine yataklanır. Milin yataklanmasında radyal yük taşıyacak bilyalı rulman borunun üstüne, eksenel yük taşıyacak bilyalı eksenel rulman altına montajlanır.



Şekil 2.15 : Tahrik milinin yataklanması

Tablanın yataklanması ise iki adet açılal rulmanın tablayı sıkmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun için rulmanlar mil üzerine geçirilmiş ve üzerinden somun ile sıkılarak iç bileziğe kuvvet uygulanmıştır. Tablanın et kalınlığının az olmasından dolayı burada rulmanların oturma yüzeyi ve tablanın geri kalan et kalınlığı 2 mm olması nedeniyle tablanın eksenel olarak taşıyacağı yük oldukça düşüktür.

Deneylerin rahatlıkla yapılması ve yayların performansının daha iyi gözlenebilmesi için tablanın çapı 500 mm seçilmiş ve ağırlığının düşürülmesi için alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Tablanın hemen altında yayların sabit olarak

yataklanacağı milin üzerindeki flanşlar bulunmaktadır. Bu flanş üzerindeki mesnetler sabittir ve yayların kolay montaj ve de montajını sağlayacak şekilde cıvatalarla sıkıştırılacak şekilde imal edilmiştir. Aynı mesnetlerden yayların tablayla bağlantısını kurmak için tablanın alt yüzeyine de yerleştirilmiştir. Mesnetlerin yanına yavaşlatma ve sabitleme işlemlerinin yapılacağı bloklar yerleştirilmiştir. Bu blokların alüminyum tabla üzerindeki konumu hassas olduğu için tabla üzerindeki deliklerin işlemleri CNC ile delinmiştir. Tasarımın üzerinde durulması gereken en önemli nokta, tabla milin üzerine sadece yataklanmaktadır, tablaya tahriki verecek olan yaylardır. Yayların etraftaki mekanizmalara çarpmaması ve en az deformasyonla tablayı döndürebilmesi için yayların uzunlukları deneyler sonucunda 320mm olarak bulunmuştur. Yayın gerilmemiş hali, gerilmekte iken aldığı şekil ve gerilmiş haldeyken almış olduğu şekil, şekil 2.16, şekil 2.17 ve şekil 2.18’de sırasıyla görülmektedir.



Şekil 2.16 : Esnek elemanın gerilmeye başlamadan önceki sürekli hali

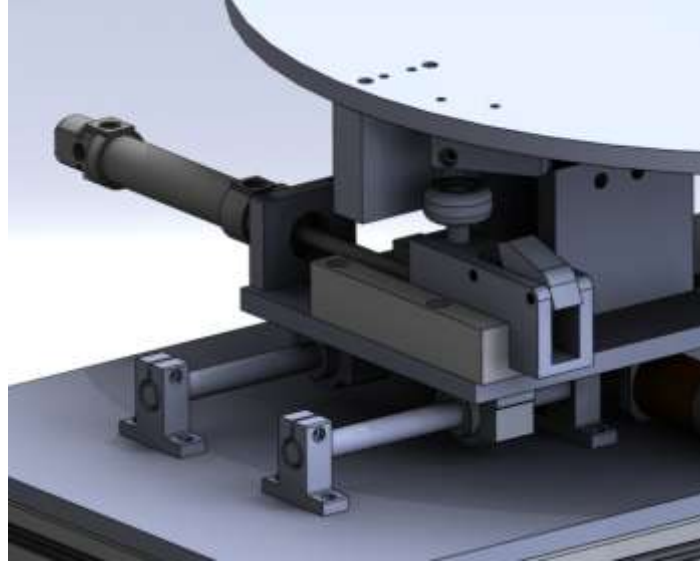


Şekil 2.17 : Esnek eleman esnemeye başlarken



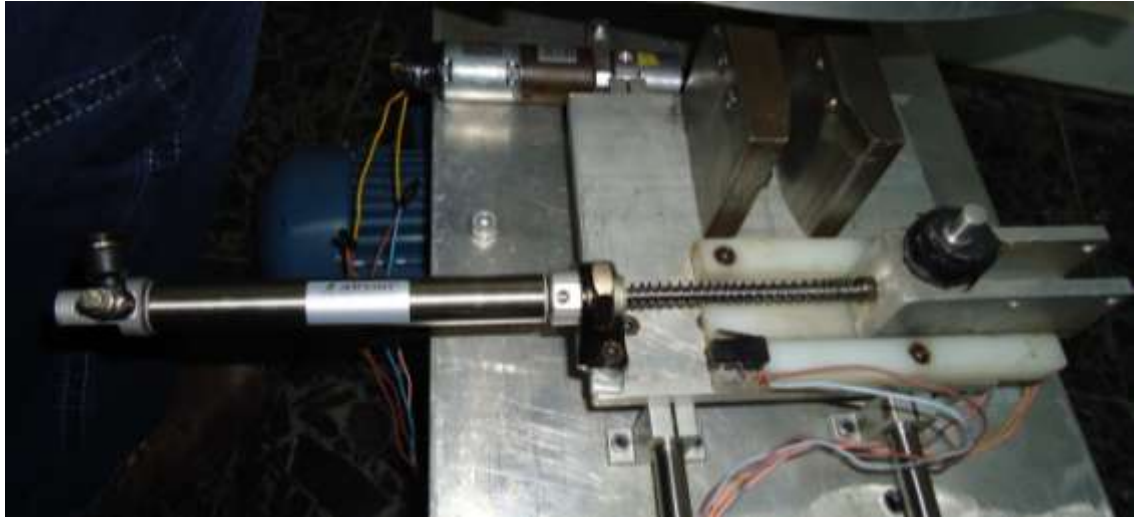
Şekil 2.18 : Esnek elemanın deforme olmuş hali

Sistemin yavaşlatma ve sabitleme mekanizmasının görünümü şekil 2.19 da gösterilmiştir. Burada yapılmak istenilen yaylara bağlı tablanın ataletini yenerek yüksek hızlara ulaştığında durdurulmadan önce bir damper yardımıyla kontrollü olarak durdurulması ve istenilen konumda tekrarlanabilirliği ve hassasiyeti yüksek bir şekilde tabla üzerindeki blokları tutmaktır.



Şekil 2.19 : Yavaşlatma ve sabitleme mekanizması

Yavaşlatma işlemini yapabilmek için mevcut şok emicilerin stroğu çok kısa ve araçlarda kullanılan gazlı amortisörlerin kuvvetleri yüksek gelmektedir. Bunun için ayarlanabilen ve yüksek bir stroktaki sönümleyici eleman için; şekil 2.20 de görüldüğü gibi çıkışına kısma valfi konulmuş bir pnömatik pistonun, geri dönüşünü gerçekleştirebilmek için piston milinin üzerine 1mm kalınlığındaki yay çeliğinden 5mm hatveli yay sarılmıştır. Böylece piston çıkışındaki kısma valfini ayarlayarak sönümleme oranı değiştirilmektedir.



Şekil 2.20 : Sönümleyici elemanın görünümü ve montajı

Şekil 2.20’de görüldüğü gibi sönümleme elemanı mekanizmanın üzerine monte edilmiş ve tablanın üzerindeki blokların yan yüzeyini karşılayacak şekilde sönümleyicinin önüne ek bir parça monte edilmiştir. Bu parça, sönümleyici mili

silindirik olduğu için dönebilir hem bu dönmeyi engellemek için hem de sönümleyiciye gelecek yanal yükleri karşılayabilmek için poliamid içine yataklanmıştır. Parça üzerine konulan kauçuk parça ile çarpışma esnasındaki sesin önüne geçilmiştir. Tasarımda görülen tetik mekanizması bloğun tek yönlü hareket etmesine izin verirken diğ er yönde dönmesini engellemektedir fakat deneyler esnasında tablanın geri sekmediğı görüldüğü için bu mekanizma gerçek tasarımdan çıkarılmıştır.

Yavaşlatma işlemini yapılmasından sonra sönümleyici elemanın yanına yerleştirilmiş sabitleme parçalarıyla bloklar sabitlenir. Bunu gerçekleştirmek için yavaşlatma mekanizmasının altına kramayer-pinyon mekanizması yerleştirilmiş ve 12 volt 0.6 amper ile çalışan bir DC motor ile tahriki sağlanmışır. Yataklanması ise 12 mm çapındaki endüksiyon milleri üzerinde çalışan bilyeli yataklar kullanılmışır. Sistem ileri doğru sürüldüğünde sönümleyici bloktan kurtulacak ve açık pozisyonuna geçerken mekanizma üzerinde bulunan sabitleme parçaları tabla üzerindeki bloğu tutarak pozisyonlamayı sağlayacak. Sabitleme parçalarının üzerinde bulunan bilyeli setscrew'lar hem parça üzerine kuvvet uygulayarak tutarken hem de bilyeler sayesinde sürtünme azaltılacaktır. Sabitleme mekanizması üzerindeki parçaların belli miktardaki kaçıklığı tolerans edebilmesi için yüzeyleri eğik imal edilmiştir.



Şekil 2.21 : Merkezleme mekanizması

2.3.2 Elektrik Donanımı

Sistemin tahrikini sağlamak için, şekil 2.21’de görülen, tablanın bağlı olduğu mile 250 watt gücünde, trifaze AC motor ve önünde 1:90 oranında redüksiyon yapabilecek redüktör ve kayış kasnak mekanizması yerleştirilmiştir.



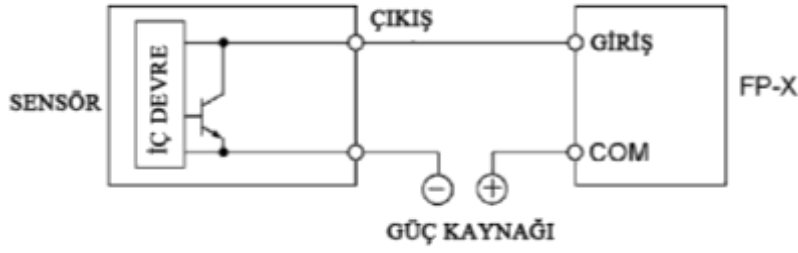
Şekil 2.22 : Elektrik motoru ve kasnak mekanizması

Sistem çalıştırılırken dikkat edilmesi gereken bir konuda şudur, tahrik milinin hızıyla bekleme süresinin bağlantılı olması. Bekleme süresi kaç saniye ise mil 90 dereceyi o sürede dönmelidir. Deneyler esnasında da bekleme süresi değiştirileceğinden motor hızı düştüğünde motor gücünde kayıp yaşamamak için AC motor ve invertör kullanılmıştır.

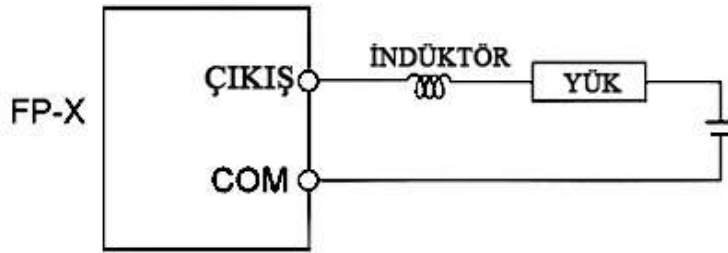
Sabitleme mekanizmasını tahrik eden DC motorun kontrolü için Panasonic marka FPX C14 serisi PLC kullanılmıştır. Bu PLC nin özelliklerini şöyle sıralayabiliriz;

- 8 girişi, 6 transistor tipi çıkışı bulunmaktadır,
- 220 volt AC girişi kendi 24 Volt DC çıkışı bulunmaktadır,
- Uygulama kasetleriyle analog giriş ve çıkış elde edilebilir,
- RS232C.RS485, USB, Ethernet seri haberleşme portları bulunmaktadır,
- Maximum 328 giriş çıkış eklenebilir

PLC nin röle ve sensörlerle kablo bağlantısının şemaları şekil 2.23 ve şekil 2.24’de gösterilmiştir.



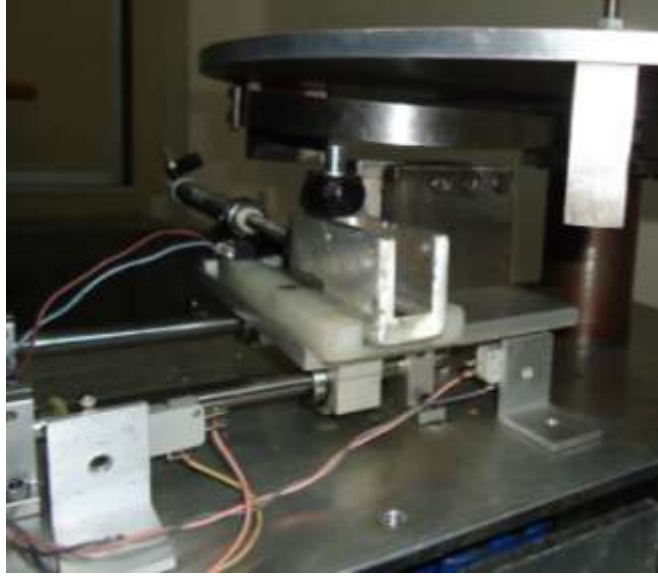
Şekil 2.23 : PLC nin girişi için yapılan bağlantı şeması



Şekil 2.24 : PLC nin çıkışları için yapılan bağlantı şeması

Sistemin çalışma mantığı şöyle kurulmuştur, tabla sönümleyiciye çarpıp sönümleyici eleman yatağında hareket etmeye başladıktan sonra sabitleme yapılacak noktaya geldiğinde yatak üzerindeki sınır anahtarı konum değiştirir ve bu komutla birlikte PLC programı DC motoru ileri sürer ve istene bekleme süresi kadar bekletir. Bekleme süresi programdan değiştirilebilir.

Sistemin 5 girişi 2 çıkışı bulunmaktadır. Girişler; programın işleme geçmesinin sağlayan başlama butonu, herhangi bir sorun esnasında bütün akışı durduracak veya rutin kapatma işlemini yapacak bitirme butonu, sönümleyicinin strok sonuna geldiğini motorun merkezleme mekanizmasını hareketlendirmesini bildiren anahtar, mekanizmanın ileri gidip beklemesi gerektiğini bildiren sınır anahtarı ve geriye gidip beklemesini bildiren sınır anahtarı kullanılmıştır. Burada kullanılan sınır anahtarları makaralı olup mekanizma üzerindeki montajları şekil 2.25' de gösterildiği gibi yapılmıştır. Çıkışlarda ise iki adet röle sürülerek DC motorun yön kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 2.25 : Kullanılan sınır anahtarları ve merkezleme mekanizması

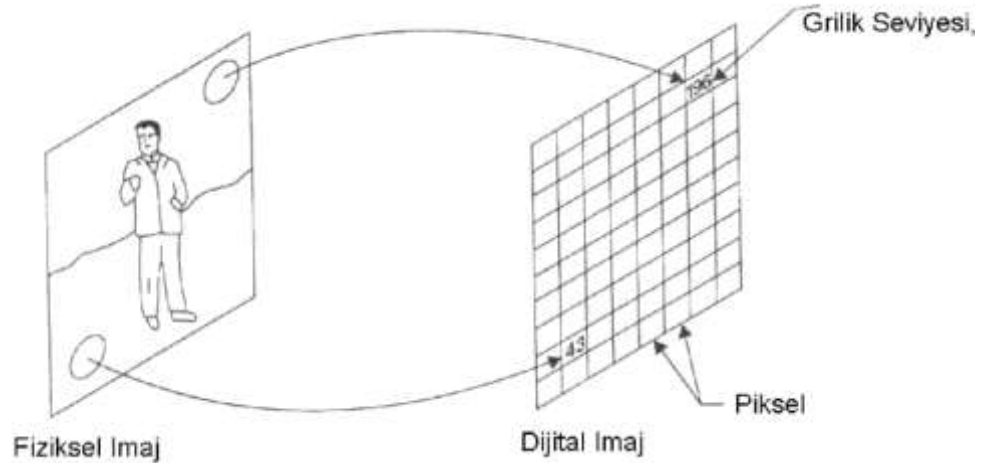
3 GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE SİSTEMDEN VERİ TOPLAMA

3.1 Görüntü İşlemenin Esasları

En basit anlatımıyla, görüntü işleme, görüntüleri işleyebilmek için gerekli bir bilgisayara ve iki önemli girdi çıktı donanımına ihtiyaç duymaktadır; görüntü sayısallaştırıcısı ve görüntüleme cihazı.

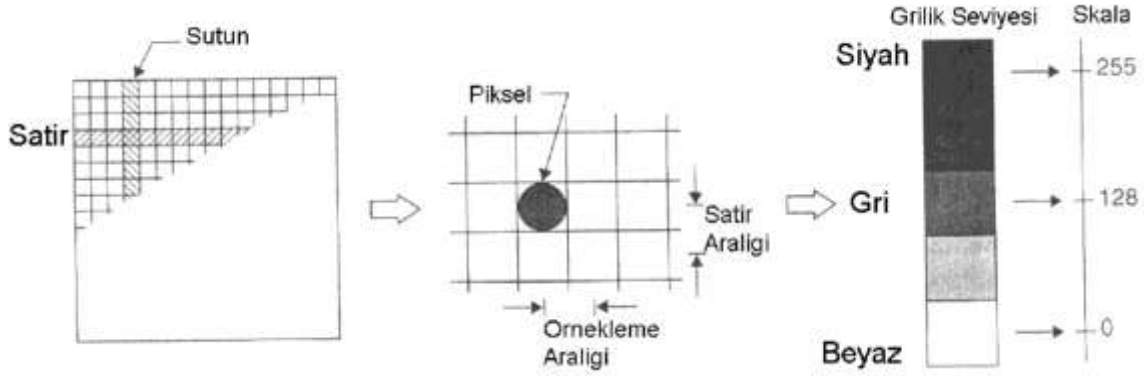
Bu cihazların doğal yapılarından dolayı, imajlar bilgisayar analizleri için direk bir kaynak olamamaktadırlar. Bilgisayarlar görüntü verileri ile değil de sayısal değerlerle çalıştıklarından, işleme başlamadan önce görüntü sayısal bir forma dönüştürülmelidir.

Şekil 3.1 dörtgen sıralı sayıların bir fiziksel imajı nasıl temsil edebileceğini göstermektedir. Fiziksel görüntü, resim elementleri ya da piksel denen küçük bölgelere bölünlenmiştir. En yaygın alt bölümlene şeması olan dörtgen örnekleme kafes sistemi Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Dijital görüntüde, her piksele yerleştirilen sayı, o noktadaki parlaklığı yansıtmaktadır.

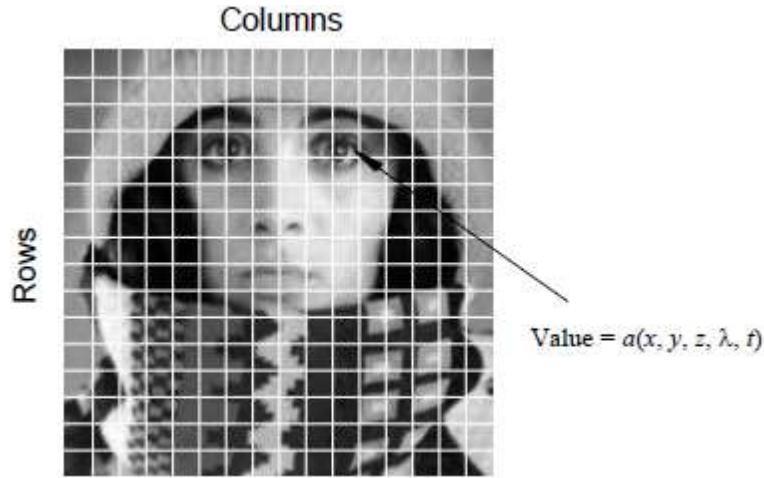


Şekil 3.1 : Bir fiziksel görüntü ve dijital karşılığı [13]

Dönüştürme işlemi sayısallaştırma olarak adlandırılır. Şekil 3.2 de genel bir form gösterilmiştir. Her piksel için görüntünün parlaklığı örneklenir ve sayısal olarak değerlendirilir. İşlemin bu adımı, her piksel için o noktadaki parlaklık ya da karanlık simgeler. Bu işlem tüm pikseller için gerçekleştirildiğinde görüntü dörtgen sıralı bir şekilde gösterilmiş olur. Her piksel, tam bir konum ya da adrese (satır ve sütun numarasıyla) ve grilik seviyesi denen tam bir değere sahiptir. Bu sıralı dijital veri şu anda bilgisayarda işlenmek için uygun bir hale gelmiştir. [13]

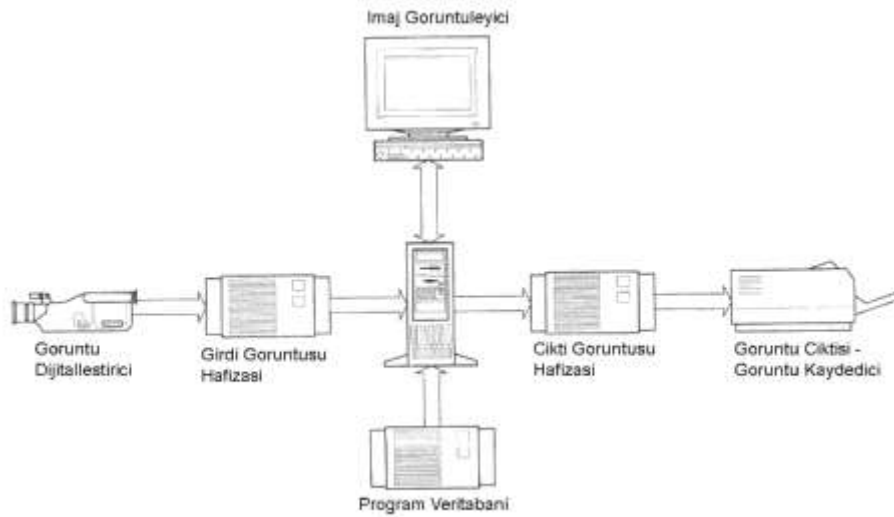


Şekil 3.2 : Bir görüntünün sayısallaştırılması [14]



Şekil 3.3 : Sürekli bir görüntünün sayısallaştırılmış hali. $[m,n]$ gibi bir nokta sayısal olarak koordinat, parlaklık vs. değerlerle tanımlanmış [14]

Şekil 3.4 görüntü işleme sistemi için gerekli komple bir sistemi göstermektedir. Sayısallaştırıcıdan elde edilen dijital görüntü, geçici bir hafızada saklanır. Operatörün direktifiyle, bilgisayar kütüphaneden gerekli programı çağırır ve görüntü işlemeyi başlatır. Uygulama sırasında, görüntü bilgisayar tarafından satır satır okunarak alınır. Bir veya daha fazla satır üzerinde oynama yapılarak bir son görüntü elde edilir ve çıktı görüntüsü bir görüntü kaydediciye satır satır kaydedilir. [13]



Şekil 3.4 : Bir Dijital Görüntü İşleme Sistemi [13]

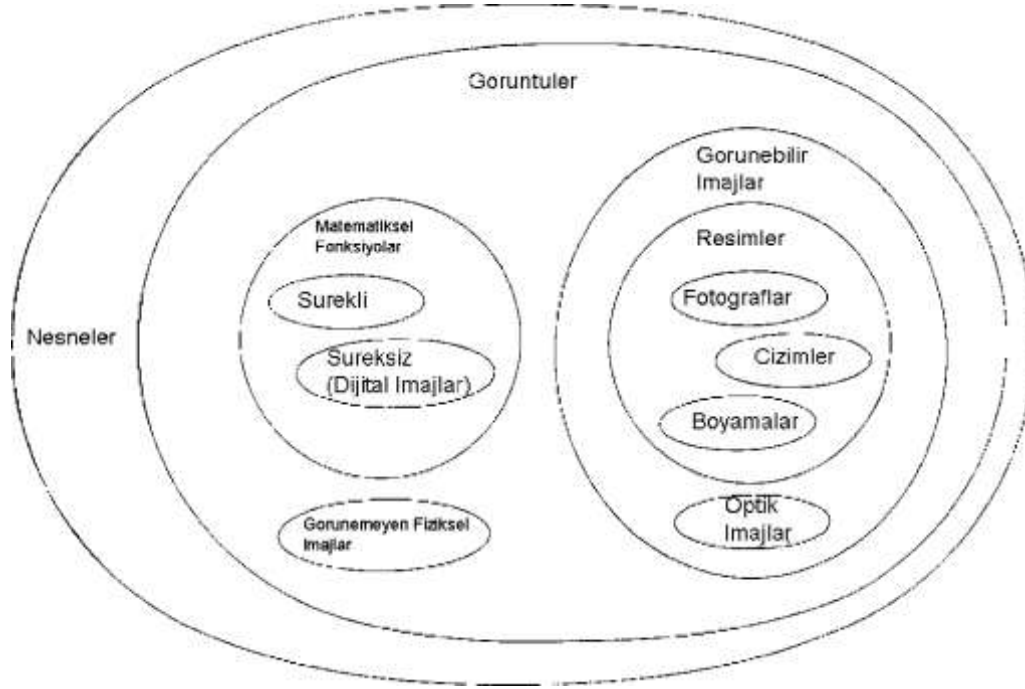
İşleme sırasında pikseller programcı tarafından değiştirilebilir. Proses adımları sadece ve sadece programcının sabrı ve işleme bütçesiyle sınırlıdır. İşlemeden sonra, son ürün tersine sayısallaştırma denilen bir prosesle görüntülenir. Her piksele ait grilik seviyesi görüntü ekranında alakalı noktanın parlaklığını göstermek için kullanılır. İşlenen imaj artık görünebilir ve insan yorumuna açık hale gelmiştir.

İmajlar çeşitli formlarda meydana gelirler, bazıları görünür bazıları değildir, bazıları soyut bazıları fiziksel, bazıları bilgisayar analizlerine uygun bazıları değildir. Bu sebeple çok farklı görüntü türlerinin bulunduğu farkında olmak oldukça önemlidir. Bu kavramdaki en ufak bir dikkatsizlik özellikle; bir görüntü nedir sorusunun cevabında farklı konseptlere sahip insanların, görüntüler hakkında fikir alışverişinde bulunmasında belirgin karmaşalara sebep olabilir.

Görüntü işleme tekniğini tanımlamadan önce, görüntü kelimesinin tanımı konusunda hemfikir olmak gerekmektedir. Çoğu insanın bir görüntü nedir sorusuna bir yaklaşımı mevcutken, kesin bir tanım koymak mümkün olmamaktadır. Sözlük anlamına bakılacak olursa; (1) temsil etme, benzeri, bir nesnenin veya bir şeyin örneği, (2) bir nesnenin grafik tanımlaması, (3) bir şeyin tanımlanması için tanımlanan şey; gibi tanımlar görülmektedir. Bu nedenle genel olarak, bir görüntü bir başka şeyin temsidir diyebiliriz. Örneğin, Abraham Lincoln'ün fotoğrafı, Amerika başkanının temsili bir görüntüsüdür. Bir görüntü, temsil ettiği obje hakkında tanımlayıcı bilgileri içermektedir. Bir fotoğraf, ona bakan kişinin fotoğraftaki nesneyi görüntüsel olarak algılayabilmesi için gerekli bilgiyi içermektedir.

Görüntüler formlarına veya oluşturulma biçimlerine göre farklı tiplere sınıflandırılabilirler (Şekil 3.5). Tüm nesneleri düşünecek olursak, görüntüler bu grubun içinde bir alt grup

oluşturmaktadır. Görüntü alt grubunun içinde en önemli alt grubu oluşturan ve gözle algılanabilen görünebilir görüntüleri kapsayan bir alt grup bulunur. Bu görünebilir görüntülerin altında da yine oluşum şekillerine göre farklılık gösteren birçok görüntü alt grupları (fotoğraflar, çizimler, boyamalar) bulunmaktadır. Diğer bir alt grup da lensler, hologramlarla elde edilen optik görüntüleri içermektedir. [13]



Şekil 3.5 : Görüntü Türleri [13]

Fiziksel görüntüler madde veya enerjinin gerçek dağılımlarıdır. Örneğin, optik görüntüler, ışık yoğunluğunun uzaydaki dağılımlarıdır. Bunlar insan gözüyle görülebilir ve bu nedenle görülebilir görüntüler sınıfındadırlar. Görülemeyen fiziksel görüntüler için örnek vermek gerekirse; ısı, basınç, rakım, nüfus yoğunluğu haritaları verilebilir. Fiziksel görüntülerin bir alt grubu da çok dağılımlı görüntülerdir, bunlar her noktada birden fazla lokal özellik tanımlı görüntülerdir. Buna bir örnek olarak RedGreenBlue (RGB) görüntü örnek verilebilir (televizyon veya fotoğraflarda üretilen görüntü). Siyah beyaz bir fotoğraf her pikselde tek bir parlaklık değerine sahipken, RGB bir görüntü de her piksel kırmızı yeşil ve mavinin bir tonuna sahiptir. Bu üç renk değişkeni farklı yoğunluklarda bir araya gelerek gözün farklı renkler algılamasını sağlarlar.

Başka bir görüntü alt grubu da matematiksel soyut görüntüleri kapsamaktadır. Bu grup sürekli ve süreksiz fonksiyonlar ile dijital görüntüleri kapsar. Sadece dijital görüntüler bilgisayar tarafından işlenebilmektedir.

Bu tanımlarla birlikte dijital görüntü işlemeyi; bir görüntünün sayısal ifadesinin belirli operasyonlardan geçirilerek elde edilmesi istenen bir sonuca yaklaşılmaması olarak tanımlayabiliriz. Bir resim örneğini alacak olursak yapılan görüntü işleme operasyonları resmi daha beğenilir veya çekici hale dönüştürebilir.

Bir görüntü genel olarak temsil ettiği nesnenin özelliklerinin özetidir. Bu durumda normal olarak, görüntü gerçek nesneden daha az bilgi içermektedir denebilir ve bu sebeple bir görüntü tam değildir veya temsil ettiği resmin aynısı değildir denebilir.

Dijital görüntü işleme tekniği bir tek görüntüyle başlar ve bu görüntünün modifiye edilmiş bir versiyonunu üretir. Sonuç olarak bu işlem bir görüntünün başka bir görüntüye değiştirilmesi prosesisidir.

Bilgisayar grafikleri, katı cisimler yerine kavramsal olarak var olan veya matematiksel tanımlamaların görüntülenmesi ve işlenmesiyle ilgilenir. Bilgisayar grafikleri aynı zamanda dijital görüntü sistemlerini artistik gösterim için kullanan bilgisayarlı sanatı da içermektedir.

Bilgisayarlı görüş, doğal görüntülerin içeriğinin tercümesini yapabilen gelişen sistemlerle alakalıdır. Robot alanında, bilgisayarlı görüş robotun gözlerini destekler.

Daha geniş bir skalada, dijital görüntüleme terimini bilgisayarla alakalı görüntü verilerini kapsayan tüm kavramlar için kullanıyoruz. Bu, bilgisayarlı grafik, bilgisayarlı görüş, dijital görüntü işleme ve analizlerinin tamamını kapsamaktadır.

Sayısallaştırma, bir görüntünün orjinal formundan dijital forma dönüştürülmesi işlemidir. Dönüştürme kelimesi aslında bir yok etme işlemi içermemektedir çünkü orjinal görüntü kaybolmamaktadır. Aksine, dijital görüntünün oluşturulmasında rehber olarak kullanılmaktadır. Bunun tersi olan işlem; görüntüleme operasyonu ise, dijital bir görüntüden görülebilir bir imaj elde etme işlemidir. Görüntüleme işlemi için sıkça kullanılan eşdeğer sözcükler; “playback, image reconstruction, hardcopy ve imagerecording” tir. Bu işlemde de bir yok etme durumu söz konusu değildir. Çünkü dijital bir imajın görüntülenmesi dijital verinin kaybolması anlamına gelmemektedir.

Tarama sözcüğünü bir imajın bir bölgesinin spesifik lokasyonlarıyla adreslenmesi olarak tanımlayabiliriz. Tarama işlemiyle adreslenen her küçük alt bölge resim elementi piksel olarak adlandırılır. Fotografik imajların sayısallaştırılmasında tarama işlemi, film üzerindeki

küçük noktaların sıralı adreslenmesi olarak verilir. Bu işlemde tarama, sayısallaştırma ile eşdeğer anlam kazanmıştır.

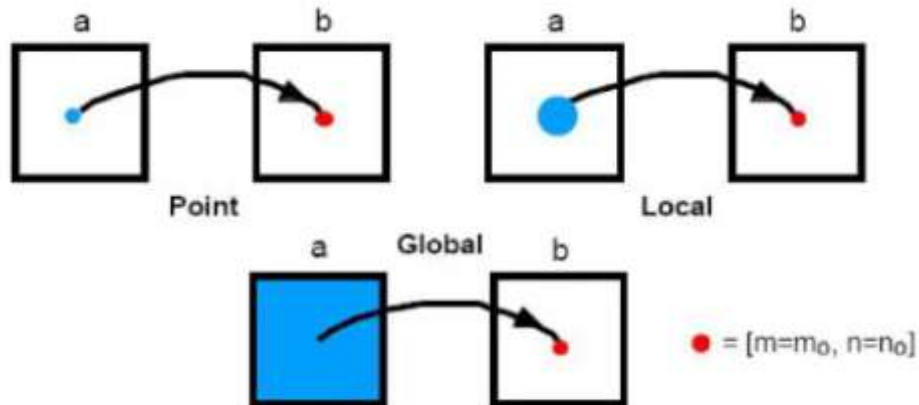
Örnekleme; bir imajın her pikselinin grilik seviyesinin ölçülmesi olarak tanımlanır. Örnekleme işlemi genellikle bir imajdaki her pikseldeki ışık yoğunluğuna göre orantılı bir voltaj oluşturan bir imaj-duyarlı cihaz tarafından gerçekleştirilir.

Niceleme işlemi, ölçülen bir değerin bir tam sayı ile gösterilmesi işlemidir. Dijital bilgisayarlar sayıları işlediklerinden, sürekli ölçü değerlerini süreksiz ünitelere küçültmek ve tamsayılarla ifade etmek gerekmektedir. İmaj sensörünü genellikle bir analog-dijital çevirici takip eder. Bu çevirici voltaj değerlerini orantılı olarak sayısal değerlere çeviren bir elektronik devredir.

Tarama, örnekleme ve niceleme adımları bir imajın nümerik olarak gösterilmesi için gerekli ve yeterli adımlardır ve sayısallaştırmanın adımlarını oluştururlar. Bunun tersi bir dijital imajın görüntülenmesi için kullanılır. İmajları dijitale ve sonra tekrar görünebilir hale çevirebilme yeteneği sayesinde artık, dijital işleme adımları tanımlanabilir ve uygulanabilir olmakta ve sonuçlar gözlemlenebilmektedir.

Bir işlem, bir girdi görüntüsünden bir çıktı görüntüsü elde ettiği zaman, iki görüntü arasında ve iki nokta arasında benzerlik bulunmalıdır. Çıktı görüntüsündeki her piksel girdi görüntüsündeki bir pikselle benzeşmelidir. Böylelikle, girdi görüntüsünde bir piksele uygulanan bir değişiklikle elde edilen grilik seviyesi değeri çıktı görüntüsündeki eş piksele kaydedilir.

Dijital imajlara uygulanan operasyonlar farklı sınıflara ayrılırlar. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6 : Çeşitli Görüntü Operasyonlarının Örneklenmesi [14]

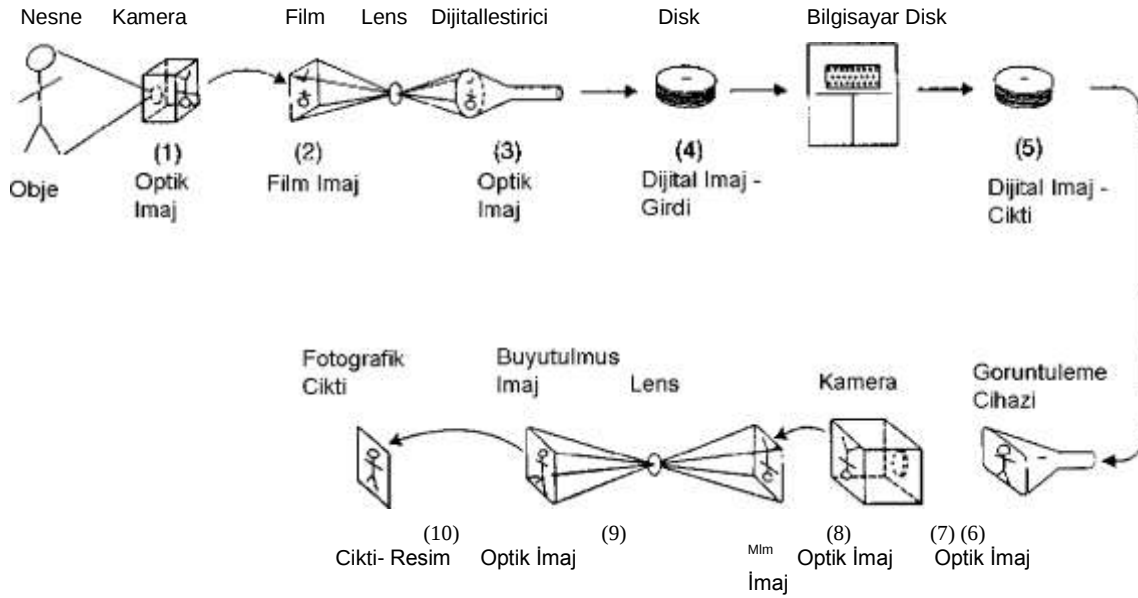
Eğer bir operasyon tüm dijital imaja aynı anda eşit olarak uygulanıyorsa buna global operasyon denmektedir. Bir piksel operasyonunda çıktı görüntüsündeki pikselin değeri sadece girdi görüntüsündeki eş pikselde yapılan değişikliğe bağlıdır. Noktasal operasyonlar bazen kontrast işleme veya kontrast düzeltme işlemleri olarak adlandırılırlar. Lokal bir operasyon, çıktı görüntüsündeki bir pikselin değerinin, girdi görüntüsündeki eş piksel ve çevresindeki birçok komşu pikselde yapılan grilik değerlerinden hesap edildiği işlemlerdir.

Kontrast kavramı bir görüntü içindeki grilik seviyesi farklarının genliğini ifade etmektedir. Kirlilik (noise), geniş olarak görüntünün kirliliği olarak tanımlanabilir.

Bir imajın örnekleme yoğunluğu, imajın bir bölgesindeki ölçünün (ör: piksel/mm) birimi başına örnekleme noktalarının sayısıdır.

Büyütme, bir görüntü içindeki bir nesnenin büyüklüğü ile onu temsil eden görüntüdeki nesnenin büyüklüğü arasındaki ilişkiyi ifade eder. Büyütme, işlemede bir girdi görüntüsü ile çıktı görüntüsü arasında anlam ifade eder. Bunun yanında bir fiziksel görüntünün dijitale çevrilirken büyütülmesi bir anlam içermemektedir. Örnekleme yoğunluğu (veya piksel aralığı) bu konuda daha kullanışlı bir kavram olmaktadır.

Birçok görüntü işleme uygulamasında, görüntü işlemenin amacı asıl obje hakkında bilgi toplamaktır. Sadece dijital imajlar bilgisayarla işlenebilir olduğundan, bu imajlar sadece temsil ettikleri nesnelerin geçici yedekleri olarak davranabilirler. Bu sebeple biz obje ile onu temsil eden görüntü arasında bir benzeşme kurarız. Bir objeyi dijital olarak işleyemediğimizden hatta dijital olmayan bir görüntüyü bile işleyemediğimizden, ona benzeyen dijital görüntüyü işlemeyle kısıtlandırılmış durumdayız. Şekil 3.7 görüntü işlemeyi zincirleme bir sırada göstermektedir.

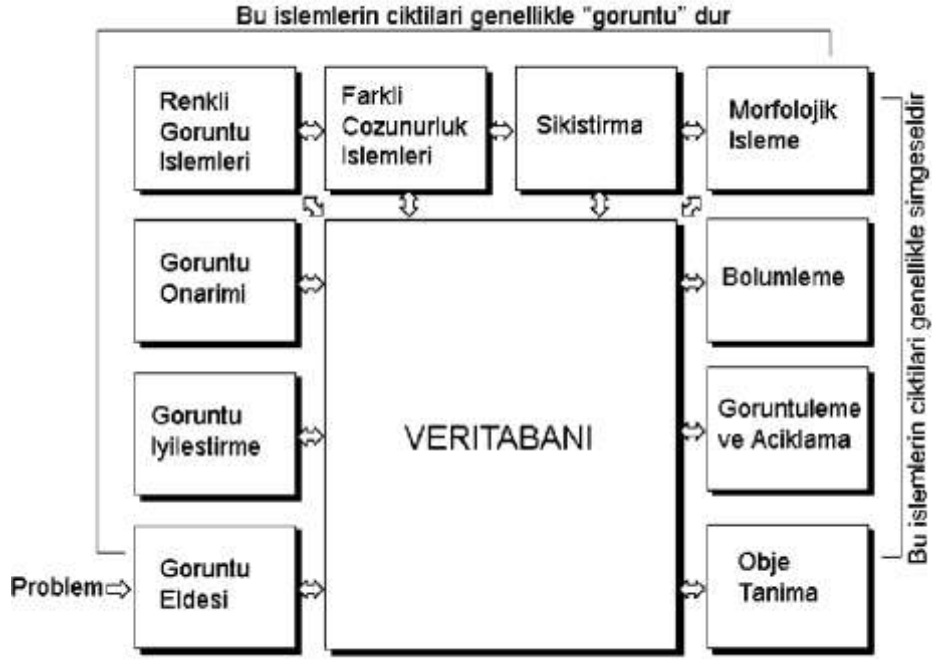


Şekil 3.7 : Digital Görüntü İşleme Sırası [13]

Kamera objeye benzeyen optik bir imaj oluşturur. Buradan geliştirilen film optik imajın negatif imajı olarak üretilir. Film optik imaja benzeyen bir imajı sayısallaştırıcı yüzey üzerinde oluşturur ve buradan bir girdi görüntüsü elde edilmiş olur. Hiçbir işleme prosesi yapılmadan çıktı görüntüsü alınmak istense bile toplam işlem boyunca asıl objeye benzeyen 10 farklı imajdan bir çıktı görüntüsü elde edilmiş olur. Buradan, görüntü işleme sırasında kaç farklı benzer görüntü elde edileceğini hatırlamak gerekir.

İşlemedeki her adım imajın değerini yitirmesi için bir fırsat oluşturmaktadır. Bu kayıpları engellemek için her adım çok iyi tasarlanmalı ve çok iyi kontrol edilmelidir. Kullanılan ekipmanlar amaca uygun olarak en iyi şekilde seçilmelidir.

Dijital görüntü işlemlerini iki ana gruba ayırmak mümkün olabilmektedir; girdi ve çıktıların görüntü olduğu metotlar, ikinci grup ise girdilerin görüntü olabildiği ama çıktıların görüntülerden elde edilen simgeler olduğu metotlar. Bu organizasyon Şekil 3.8 de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : Dijital Görüntü İşlemede Temel Adımlar [15]

Diyagram her işlemin bir imaja uygulanmasını gerektirmemektedir. Maksat, bütün metotların imajlara farklı amaçlar ve farklı gayeler için uygulandığını ifade etmek için bir fikir vermektir.

Görüntü Eldesi: Şekil 3.8 de gösterilen ilk işlem olan görüntü eldesi, zaten dijital olan bir verinin kullanılması olarak verilebileceği gibi genel olarak, örnekleme gibi işlem öncesi prosesleri tanımlamaktadır.

Görüntü İyileştirme: En kolay ve en dikkat çekici görüntü işleme alanlarından birisidir. Temel olarak, görüntü iyileştirme tekniklerinin arkasında yatan ana fikir, gözden kaçan detayların ortaya çıkartılması veya bir imajın belli özelliklerini ön plana çıkarmaktır. En hatırlanabilir örnek, imajın kontrastının artırılmasıdır, çünkü daha iyi gözükür.

Görüntü Onarımı: Görüntü onarımı da imajın görünüşünü daha iyi hale getirme ile ilgilidir. Görüntü iyileştirme subjektif bir olayken, görüntü onarımı objektif bir kavramdır. Görüntü kayıplarının yenilenmesinde matematiksel ve tahmin modellerinin kullanılmasıyla alakalıdır. Görüntü iyileştirme insan yorumuna açık bir konudur, elde edilecek sonuç kişinin tercihlerine bağlı olarak değişir.

Renkli Görüntü İşleme: internet üzerinde renkli dijital imajların kullanımının artması bu konunun önemini artıran bir etken olmuştur.

Sıkıştırma: Adından da anlaşıldığı gibi bir imajın saklanabilmesi için gerekli olan sabit disk miktarını azaltmakla ilgilenir. Saklama teknolojileri son zamanlarda oldukça fazla ilerlemiş olsa da, aynı durum aktarma teknolojileri için söylenememektedir. Bu özellikle görüntü içerikli olan internetin kullanımında önemli bir konu haline gelmektedir. Bilgisayar kullanıcılarının dosya uzantılarından tanıdık oldukları JPEG formu bir imaj sıkıştırma standardıdır.

Morfolojik İşleme: Bu konu, imajın tekrar görüntülenmesinde ve şeklinin tanımlanmasında yararlı olan imaj bileşenlerinin eldesinde kullanılan araçlarla ilgilenir.

Bölümleme: Otomatik bölümleme işlemi imaj işlemenin en zor görevlerinden birisidir. Bölümleme ne kadar doğru olursa, tanıma işlemi o kadar daha başarılı olur.

Veri Tabanı: Bir problem hakkındaki bilgiler bir imaj işleme sisteminde veritabanında kodlar şeklinde bulunmaktadır. Veri tabanı her işleme modülüne rehberlik etmesinin yanı sıra, modüller arasındaki iletişimi de sağlamaktadır. Bu durum Şekil 3.8 de çift yönlü oklarla gösterilerek belirtilmeye çalışılmıştır.

Şu anda imajın görüntülenmesini konuşuyor olmasak da unutmamak gerekir ki, imaj işleme prosesi esnasında Şekil 3.8 deki her bir aşamadan sonra çıktı görüntüsü almak mümkündür. Aynı zamanda tüm imaj işleme uygulamaları Şekil 3.8 deki komplike düzenin tamamını içermez. Örneğin insan görsel yorumu için yapılan görüntü iyileştirme işlemi çok nadir geri kalan diğer işlemleri gerektirir. Genel olarak bir imaj işleme uygulamasının karmaşıklığı arttıkça, sorunu çözmek için gerekli olan işlemlerin sayısı da artmaktadır. [15]

3.2 Döner tabla verilerinin görüntü işleme ile alınması

Döner tabla mekanizmasının ekseninde encoder ile bağlantı imkânı olduğu için görüntü işleme teknolojisi kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılmadan önce yazılım kısmında bazı kolaylıklar sağlamak için döner tabla mekanizmasının üzerine alüminyum renginden farklı renklerde kare karton parçaları yerleştirilmiştir. Yapılan bu değişiklikle görüntü işleme esnasında tabla üzerinde kolayca takip edebileceğimiz ve daha kesin sonuçlar elde edebileceğimiz işaretlemeler yapılmıştır.



Şekil 3.9 : Görüntü işleme için üstünde işaretleme yapılmış tabla

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi tablanın merkezine kırmızı, çevresindeki CNC ile işlenmiş konumu belirli olan bağlama noktasına pembe işaretleyici yerleştirilmiştir. Tablanın 90 derecelik hareketler yaptığını bildiğimize göre her 90 derecede hareket karakteri aynı olacaktır. Bunun için çekim yapılacak kamera mümkün olduğunca az alanı çekim yapabilecek şekilde yerleştirilir ki kameranın çekim yaptığı piksel sayısından en yüksek düzeyde yararlanılabilsin. Sistemin çekimleri 1440 x 1080 piksellik HD kamera ile yapılmıştır. Burada gerçek zamanlı çalışma yapılmadığı için işlem süresinin uzamasında herhangi bir problem olmamaktadır. İşlemler sırasında öncelik en yüksek çözünürlükte ölçüm yapabilmektir.

İşlemler sırasında kameranın sabitlenmesi için bir tripod kullanılarak tablanın merkez noktasıyla 90 derecelik bir dilimi kaydedilmiştir. Tripodun kullanılmasının nedeni tablayı olabildiğince dik konumda çekerek çekim açısından kaynaklanabilecek yanlış ölçümleri giderebilmektir.

Tablanın 90 derecelik hareketinin karakterini çıkarabilmek için 6 saniyelik bir görüntü işleme yapılmıştır. Kamera 50 kare/saniye (frame/second) çekim yaptığından işlemek üzere elimizde 300x1440x1080 piksel bulunmaktadır. Yapılan hesaplarda sistem 20 milisaniye hassasiyetle ölçüm yapmaktadır ve her pikseli 0.3 mm uzunluğa denk gelmektedir. Kırmızı ve pembe noktaların bulunmasında kullanılan RGB değer aralıkları çizelge 3.1 de gösterilmektedir.

Tablo 3.1 : İşaretçilerin bulunmasında kullanılan RGB değer aralıkları

KIRMIZI			PEMBE		
Kırmızı	Yeşil	Mavi	Kırmızı	Yeşil	Mavi
	80 >	80 >		50 >	90 >
140 >	20 <	20 <	140 >	20 <	60 <

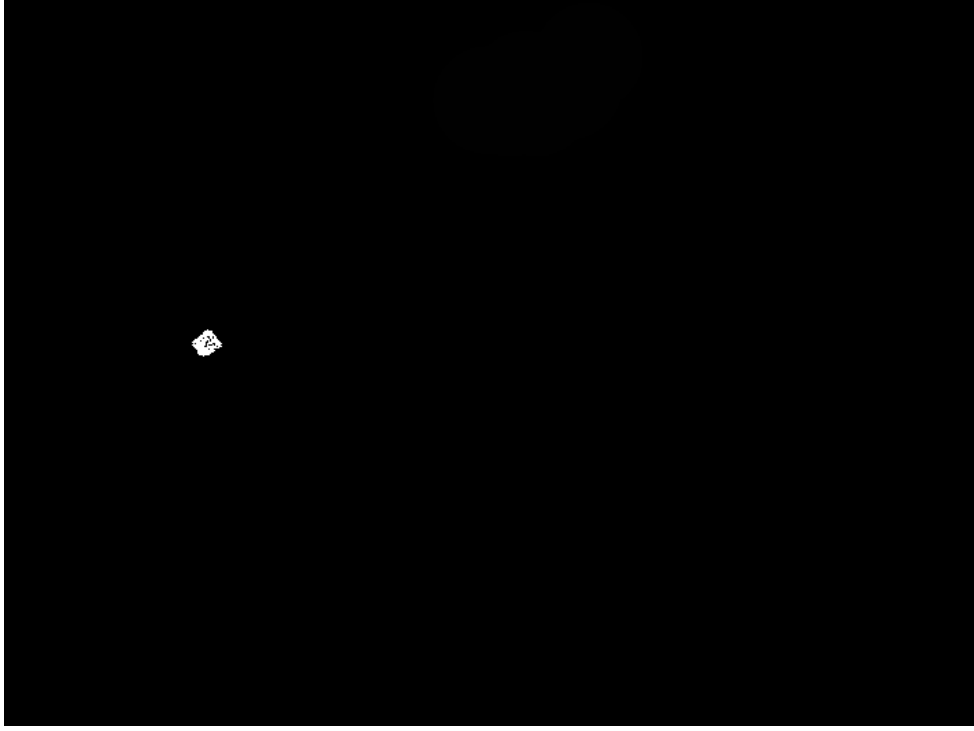
Ölçüm değerleri hesaplanırken önce her kare için kırmızı işaretçinin merkezi bulunur. Bu işlem için bulunan kırmızı noktaların x koordinatındaki ve y koordinatındaki minimum, maksimumları bulunur. Bunların ortalaması alınarak işaretçinin merkez noktası bulunur. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi kırmızı piksellerin çekilen karelerden birinde görünümü bulunmaktadır. Kırmızının RGB değerleri pembeye yakın olduğu için bazı pembe noktalar belirtilen kırmızı piksel RGB aralıklarının içinde bulunabilir. Hesaplama yapılırken bulunacak maksimum noktanın değişmesine neden olacağından burada kameranın sabitliğinden yararlanılarak kırmızı işaretleyicinin merkezi sadece belirli bir alan içinde aranır böylece merkez bulmada hata çıkmasının önüne geçilir.



Şekil 3.10 : Yapılan taramalar sonucunda elde edilen kırmızı pikseller

Merkez noktası bulunan karelerin daha sonra pembe renkli işaretçileri bulunur ve bulunan pembe noktaların x koordinatındaki ve y koordinatındaki minimum, maksimumları bulunur. Bunların ortalaması alınarak işaretçinin merkez noktası bulunur. Pembelerin RGB değerleri kırmızıya yakın olduğu için bazı kırmızı noktalar belirtilen pembe piksel RGB aralıklarının içinde bulunabilir. Hesaplama yapılırken bulunacak maksimum noktanın

değişmesine neden olacağından pembe işaretleyicinin merkezi sadece belirli bir alan içinde aranır böylece merkez bulmada hata çıkmasının önüne geçilir.



Şekil 3.11 : Yapılan taramalar sonucunda elde edilen pembe pikseller

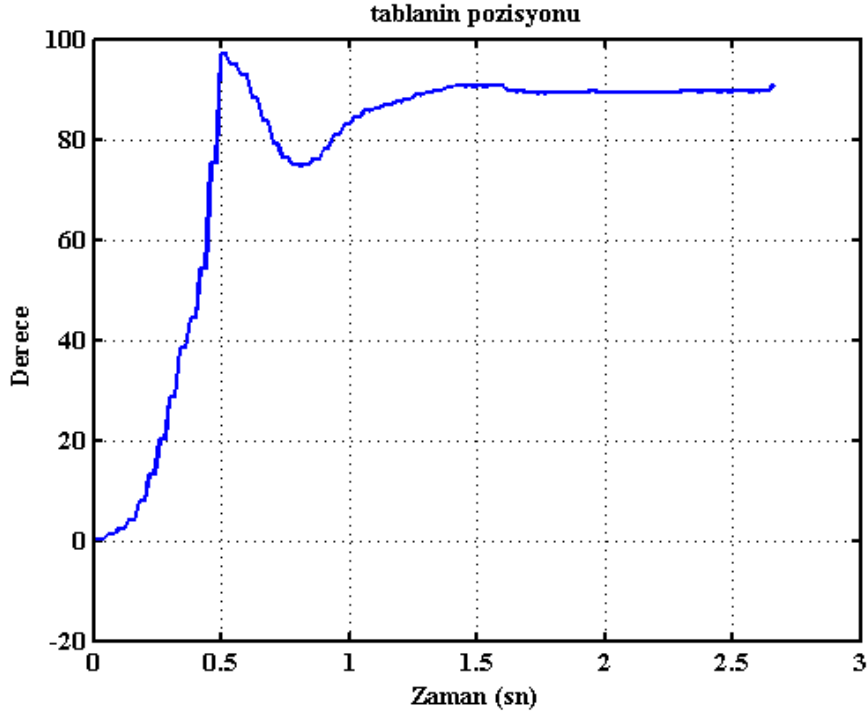
Her nokta için bulunan merkezler birbirinde çıkarılarak bir vektör bulunur ve vektörün uzaydaki açısı bulunur. Bunun için yapılan işlemler;

$$x = P(x_{ort}) - K(x_{ort}) \quad (3.1)$$

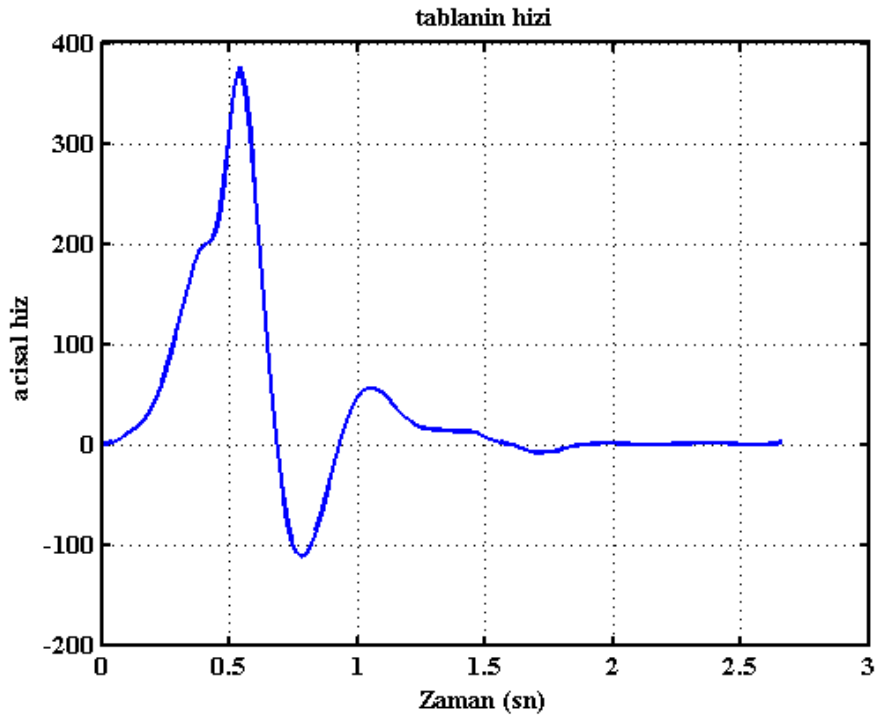
$$y = P(y_{ort}) - K(y_{ort}) \quad (3.2)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{x}{y}\right) \quad (3.3)$$

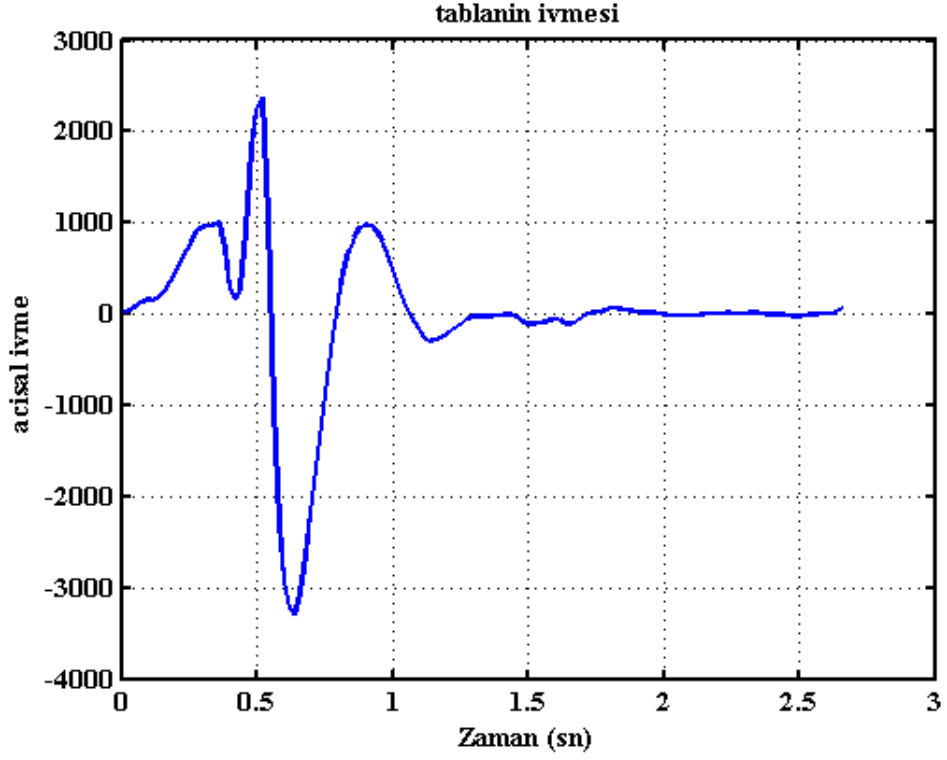
Yapılan işlemler sonucunda tablanın pozisyonu 0.02 saniye veriler halinde elde edilir. Elde edilen pozisyon verisinin bu zaman aralığına göre türevleri alınarak tablanın hız ve ivme grafikleri elde edilir.



Şekil 3.12 : Tablanın açısal yerdeğiştirme grafiği



Şekil 3.13 : Tablanın açısal hız grafiği



Şekil 3.14 : Tablanın açısal ivme grafiği

Şekil 3.13 ve 3.14 'de gösterilen hız ve ivme değerleri düşük geçiren butterworth filtresinde geçirilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi tabla 0.5. saniyede sönümleyiciye çarparak kazanmış olduğu bütün enerjiyle geri sekmektedir. Burada ivmenin ani yön değiştirmesinin ve büyüklüğünün artmasının nedeni sistemin sönümleyici elemana bağlı olmaması ve sönümleyici elemanın sönümleme oranının düşük olmasıdır.

4 SİSTEMİN MODELLENMESİ

4.1 Esnek Elemanların Modellenmesi

Tasarlanan döner tablanın esnek elemanları deforme olmuş bir şekilde monte edilip belirli bir eksen etrafında 90 derece döndürülmektedir. Esnek elemanların deformasyonu oldukça fazladır. Literatürde bu tip bir deformasyonun modellenmesi için herhangi bir çözüm üretilmemiştir. Mevcut çözümlerden eliptik integrallerle çözüm, sadece ankastre ve basit geometrili parçaların oluşturulan diferansiyel denklemleri mevcut eliptik integrallere benzetilerek bundan sonra bu tip eliptik integralin çözümü mevcut tablolardan bulunur,[1] çözümünü kesin olarak yapabilmektedir fakat eliptik integralin işlem yükü oldukça fazladır ve mevcut sistemdeki deformasyonlara cevap veremez. Pseudo Rijit Gövde Modelinde (PRBM) ise model iki parçadan oluşur biri parçayla aynı yörüngeyi izleyen rijit cisim ve elastik cisimle aynı deformasyonu yapan nonlinear yay.[16] PRBM kesin çözümle %99.5 uyumluluk göstermiş ve işlem yükünü azaltmıştır.[17] Mevcut sistemimize PRBM'i uygulamamızda sistemdeki esnek elemanın 2 tane yön değiştirdiği nokta olduğu için PRBM'de bunu modellemek oldukça zordur.

Bona ve Zelenika geliştirdikleri elastika tipi analitik çözümde az eğimli yay bantlarının, ankastre çubuklarının ve değişik yönlerde uygulanan yükler altındaki elastik elemanların yüksek deformasyonları üzerine çalışmışlar. Bu çalışmada hesaplar eliptik integrallerle yapılmış ve şerit yayın yükleme koşullarına ve kesinlik ihtiyacına göre limitleri değerlendirilmiştir. Düz şerit için yapılan hesaplamalar sonucunda gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmiştir.[18] Fakat yüksek deformasyonlu ve iki yön değiştirmeli bir sistem için çözüm sunamamaktadır. Bu yöntemde yine eliptik integral kullanılması başka bir dezavantajdır.

Çok esneme analizlerinin klasik formülasyonu ilk olarak Jacob Bernoulli tarafından başlatılmıştır. Bernoulli, herhangi bir noktadaki kiriş eğiminin o noktadaki eğilme momentiyle orantılı olduğunu kanıtlamıştır. Euler, elastik problemlerin değişik çözümlerini elde etmiştir. Esneme çok olduğu zaman kiriş eğimi daha fazla tahmin

edilemez. Geçerli olan diferansiyel denklemler nonlinear fonksiyonlar cinsinden ifade edilir. Bu fonksiyonlar esnek, düz çubuklar tipindedir ve genellikle eliptik integral ve fonksiyon içeren kesin ilişkiye temel olurlar. [19]

Yüksek deformasyonlu kiriş problemlerinde deneme ve yanılma prosedürü nonlinear denklemlerin çözümünde sıklıkla kullanılır. En küçük kareler metodu, ve Newton metodu birçok nonlinear statik problemlerin çözümünde kullanılır. Kirişlerin yüksek genlikte titreştiği durumlarda uygun çözümü bulabilmek için üç farklı yaklaşım kullanılır. Bunlar varsayılan-uzay yolu, varsayılan-zaman yolu ve Ritz-Galerkin metodudur. Yüksek genlikte titreşim içeren tipik denklemlerin çözümünde harmonik denge metodu, Van der Pol metodu, integral denklem metodu ve ortalama metodu kullanılabilir. Artan metodları, matematiksel programlama metodları, sonlu fark, ve sonlu elemanlar metodu nonlinear statik ve dinamik problemlerin çözümünde uygulama alanı bulurlar. Değişik tip nonlinearlikler de dahil olmak üzere sonlu elemanlar metodu geniş ölçüde kullanım alanına sahiptir.

4.2 ANSYS İle Esnek Elemanların Kuvvet Eğrilerinin Elde Edilmesi

Döner tablanın içinde barındırdığı esnek elemanın ilk halinin düz olmaması yada belirli bir yarı çapa sahip olmaması ve yüklemenin yönünün sürekli değişmesi literatürde daha önce üzerinde durulmamış bir problemidir. Bunun için öncelikle esnek elemanların tablayı döndürmek için ürettikleri kuvvet değerleri ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak yapılmıştır.

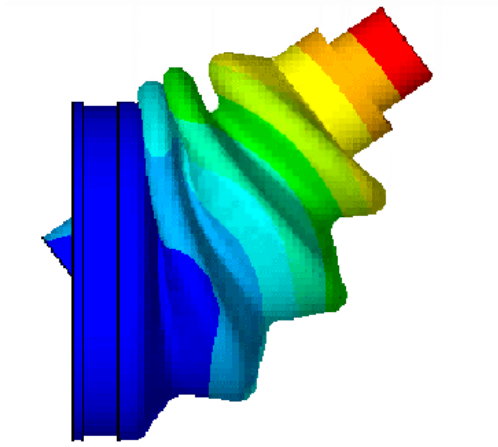
4.2.1 ANSYS Paket Programı

ANSYS yazılımı mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında ki problemleri, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak çözen bir paket programdır. Bu sayede gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simule edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır.[20]

ANSYS yazılımı hem dışarıdan CAD datalarını alabilmekte hem de içindeki preprocessing imkânları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Gene aynı preprocessor içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modeli yani mesh de oluşturulmaktadır. Yüklerin tanımlanmasından sonra gerçekleştirilen analiz ile sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilebilir. [20]

Mühendislik tasarımlarında ve uygulamalarında malzeme davranışının karakterizasyonunun kesinliği oldukça önemlidir. ANSYS programının nonlinear problemlerde tercih edilmesinin temel nedeni, nonlinear malzeme kütüphanesinin olması ve nonlinear çözücüye sahip olmasıdır. Ansys metaller, plastikler, köpük ve beton malzemeler için yapısal modeller oluşturmuştur. Bunların cevapları nonlinear, elastik, elastoplastik, elasto viskoplastik ve viskoelastik olabilir.

Yapılacak analizlerde örneğin keçe, metal şekillendirme, düşme testi, elastomerik körüklerde, çoklu parça montajlarında en önemli nokta kontaklıdır. İki katı model arasındaki etkileşimi iyi modelleyebilmek bu tip analizlerde kritiktir. Aslında, nonlinear analizlerin başarısı kontakların iyi seçilmesiyle belirlenir.



Şekil 4.1 : ANSYS’te yapılmış nonlinear geometri ve nonlinear malzemeli analizin sonucu

ANSYS kontak elemanlarını katı modelin yüzeyini göz önünde bulundurarak belirler. ANSYS bünyesindeki kontak yöneticisi kolay ve basit bir şekilde atılan montaj üzerindeki kontakları belirler.

4.2.2 Esnek Elemanların ANSYS İle Analizi

4.2.2.1 ANSYS'te parçaların analize hazırlanması

SolidWorks'te yapılan katı modelin hepsi ANSYS Workbench içine geçirilmeyip sadece 1 esnek elemanın analizi yapıp kuvvet eğrisi çıkarılmıştır. Bunun için esnek elemanın eğileceği eksenini belirlemek için esnek elemanın mile bağlandığı flanş, flanş ve tabla üzerinde esnek parçayı tutan çeneler ANSYS ortamına eklenmiştir. Burada 4 esnek elemanın birden analize sokulmamasının nedeni işlem süresinin artmasını önlemektir. Böylece analiz sonunda elde edilen veri kullanılan esnek eleman sayısı ile çarpılarak tablaya uygulanan teğetsel kuvvet elde edilir.

ANSYS workbench ara yüzünde açılan CAD modelin öncelikle malzeme özellikleri girilir. Burada kullanacağımız malzeme, tasarımda kullanmış olduğumuz paslanmaz yay çeliğidir. Seçilen çelik AISI 301 (1.4310)'nin özellikleri;

Tablo 4.1 : AISI 301'in özellikleri

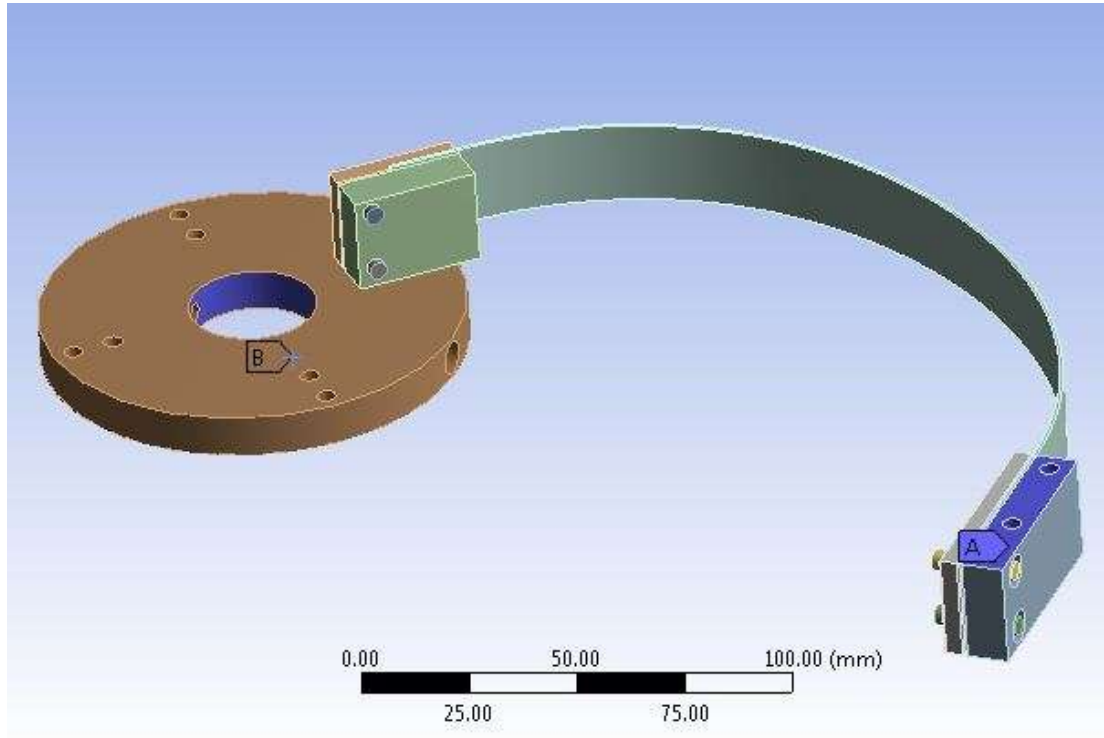
Elastisite modülü	1.93×10^5 MPa
Poisson oranı	0.31
Yoğunluk	7.75×10^{-6} kgmm ⁻³
Akma gerilmesi	207 MPa
Kopma gerilmesi	586 MPa

Program üzerinde malzemeler belirlenirken esnek elemanlar için AISI 301 malzeme atanmış ve diğer elemanlar için ANSYS'in kendi kütüphanesinde yer alan “yapı çeliği” olarak adlandırılan st-37 malzeme kullanılmıştır. Burada kullanılan ara elemanların üzerinden herhangi bir veri toplanmayacağından kullanılan malzeme üzerinde durulmamıştır.

Malzeme ataması yapıldıktan sonra parçalar üzerindeki sınırların belirlenmesi gerekmektedir. Eğer modele bir yük uygulanırsa, model bilgisayarın sanal dünyasında sonsuza kadar ivmelenir. Bu ivmelenme bir sınırlılık veya bir sınır şartı uygulanana kadar devam eder. Yapısal sınır şartları genellikle sıfır yer değiştirme, termal sınır şartları belirlenmiş bir sıcaklık, akışkan sınır şartları için bir basınç olarak tanımlanır. Bir sınır şartı bütün yönlerde (x,y,z) uygulanabileceği gibi yalnızca belirli bir yönde de tanımlanabilir. Sınır şartları düğüm noktalarında, anahtar

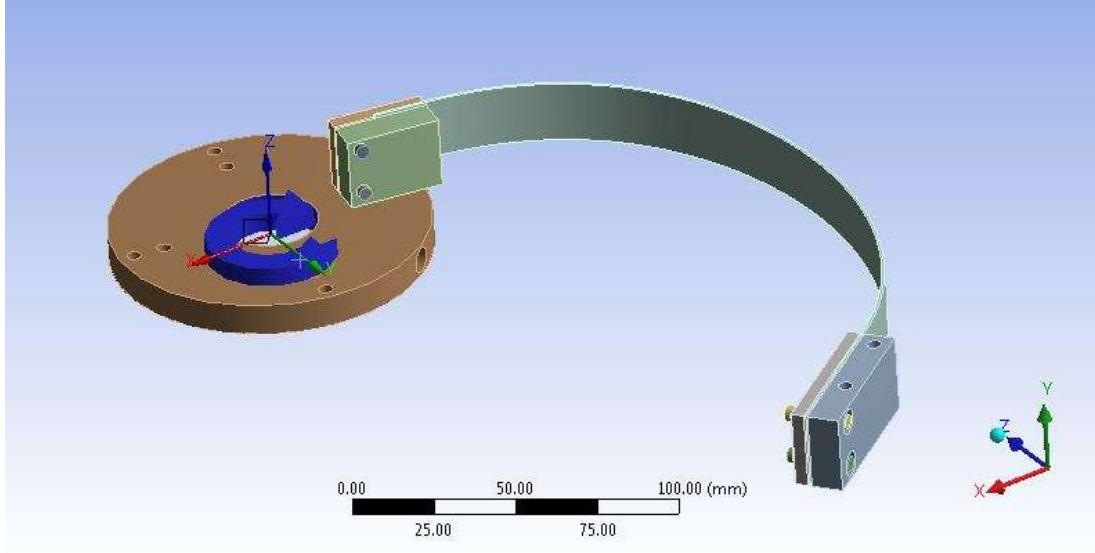
noktalarda, alan veya çizgilerde tanımlanabilir. Sınır şartı, simetri veya antisimetri tipinde olabilir.

Modelde iki adet sınır belirtilmiştir. Birincisi flanşa verilen dönme bağlantısıdır. Bu bağlantının özelliklerine bakacak olursak parçayı uzayda 5 eksenle sınırlarken sadece flanşın ekseninde dönmesine izin verir. Böylece çenelerle flanşa bağlanmış esnek elemanın bir ucu hareket ettirilebilir hale getirilmiştir. İkinci sınır ise esnek elemanın diğer ucunu sabitleyen çenelerin sabitlenmesidir. Çünkü bizim bu analizde gerçekleştirmek istediğimiz proses esnek elemanın bir ucunu sabit tutup diğer ucundaki teğetsel tepki kuvvetini ölçmektir. Bunun için kullandığımız bu iki sınır şartı bize istediğimiz sonucu verecektir.



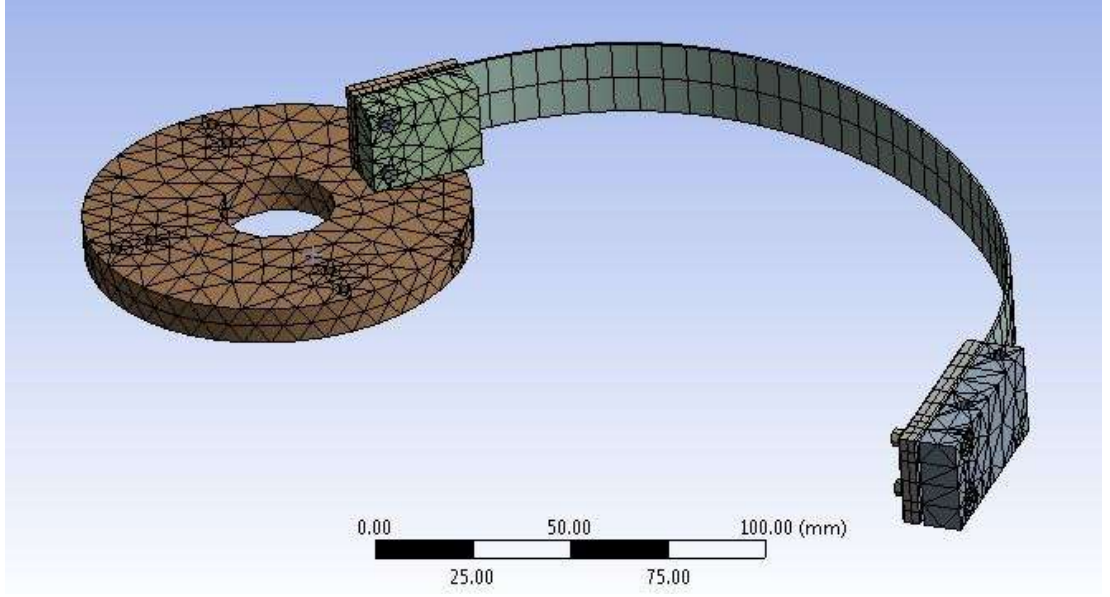
Şekil 4.2 : Analizde belirlenen sınırlar, A sabit B döner mesnet

Sınır şartlarını belirledikten sonra parçaya yüklemelerin yapılması gerekmektedir yani sisteme giriş belirtmemiz gerekmektedir. Yüklemeler noktasal bir basınç, gerilme analizlerinde yer değiştirme, termal analizlerde sıcaklık, akışkan analizlerinde hız formunda olabilir. Yükler bir noktaya, bir kenara, bir yüzeye ve hatta toplam cisme uygulanabilir. Yükler model geometrisi ve malzeme özelliklerinde kullanılan birim cinsinden tanımlanmalıdır. Bu sisteme vermiş olduğumuz giriş açısal yer değiştirmedir yani esnek elemanın uçlarından biri dönme eksenini etrafında 90 derece döndürülmektedir.



Şekil 4.3 : Analizde verilen giriş yükü, Z eksenini etrafında açısal yer değiştirme

Yüklemelerde bittikten sonra parçaların analize hazırlık sürecinde elemanlara bölünmesi gerekmektedir. Modelin elemanlara bölünmesi işlemi, model sürekliliğinin belirli sayıda ayrı parçalara veya diğer bir ifade ile sonlu elemanlara bölünmesidir. Daha çok sayıda eleman genel olarak daha iyi sonuçlar fakat daha uzun analiz zamanı demektir. Modelin elemanlara bölünmesi kullanıcı tarafından tek tek tanımlanarak yapılabileceği gibi ANSYS tarafından uygun seçenekler kullanılarak otomatik olarak da yapılabilir. Kullanıcı tarafından tek tek tanımlayarak elemanlara bölme işlemi uzun ve zor bir işlemken otomatik olarak elemanlara bölme işleminde gerekli tek şey model kenarları boyunca eleman yoğunluğunun veya eleman büyüklüğünün belirlenmesidir. Ayrıca kullanılan elemanın tipine bağlı olarak eleman özelliklerinin de tanımlanması gerekir. Modelde asıl kesin sonuçlar almak istediğimiz eleman esnek elemanlar olduğundan burada kullanacağımız mesh tipi “kuadratik” tip “mapped mesh” kullanılmıştır.



Şekil 4.4 : Modelin Ağ örülmüş hali

Genel olarak bir sonlu elemanlar çözücüsü üçe ayrılır. Bunlar ön-çözücü, matematik motoru ve son-çözücüdür. Ön-çözücü modeli okur ve modelin matematiksel şekilde formülize eder. Preprocessing kademesinde tanımlanan bütün parametreler ön-çözücü tarafından kontrol edilir ve herhangi bir şeyin eksik bırakıldığını bulursa matematik motorunun devreye girmesini engeller. Model doğruysa, çözücü devreye girerek eleman direngenlik matrisini oluşturur ve yer değiştirme, basınç gibi sonuçları üreten matematik motorunu çalıştırır. Sonuçlar, son-çözücü tarafından düğüm noktaları için deformasyon miktarı, gerilme, hız gibi değerleri üretir.

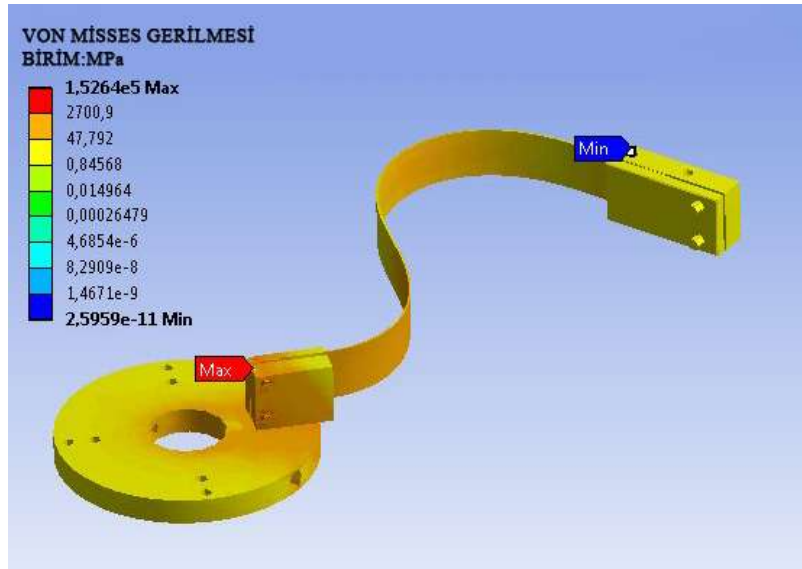
Son-çözücü bölümü; sonuçların okunduğu ve yorumlandığı bölümdür. Sonuçlar; tablo şeklinde, kontur çizimler şeklinde veya cismin deforme olmuş biçiminde sunulabilir.

Ayrıca animasyon yardımı ile modelin gerçek davranışı gözler önüne sunabilir. Yapısal tipteki problemlerin sunulmasında kontur grafikler genellikle en etkin yöntem olarak kullanılır. Postprocessor, x, y, z koordinatlarında hatta koordinat ekseninde belli bir açıdaki gerilme ve birim şekil değiştirmelerin hesaplanmasında kullanılabilir. Etkin gerilme ve birim şekil değiştirme sonuçlarını ile akma gerilme ve şekil değiştirme sonuçlarını da görmek mümkündür. Bunun dışında birim şekil değiştirme enerjisi, plastik şekil değiştirme miktarı da kolaylıkla görsel olarak elde edilebilir.

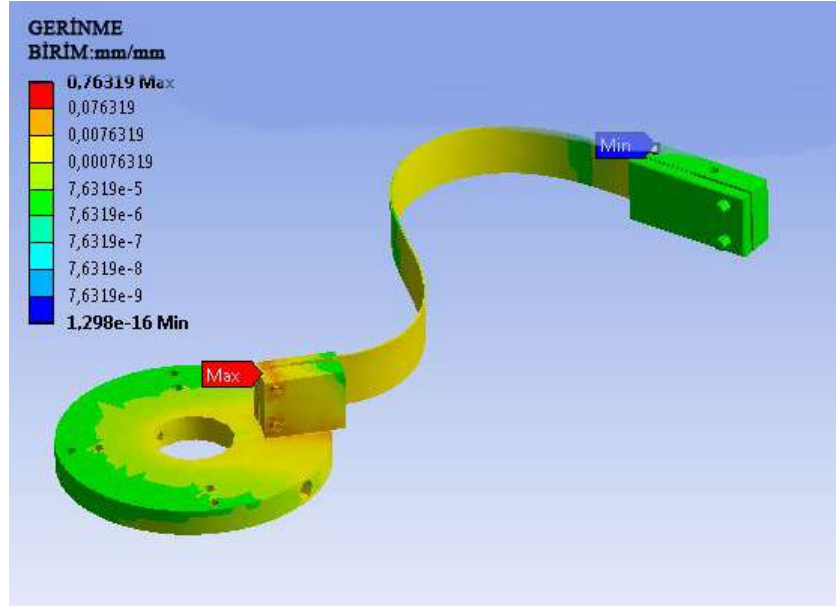
Kullanmış olduğumuz malzemedeki yüksek deformasyon göz önüne alındığında çözücünde “large deflection” (yüksek deformasyon) sekmesi işaretlenerek çözücünde ayarlama yapılır.

4.2.2.2 ANSYS’te Elde Edilen Çözüm

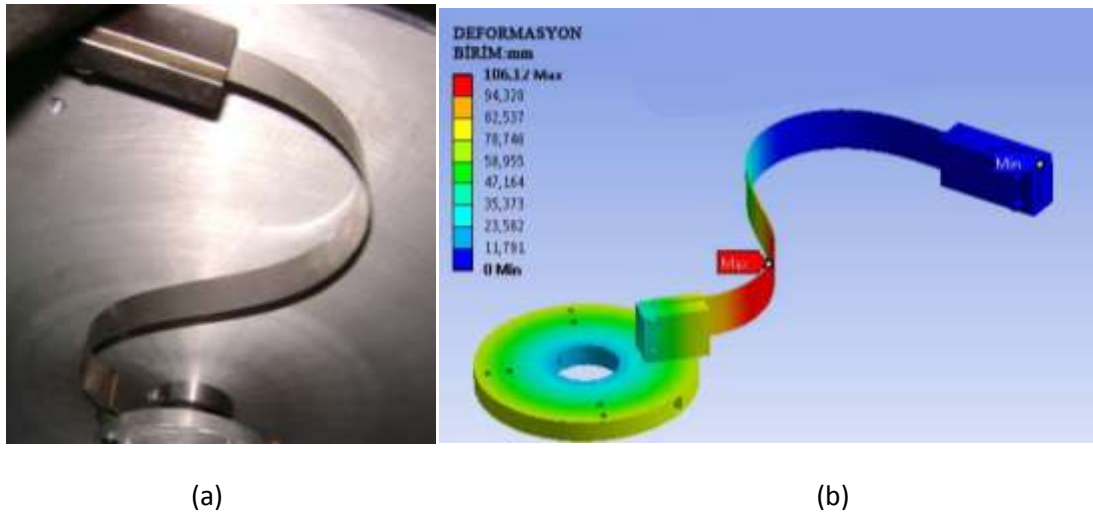
Yapılan hazırlıklar sonucunda esnek elemanın bir ucu sabitlenip diğer ucunun dönme eksenini etrafında 90 derece döndürüldüğünde elde edilen sonuçlar oldukça mantıklıdır. En yüksek gerilmeler esnek elemanı tutan elemanlar üzerinde meydana gelerek esnek eleman üzerindeki gerilmelerin kopma değerini geçmediğini fakat bazı noktalarda elastik deformasyonu aşarak plastik deformasyon bölgesine girdiği görülmektedir.



Şekil 4.5 : ANSYS ile elde edilen von misses gerilme sonuçları

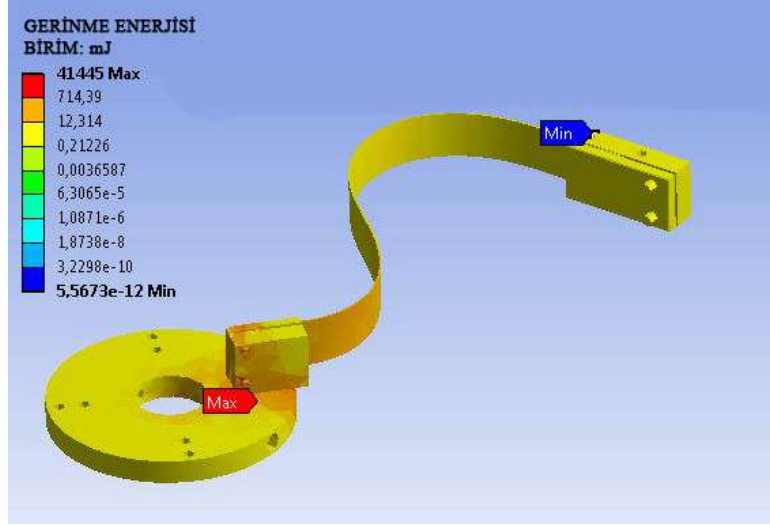


Şekil 4.6 : ANSYS ile elde edilen gerinme değerleri



Şekil 4.7 : Gerçek (a) ve ANSYS (b) ile elde edilen yerdeğiştirme

Şekil 4.5 'de görüldüğü gibi esnek eleman üzerinde en büyük zorlanma büküm noktalarında meydana gelmektedir. Bu değerler bize kullanılacak olan esnek elemanın ömrünün kısa olduğunu konusunda bize fikir vermektedir.

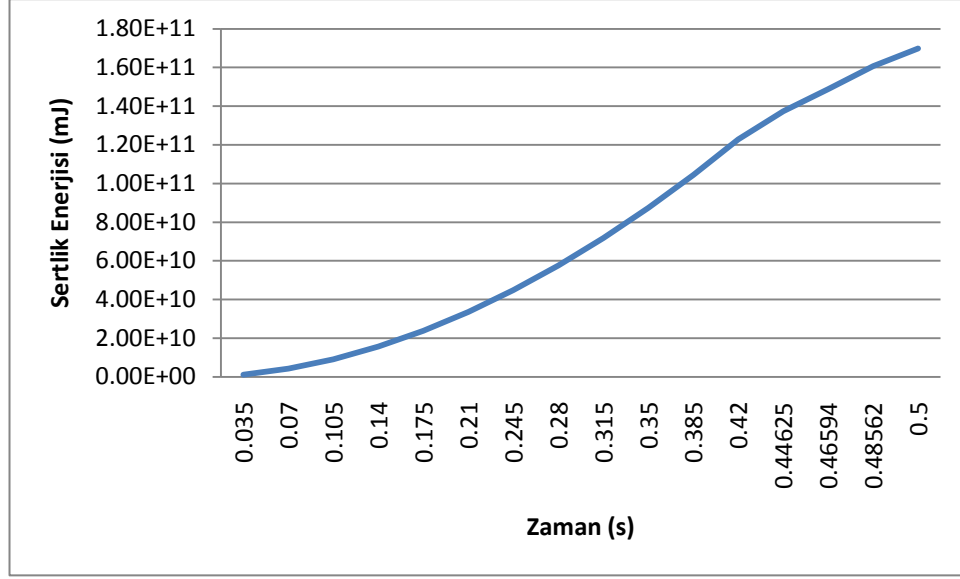


Şekil 4.8 : ANSYS ile elde edilen gerinme enerjisi değerleri

Şekil 4.8’de esnek eleman üzerinde depolanan gerinme enerjisinin esnek eleman üzerindeki dağılımı görülmektedir. Bu şekilden çıkarılacak olan sonuç deformasyonun en fazla olduğu yerler asıl enerjinin depolandığı yerlerdir. Buradaki problem parçanın ömrünü maksimum tutarak esnek elemandan en yüksek düzeyde enerji depolamasını sağlamaktır.

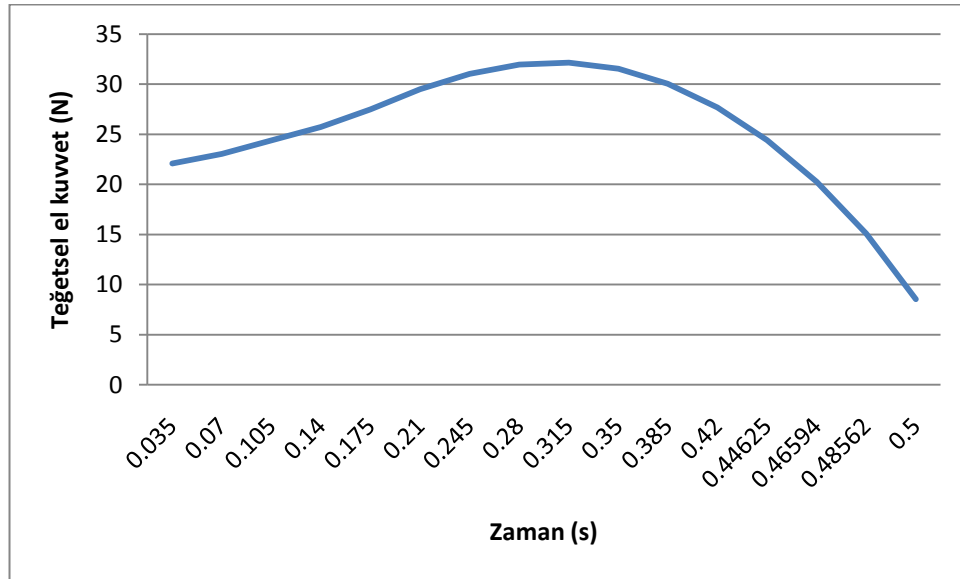
Analizlerin asıl amacı esnek elemanın döner tablayı döndürmek için üreteceği kuvvetin bulunmasıdır. ANSYS bu konuda birkaç alternatif daha sunmaktadır. Bunlardan biri gerinme enerjisidir. Parça üzerine yerleştirilecek bir enerji probu parça üzerindeki gerinme enerjisi değişimini gösterecektir. Buradan elde edilecek gerinme enerjisi kullanılarak gerekli hesaplamalarla kuvvet elde edilebilir.

Bir diğer yöntem ise esnek elemanımızı yay olarak düşünürsek üzerinde depolanan potansiyel enerji (sertlik enerjisi) şekil 4.9 da gösterildiği gibi elde edilebilir.



Şekil 4.9 : Parçanın sertlik enerjisi değeri

Ama bize direk sonucu verebilecek çözüm analizde sabitlediğimiz çeneye reaksiyon kuvvetini ölçebilecek bir prob yerleştirdiğimizden ondan alacağımız grafikdir böylece tablaya uygulanacak olan değişken karakterli kuvvet grafiği elde edilmiş olur. Şekil 4.10'da elde edilen kuvvet grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Tablaya etki eden teğetsel kuvvet

4.3 Sistemin Simulink İle Modellenmesi

Sistemimizi yine gözden geçirecek olursak, öncelikle tahrik mili sabit hızla dönmektedir. Tabla sabitlendiğinde tahrik mili ile tabla arasındaki esnek eleman deforme olup üzerinde enerji depolamaktadır. Tablayı sabitleyen mekanizma geri çekildiğinde esnek eleman üzerinde depolanan enerji boşalır ve tablayı harekete geçirir. Tabla sönümleyici elemana çarpar ve yavaşlar. Sabitleme mekanizması tablanın konumunu önce 90 dereceye çeker sonra sabitler. Buradanda anlaşılacağı gibi sistemde modellenmesi gereken 3 alt sistem vardır bunlar,

1. Esnek elemanın uyguladığı kuvvet ile ivmelenme,
2. Yay ve sönümleyici sistem ile yavaşlama
3. Sabitleme mekanizmasıyla tablanın 90 dereceye hareketi.

İlk kısım olan tablanın serbest dönmesini modellerken kullanacağımız denklem;

$$M = J \times \alpha \quad (3.1)$$

‘dır. Yani burada sisteme girilen moment M, tablanın ataleti J’yi yenerek α açısal ivmesine neden olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, uygulanan kuvvetin nonlineer olması ve tablanın konumuna göre değişmesidir. Dönen alüminyum tablanın etrafındaki ağırlıklarla birlikte ataleti katı modelleme programından hesaplandığında bulunan değer 20532937 gr.mm^2 ‘dır.

İkinci kısımda tabla belirli bir açıdan sonra sönümleyici ve yay ile karşılaştığından salınıma girecektir. Burada kullanılan sönümleyici elemanın uzunluğu 70mm’dir ve sönümlemenin uygulandığı yarıçap 230 mm’dir. Buradan tablanın hangi derecede sönümleyiciyle karşılaştığını şöyle hesaplarız,

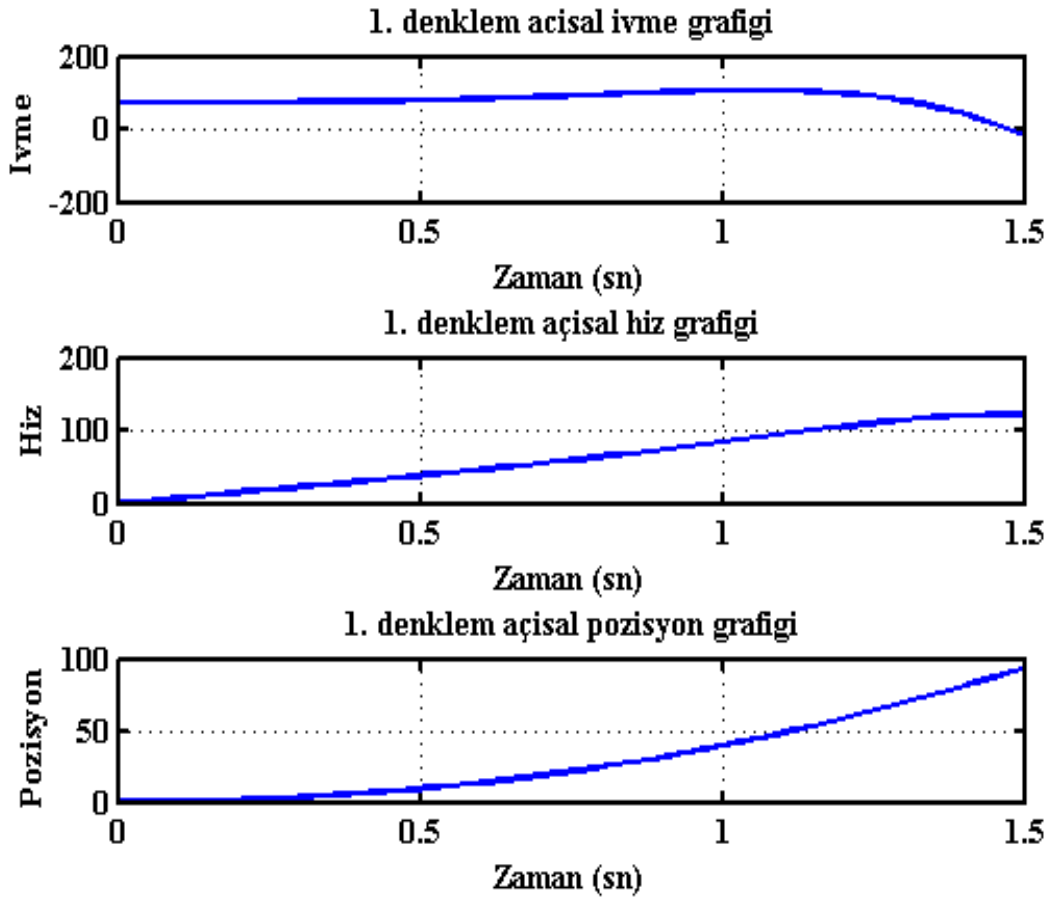
$$\tan^{-1}(70/230) = 17.7^\circ$$

Yani tabla 72.3 dereceden sonra 2. Denkleme göre hareket edecektir. Burada bahsi geçen denklem,

$$M = J\alpha + b\omega + k\theta \quad (3.2)$$

dir. Burada b sönümleme katsayısı, ω açısal hız, k yay katsayısı ve θ açısal yer değiştirmedir.

Tabla sönümleme elemanına çarptıktan sonra salınıma girerek sönümleme elemanının sıfır konumuna oturacaktır buda 72.3 derece olmaktadır. İşte bu noktada

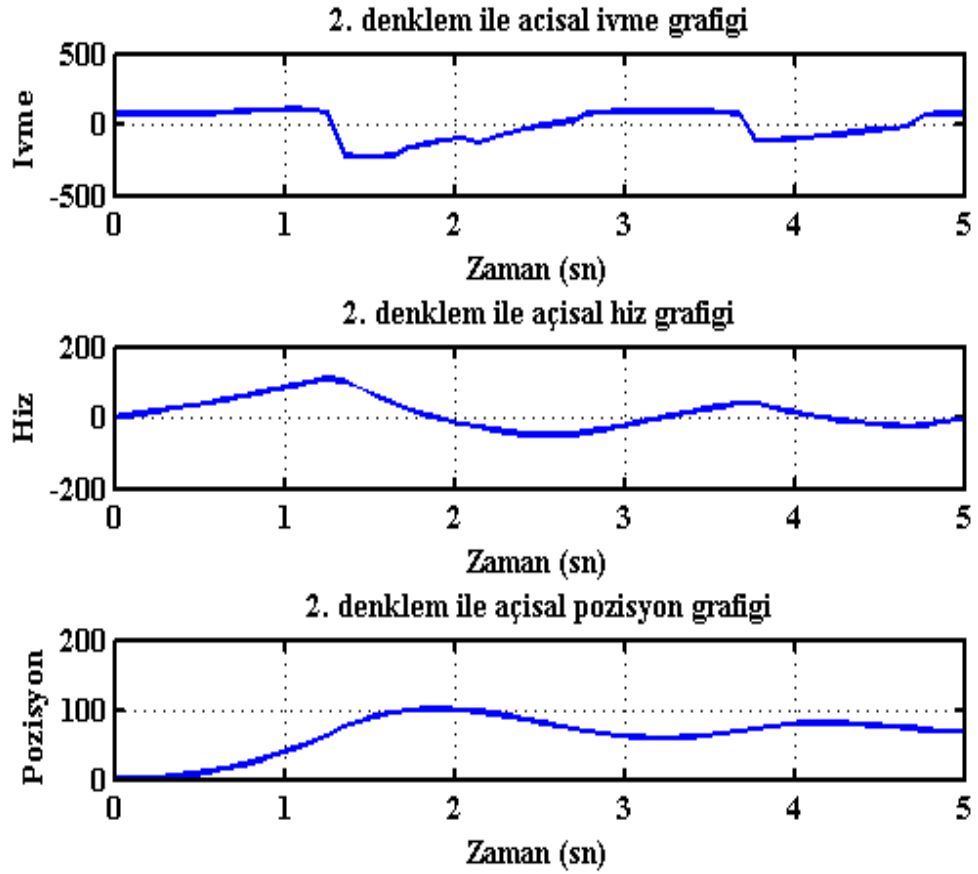


Şekil 4.12 : 1. Denklemin ivme hız ve pozisyon grafiği

Tablanın pozisyonu 72.3 dereceye geldiğinde kullanılan anahtar, yay ve sönüm katsayısını devreye sokmaktadır. Burada anahtarlama elemanı denklemler arasındaki geçişi sağlamak için kullanılmıştır. Sönümleyicinin gerçek sistemdeki gibi modellenebilmesi için yataydaki deformasyonunu bulacak denklem;

$$x = 0.07 - 0.23 \sin(\theta) \quad (4.3)$$

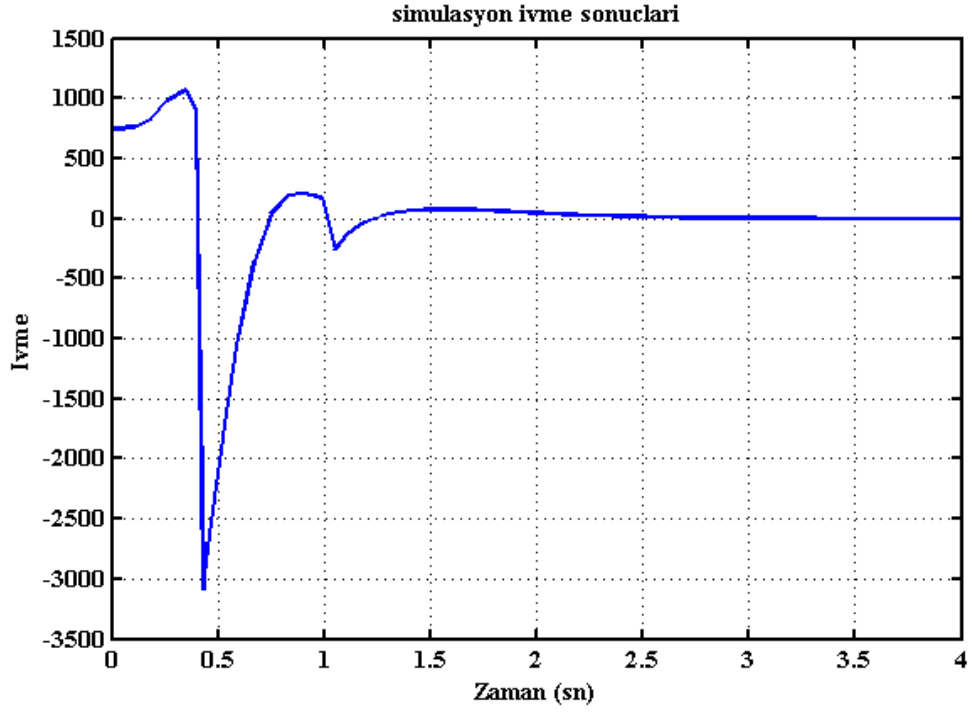
Böylece sönümleyicini yapmış olduğu deformasyon elde edilmiş olur. Sistem bundan sonra basit bir kütle yay ve sönümleyici sistemi olarak çalışmaktadır. Modelleme bu basitleştirme göz önüne alınarak yapılmış ve bu denklemin simülasyona dahil edilmesi anahtar üzerinden sağlanır. Şekil 3.12 de sistemin sönümleyici dahil edilmiş modelinin sonuçları görülmektedir. Burada pozisyona dikkat edilirse tabla 70 derecenin etrafında salınım yapmaktadır, bunun nedeni yay sönümleyici sisteminin ilk konumunun 72.3 olmasıdır.



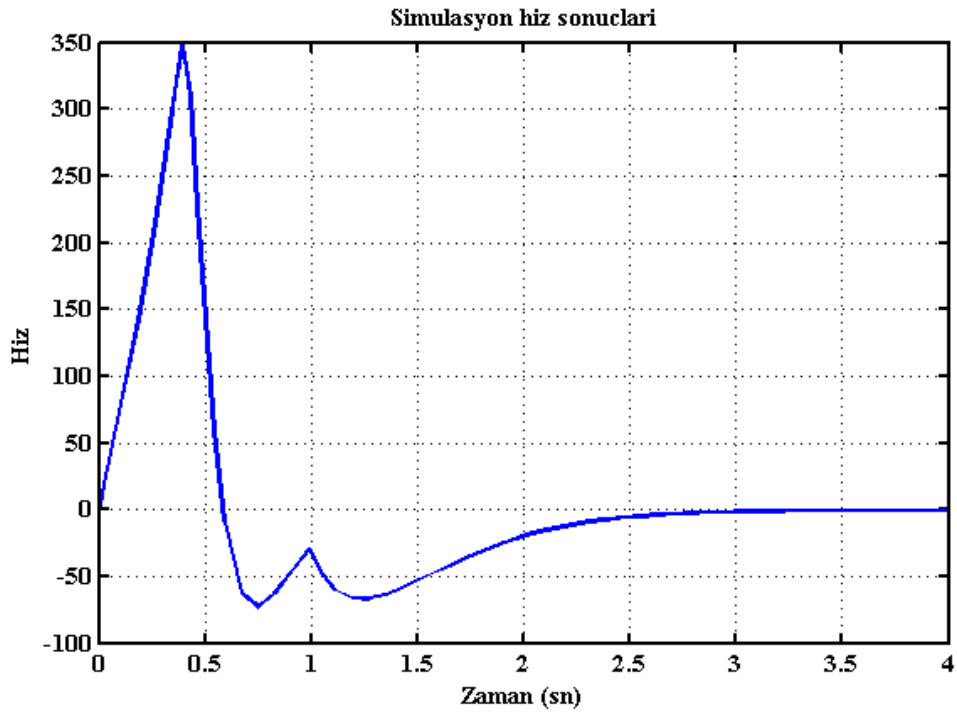
Şekil 4.13 : 2. Denklemin ivme, hız ve pozisyon grafikleri

İlk iki denklem takımının verdiği sonuçlar nonlineer bir kuvvet girdisine uygun görünmektedir. Çünkü sistem basamak giriş gibi sabit bir kuvvete mağruz kalmadığından, ivme ve hız değerleri oldukça değişkendir.

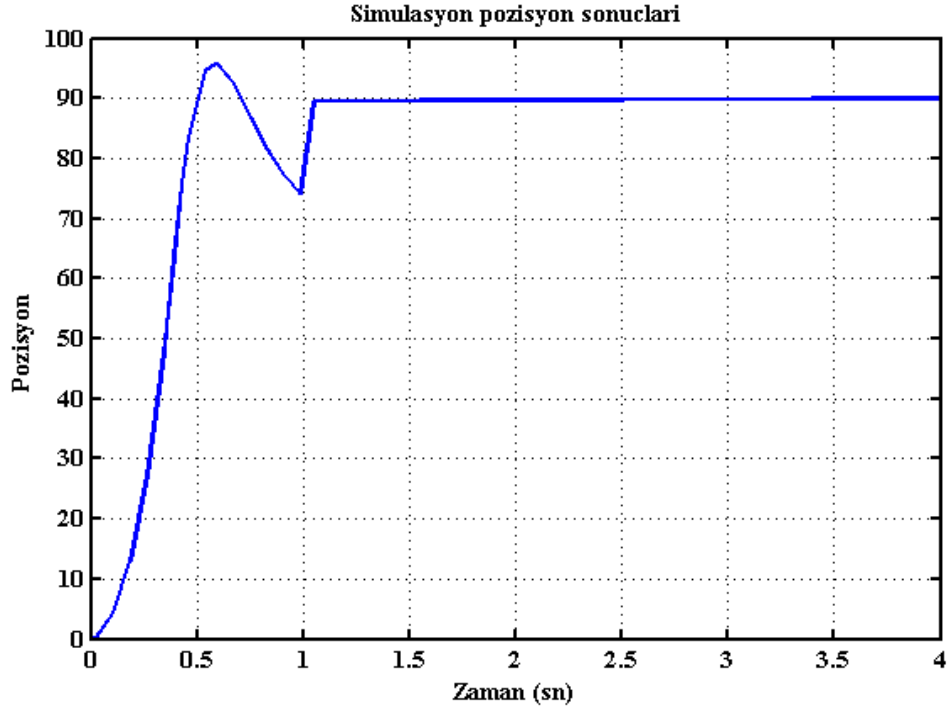
Sistemin simulink modelinde üçüncü kısım olan merkezleme mekanizmasının modellenmesi dışarıdan tablanın pozisyonuna girdi yapılmış gibi olacaktır. Yani tablanın pozisyonunu 90 dereceye hareket ettirilecektir. Modelde bu hareketi verebilmek için tablanın pozisyonunu değiştirebilecek bir anahtar ve sinyal üretici kullanılmıştır.



Şekil 4.14 : Simulink modelinden elde edilen açısal ivme grafiği



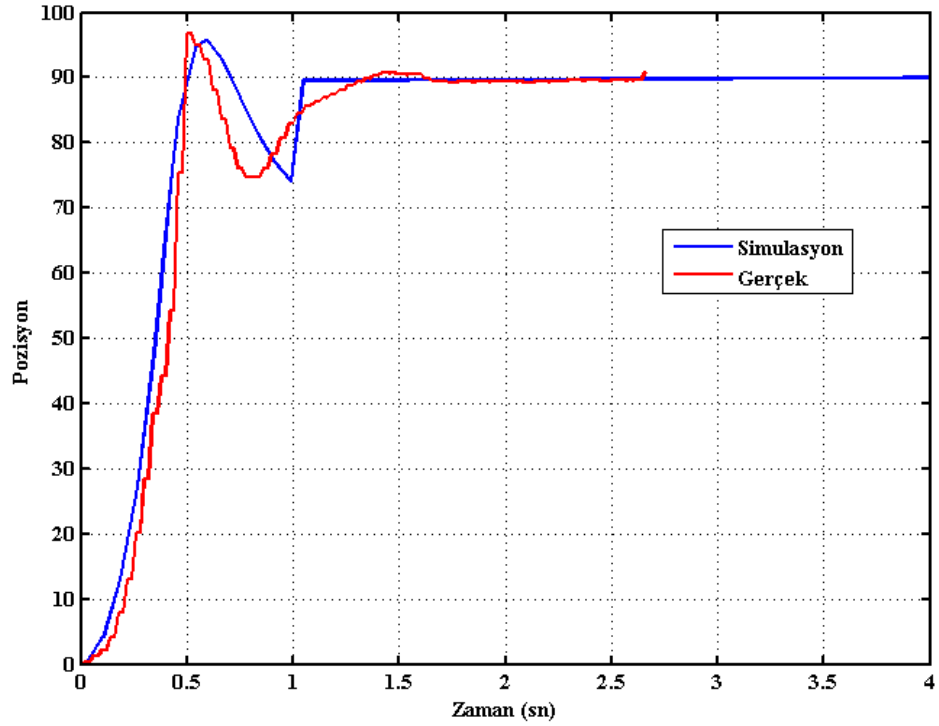
Şekil 4.15 : Simulink modelinden elde edilen açısal hız grafiği



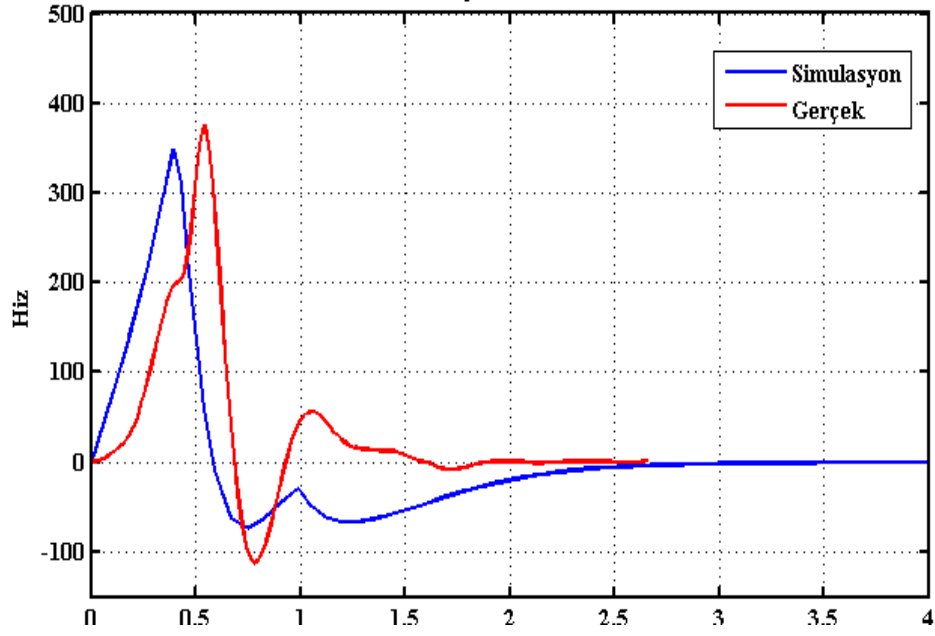
Şekil 4.16 : Simulink modelinden elde edilen açısai pozisyon grafiğı

4.4 Karşılaştırmalar

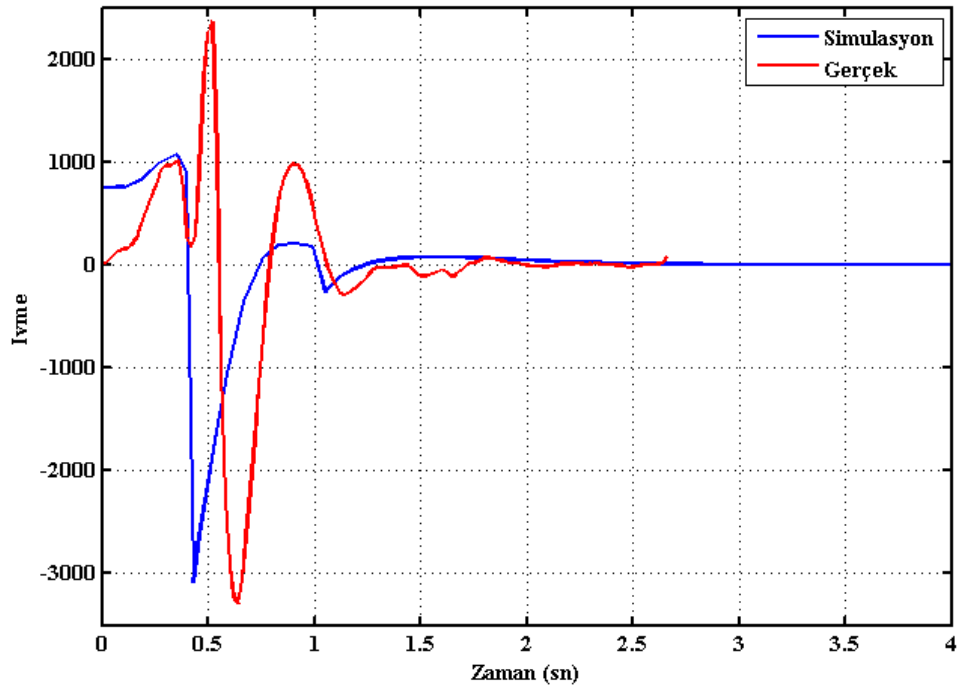
Elde edilen teorik grafiklerle döner tabladan toplanan veriler karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar şekil 4.17, şekil 4.18 ve şekil 4.19’da gösterilmektedir.



Şekil 4.17 : Pozisyonun gerçek ve simulasyon değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.18 : Hızın gerçek ve simulasyon değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.19 : İvmenin gerçek ve simulasyon değerlerinin karşılaştırılması

Elde edilen simülasyon ve ölçüm değerlerinin karşılaştırmalarına bakarsak sonuçların birbiri üzerine tam oturmadığını görmekteyiz. Bu sonuçların bir çok nedeni vardır. Bunlardan en önemlisi simulasyonda kullanılan sönümleme katsayısı ve yay katsayısının lineer alınmasıdır. Burada sönümleyici olarak kullanılan sistem pnömatik piston ve kısma valfinden oluşmaktadır. Burada kısma valfi fazla kısıldığında piston yay görevi görmektedir aynı şekilde pistona gelecek yük darbeleri olursa kısma valfinin çıkışında gaz sıkışması olmakta ve yine piston bir kısım enerjiyi depolarken bir kısım enerjiyi depolayıp geri vermektedir. Yani böyle bir sistemi modellemek oldukça zordur. Aynı şekilde sistemin 3 alt sistemden oluşması ve bu sistemlerin sırasıyla modele etki etmesi büyük bir zamanlama problemidir. Yine simulasyonda kullanılan ANSYS modelinden elde edilmiş kuvvet eğrisinin elde edilmesinde kullanılan malzeme standart malzemelerden elde edilmiş değerlerdir gerçekte bu malzeme değerleri birbirine yaklaşıktır ama birbiriyle aynı değerlere sahip değildir.

Yukarıda bahsedilen sorunlar simulasyondan kaynaklanan sorunlardır. veri toplama kısmında ise merkezleri bulunan işaretleyicilerin hassasiyetleri çekim kalitesine ve ışığın yansımaya göre değişmektedir buda tabla üzerinde yapılan pozisyon belirlenmesinde sorun yaratabilmektedir. Elde ettiğimiz hız ve ivme değerleri pozisyondan türetilmiştir yani pozisyon hesaplanırken yapılacak bir hata büyüyerek ivmeye yansımaktadır.

Bu tez çalışmasında öncelikli amaç esnek mekanizmalarla kesik hareketi sağlayacak mekanizmanın tasarlanması, üzerinden ölçümler alınarak işlevliğinin gözlemlenmesi ve geliştirme çalışmalarında araştırmacıya yol gösterebilecek bir modelinin oluşturulmasıdır. Fakat tasarımdaki bazı eksiklikler modelin sonuçlarına yansımıştır.

Tez çalışmasının sonucunda esnek mekanizmalar kullanılarak kesikli hareketin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır, fakat ilerleyen çalışmalarda mekanizmanın daha kompakt hale getirilmesi, havalı sönümleyici yerine sönümleme karakteri belirli olan hidrolik sönümleyici kullanılması, sabitleme mekanizmasının daha verimli hale getirilmesi ve esnek elemanların ömrünü arttıracak çalışmalar üzerinde durulması gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Howell, L.L.**, 2001, *Compliant Mechanisms*, First Edition, John Wiley, New York.
- [2] **Acer, M.**, 2007, “Design And Modeling Of A Compliant Mechanism” , Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi, Tuzla, İstanbul
- [3] **Sathyamoorthy, M.**, *Nonlinear Analysis of Structures*, CRC Press, Boca Raton, pp. 2-10.
- [4] **Tantanawat, T. ve Kota, S.**, 2007, “Design of Compliant Mechanisms for Minimizing Input Power in Dynamic Applications”, *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 129, pp 1064-1075.
- [5] **Zoppi, M., Sieklicki, W., Molfino, R.**, 2008, “Design of a Microrobotic Wrist for Needle Laparoscopic Surgery”, *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 130, Issue. 10, 102306
- [6] **Moon, Y.M.**, “Bio-mimetic design of finger mechanism with contact aided compliant mechanism”, *Mechanism and Machine Theory*. v42 i5. 600-611, 2007.
- [7] **Halverson, P.**, 2010, “Modeling, Design, and Testing of Contact-aided Compliant Mechanisms in Spinal Arthroplasty”, Doktora Tezi, Brigham Young University, Provo, Utah
- [8] **Pendleton, T.**, 2006, “Design and Fabrication of Rotationally Tristable Compliant Mechanisms”, Yüksek Lisans Tezi, Brigham Young University, Provo, Utah
- [9] **Sung, E., Slocum, H., Ma R., Bean, J., Culpepper, M.**, 2011, “Design of an Ankle Rehabilitation Device Using Compliant Mechanisms” *ASME Journal of Medical Devices*, vol. 5, Issue 1, 011001
- [10] **Saggere L. ve Kota S.**, 2001, “Synthesis of Planer Compliant Four-Bar Mechanisms for Compliant egment Motion Generation”, *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 123, pp 535-541.
- [11] **Yu, Y. Q, Howell, L.L., Lusk, C., Yue, Y., He, M. G.**, 2005, “Dynamic Modeling of Compliant Mechanisms based on the Pseudo- Rigid-Body Model”, *ASME Journal of Mechanical Design* , Vol. 127, pp 760-765 .
- [12] **Url-1** <http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_table>, giriş zamanı 03.04.2011
- [13] **Castleman, K.R.**, 1996, *Digital Image Processing*. Englewood Cliffs, N.J, Prentice Hall.
- [14] **Young, I.T., Gerbrands, J.J., Viliet, L.J.V.**, 1998, *Fundamentals of Image Processing*, Delft University of Technology
- [15] **Gonzalez, R.C., Woods, R.E.**, 2002, *Digital Image Processing*, 3rd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NewJersey.

- [16] **Howell, L. L., Midha, A., and Norton, T. W.**, 1996, “Evaluation of Equivalent Spring Stiffness for Use in a Pseudo-Rigid-Body Model of Large-Deflection Compliant Mechanisms,” *ASME Journal of Mechanical Design*, 118(1), pp. 126–131.
- [17] **Howell, L. L., and Midha, A.**, 1995, “Parametric Deflection Approximations for End Loaded, Large-Deflection Beams in Compliant Mechanisms,” *ASME Journal of Mechanical Design*, 117(1), pp. 156–165.
- [18] **Bona, F. And Zelenika, S.**, 1997, “A generalized elastica-type approach to the analysis of large displacements of spring-strips”, *Proc. Instn. Mech. Engrs. Part C*, 211, 509–511
- [19] **Euler, L.**, 1744, *Methodus Inveniendi Lineas Curvas* (Appendix 1, *De Curvis Elasticis*). Lausanne and Geneva, English Translation by W. A. Oldfather, C.A. Ellis and D. M. Brown (1933). *Isis*, Vol.20, pp. 72-160.
- [20] **Url-2** <<http://www.makinateknik.org/cad-cam-cae/ansys/index.php>>, giriş zamanı 03.04.2011

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Samet Adem CÖMERT

Doğum Yeri ve Tarihi: Eskişehir, 22/05/1986

Adres: Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş Kampüsü,
Barbaros Bulvarı, oda no: C-204Yıldız, İstanbul, 34349

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü (2004-2008)