



**OPTİK GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ İÇİN
DEĞİŞKEN ODAKLI SİSTEM TASARIMI**

Ebru GENÇ

Yüksek Lisans Tezi

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet POLAT

AĞUSTOS-2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OPTİK GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ İÇİN
DEĞİŞKEN ODAKLI SİSTEM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru GENÇ

(151134104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Temmuz 2018

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Ağustos 2018

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet POLAT (F.Ü.) 

Diğer Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇELİK (F.Ü.) 

Dr. Öğr. Üyesi Zeki OMAÇ (M.Ü.) 

AĞUSTOS-2018

ÖNSÖZ

Bu çalışmamın başından sonuna kadar beni destekleyen, yeni fikirlere ve projelere açık olan, engin bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet POLAT’a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Seminer ve tez konusu seçiminde beni yönlendiren, bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan çok değerli birim amirim Sayın Dr. Bülent ÖZKAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Seminer ve tez çalışması süresince beni motive eden ve teknik anlamda bilgi desteği sağlayan Sayın Tayfun ÇELİK'e ve bütün birim arkadaşlarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Seminer ve tez kapsamında yapılan çalışmalar TÜBİTAK SAGE tarafından desteklenmektedir, böyle bir desteğe sahip olmaktan onur duyarım.

EBRU GENÇ

ELAZIĞ-2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsamı	1
1.2. Optik Görüntüleme Sistemleri ve Bu Sistemlerde Kullanılan Temel Kavramlar	2
1.2.1. Işık	2
1.2.2. Elektromanyetik Spektrum	3
1.2.3. Optik	3
1.2.4. Optik Tasarım	4
1.2.5. Objektif	5
1.2.6. Odak Uzaklığı	5
1.2.7. Görüş Açısı	5
1.2.8. Optomekanik Tasarım	6
1.2.9. Değişken Odaklı Sistemler	6
1.2.10. Sürekli Odaklı Sistemler	6
1.2.11. Değişken Odaklı Sistemler Üzerine Yapılan Mevcut Çalışmalar	7
2. SİSTEM TASARIMI.....	9
2.1. Sistemin Gereksinimlerinin Belirlenmesi	9
2.2. Optik Tasarım	9

2.3.	Optomekanik Tasarım	12
2.4.	Hareket Mekanizması Sentezi	15
2.4.1.	Zum Mekanizması	15
2.4.2.	Odak Mekanizması	21
2.5.	Sistem Bütünü Tasarımı	24
2.1.	Sistemin Bütünlenmesi	29
3.	SİSTEM MODELLEME VE KONTROL	32
3.1.	Sistem Matematiksel Modeli	32
3.2.	Kontrol Sistem Tasarımı	49
4.	BİLGİSAYAR BENZETİMLERİ VE TESTLER.....	56
4.1.	Mekanizmaların Doğrulanması	56
4.2.	Kutup Yerleştirme ile Elde Edilen PID Kontrolcü Benzetim ve Testleri.....	61
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	73
KAYNAKLAR.....		75
ÖZGEÇMİŞ.....		77

ÖZET

Optik, elektro-optik ve optomekanik bileşenler kullanılarak izlenmek istenen hedeflerin görüntülenmesi için oluşturulan sistemler optik görüntüleme sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Farklı menzillerde bulunan hedefi net bir şekilde görüntülemek için değişken odaklı (zum) optik görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. ‘Zum sistemleri’ olarak da bilinen bu sistemlerin görüntü alabilmesi için objektifte bulunan mercekle gruplarının bazılarının doğrusal olarak hareket etmesi gerekir. Bu hareket elle ya da motor yardımı ile sağlanabilir. Hareketli mercek grupları içerdikleri ve hassas konum kontrolü gerektirdiği için bu sistemlerin optik ve mekanik tasarımı zordur. Bu çalışmada değişken odaklı görüntüleme sistemleri hakkında genel bilgiler verilerek, sistemi oluşturan en uygun mekanizma tipine karar verilerek sistemin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen sistem tasarımsal olarak doğrulanmıştır ve konum kontrolü çalışmaları yapılmıştır. Konum kontrolü ile ilgili çalışmalar hem benzetim ortamında (MATLAB/Simulink), hem de gerçek sistem üzerinde yapılarak, sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Değişken odaklı sistem, zum sistemleri, silindirik kam, kontrol

SUMMARY

VARIABLE FOCUS SYSTEM DESIGN FOR OPTICAL IMAGING SYSTEMS

Optical imaging systems are used to visualize the targets to be monitored using optical, electro-optic and optomechanical components. Variable focus (zoom) optical imaging systems are used to clearly visualize the target at different distances. These systems, also known as 'zoom systems', require some of the lens groups in the lens to move linearly in order to be able to capture images. This can be done manually or with the help of a motor. The optical and mechanical design of these systems is difficult because they contain moving lens groups and require precise position control. In this study, general information about variable focus imaging systems was given and the system was designed and manufactured by deciding on the most appropriate mechanism to form the system. The produced system has been confirmed by design and position control studies have been carried out. The studies related to position control were made both in the simulation environment (MATLAB/Simulink), and on the real system and the results were evaluated.

Keywords: Variable focus system, zoom systems, cylindrical cam, control

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Optik görüntüleme sistemi	2
Şekil 1.2 Elektromanyetik spektrum	3
Şekil 1.3. Bilgisayar ortamında optik tasarım örneği.....	5
Şekil 1.4 Optomekanik tasarım örneği [1]	6
Şekil 1.5 10X zum oranına sahip bir sistemin mekanik tasarımı [2]	7
Şekil 1.6 Endüstride bulunan sürekli odaklı görüntüleme sistemi [8]	8
Şekil 2.1 Optik tasarım.....	10
Şekil 2.2 Konfigürasyon hareketlerinin gösterimi	11
Şekil 2.3. 1. mercek grubunun optomekanik tasarımı.....	13
Şekil 2.4. 2. mercek grubunun optomekanik tasarımı.....	13
Şekil 2.5. 3. mercek grubunun optomekanik tasarımı.....	14
Şekil 2.6 4. mercek grubunun optomekanik tasarımı.....	14
Şekil 2.7 Zum mekanizması [11]	16
Şekil 2.8 Kam mekanizmalarının genel yapısı [12]	16
Şekil 2.9 Silindirik kam.....	17
Şekil 2.10 İzleyicinin konumuna göre silindirik kam [13].....	18
Şekil 2.11 Hareket eğrisi örneği [13]	18
Şekil 2.12 Svaj diyagramı örneği [14]	19
Şekil 2.13 Doğru ve daire yayı-birleşik eğriler [15]	20
Şekil 2.14 Tasarlanan silindirik kam.....	21
Şekil 2.15 Odak mekanizması [11]	22
Şekil 2.16 Odak mekanizması tasarım örneği [4]	22
Şekil 2.17 Vidalı mil [17].....	23
Şekil 2.18 Sabit kısım.....	24
Şekil 2.19 Doğrusal yatak	25
Şekil 2.20 İnce kesit rulman	25
Şekil 2.21 Alt tabla ve tutucu ayakların tasarımı	26
Şekil 2.22 Dişli tasarımının ve zum motorunun konumlandırılması	27
Şekil 2.23 Odak mercek grubu hareketi için seçilen motorun konumlandırılması	27
Şekil 2.24 Zum mercek grubunun konumlandırılması.....	28

Şekil 2.25 Hareketsiz mercek gruplarının konumlandırılması.....	28
Şekil 2.26 Odak mercek grubun bütünlenmesi	29
Şekil 2.27 Hareketli mercek gruplarının bütünlenmesi.....	29
Şekil 2.28 Doğrusal yatağın bütünlenmesi.....	30
Şekil 2.29 Silindirik kamın bütünlenmesi	30
Şekil 2.30 Sistemin bütünlenmesi	31
Şekil 2.31 Sistemin bütünlenmesi	31
Şekil 3.1 Giriş $u(t)$ çıkış $y(t)$ olan dinamik sistem	32
Şekil 3.2 Matlab® system identification toolbox® arayüzü.....	34
Şekil 3.3 Sistem tanımlama arayüzünde bulunan model tipi seçenekleri	35
Şekil 3.4 Simulink® gerçek zamanlı test düzeneği [19].....	36
Şekil 3.5 Değişken odaklı görüntüleme sistemi için hazırlanan gerçek zamanlı test sistemi.....	36
Şekil 3.6 Değişken odaklı görüntüleme sistemi için hazırlanan gerçek zamanlı test sistemi.....	37
Şekil 3.7 Odak mekanizması için üretilen PRBS.....	38
Şekil 3.8 Odak mekanizması için üretilen PRBS.....	38
Şekil 3.9 Zum mekanizması için üretilen PRBS.....	39
Şekil 3.10 Zum mekanizması için üretilen PRBS	39
Şekil 3.11 Odak mekanizmasına uygulanan PRBS sinyali ve sistemin cevabı	40
Şekil 3.12 Zum mekanizmasına uygulanan PRBS sinyali ve sistemin cevabı.....	40
Şekil 3.13 Sistem tanımlama için veri toplarken kullanılan simulink® modeli	41
Şekil 3.14 Sistem transfer fonksiyonunun genel yapısı	42
Şekil 3.15 Sistem tanımlama işlemi	43
Şekil 3.16 Process model cevabı	44
Şekil 3.17 Açık çevrimli kontrol sistemi.....	49
Şekil 3.18 Kapalı çevrimli kontrol sistemi.....	49
Şekil 3.19 Kontrol sisteminin genel yapısı.....	50
Şekil 3.20 Zum mekanizması kontrol sistem tasarımı	53
Şekil 3.21 Odak mekanizması kontrol sistem tasarımı	53
Şekil 3.22 Zum mekanizması için kontrolcünün gerçek zamanlı test edilmesi	54
Şekil 3.23 Odak mekanizması için kontrolcünün gerçek zamanlı test edilmesi	55
Şekil 4.1 Kam mekanizmasının tasarımı.....	56

Şekil 4.2 Kam mekanizmasının doğrulanması	57
Şekil 4.3 Enkoderin saydığı değer.....	57
Şekil 4.4 Dönüş açıları	58
Şekil 4.5 Tur sayısı.....	58
Şekil 4.6 Odak mekanizmasının doğrulanması	59
Şekil 4.7 Odak motoru enkoder değeri.....	60
Şekil 4.8 Odak motor mili tur sayısı.....	60
Şekil 4.9 Doğrusal potansiyometre ile okunan konum değişimi.....	61
Şekil 4.10 Benzetim için oluşturulan simulink modeli	62
Şekil 4.11 Kam mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	63
Şekil 4.12 Kam mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	63
Şekil 4.13 Kam mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	64
Şekil 4.14 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	65
Şekil 4.15 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı....	66
Şekil 4.16 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	66
Şekil 4.17 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	67
Şekil 4.18 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	68
Şekil 4.19 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı.....	69
Şekil 4.20 Ziegler-Nichols, $K_p=4$ iken kam mekanizmasının tepkisi.....	70
Şekil 4.21 Ziegler-Nichols, $K_p=5$ iken kam mekanizmasının tepkisi.....	70
Şekil 4.22 Ziegler-Nichols, $K_p=5$ iken kam mekanizmasının tepkisi.....	71
Şekil 4.23 Ziegler-Nichols, $K_p=7$ iken kam mekanizmasının tepkisi.....	71
Şekil 4.24 Ziegler-Nichols, $K_p=7$ iken kam mekanizmasının tepkisi.....	72

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Konfigürasyon tablosu.....	10
Tablo 2.2. Mercek çap ve kalınlıkları	12
Tablo 3.1 Zum mekanizması için process model cevapları.....	45
Tablo 3.2 Odak mekanizması için process model cevapları.....	46
Tablo 3.3 Kodlarla hesaplanan zum mekanizması modelleri [21]	47
Tablo 3.4 Kodlarla hesaplanan odak mekanizması modelleri [21]	48
Tablo 3.5 Zum mekanizması için kontrol parametreleri.....	53
Tablo 3.6 Odak mekanizması için kontrol parametreleri.....	53

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

PID	:Proportional plus Integral plus Derivative (Oransal-İntegral-Türevsel)
FOV	: Field of View (Görüş Açısı)
PRBS	: Pseudorandom Binary Sequence (Sahte Rastgele İkili Ardışık Sinyal)
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
K_t	: Motor tork sabiti ($\text{kgmm}^2/\text{s}^2\text{A}$)
j	: Eylemsizlik momenti (kgmm^2)
B	: Sürtünme (kgmm/s)
K_p	: Oransal kazanç ayar parametresi
K_i	: İntegral kazanç ayar parametresi
K_d	: Türev kazanç ayar parametresi
G	: Kapalı çevrim kontrol sistemi transfer fonksiyonu
G_m	: Kontrol edilecek sistem modelinin tranfer fonksiyonu
G_k	: Kontrocü transfer fonksiyonu
K_{pp}, T_p	: Proses model parametreleri
$D_{3(s)}$	: Kutup yerleştirmede kullanılan ideal karakteristik denklem
w_c	: Doğal frekans (rads^{-1})
ζ	: Sönüm oranı
T_s	: Yerleşme zamanı (s)

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Kapsamı

Optik, elektro-optik ve optomekanik bileşenler kullanılarak izlenmek istenen hedeflerin görüntülenmesi için oluşturulan sistemler optik görüntüleme sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

Farklı menzillerde bulunan hedefi net bir şekilde görüntülemek için değişken odaklı (zum) optik görüntüleme sistemleri kullanılmaktadır. 'Zum sistemleri' olarak da bilinen bu sistemlerin görüntü alabilmesi için objektifte bulunan mercek gruplarının bazılarının doğrusal olarak hareket etmesi gerekir. Bu hareket elle ya da motor yardımı ile sağlanabilir. Hareketli mercek grupları içerdikleri ve hassas konum kontrolü gerektirdiği için bu sistemlerin optik ve mekanik tasarımı zordur.

Bu tezde, farklı menzillerde bulunan hedeflerin görüntülenmesi amacıyla kullanılacak bir sistemin mekanik tasarımı ve değişken odak kontrollerinin yapılması amaçlanmaktadır.

Yapılan tez çalışmasının içeriği özetlenir ise;

Bölüm 1'de, optik sistemler hakkında kısa bir bilgi verilerek, tezin amacı belirlenmiş ve konu üzerine yapılan mevcut çalışmalar incelenmiştir.

Bölüm 2'de, sistem gereksinimleri belirlenerek sistem tasarımı yapılmıştır.

Bölüm 3'de, sistemin matematiksel modeli oluşturularak ilgili kontrol sisteminin tasarımı yapılmıştır.

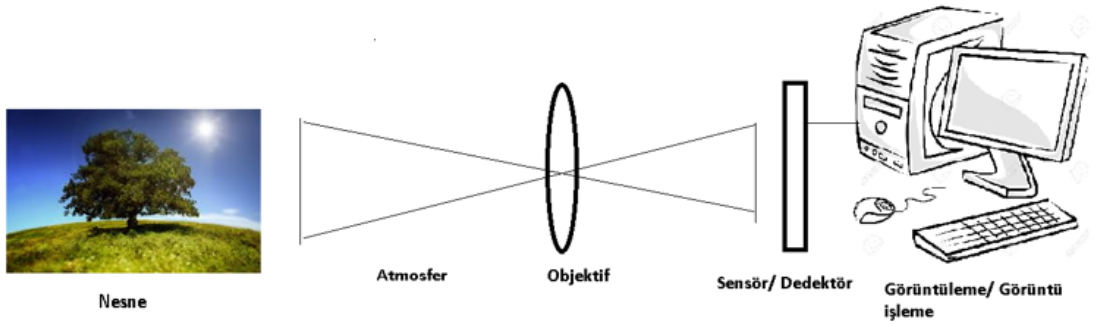
Bölüm 4'de, değişken odaklı sistem üzerine yapılan bilgisayar benzetimleri ve testler yer almaktadır.

Bölüm 5'de, çalışmayla ilgili sonuçlar sunulmaktadır.

1.2. Optik Görüntüleme Sistemleri ve Bu Sistemlerde Kullanılan Temel

Kavramlar

Optik sistemlerin temel yapıları Şekil 1.1.'de belirtilmiştir. Bu temel yapıya bakılırsa nesnelerden gelen ışınlar, optik sistemin objektif kısmından geçirilip düzenlenerek dedektörün algılayabileceği konuma getirilmektedir. Dedektör ise üzerine düşen görüntüyü elektriksel sinyale çevirerek görüntünün mikroişlemciler ve bilgisayar yardımı ile işlenebileceği duruma getirmektedir.



Şekil 1.1 Optik görüntüleme sistemi

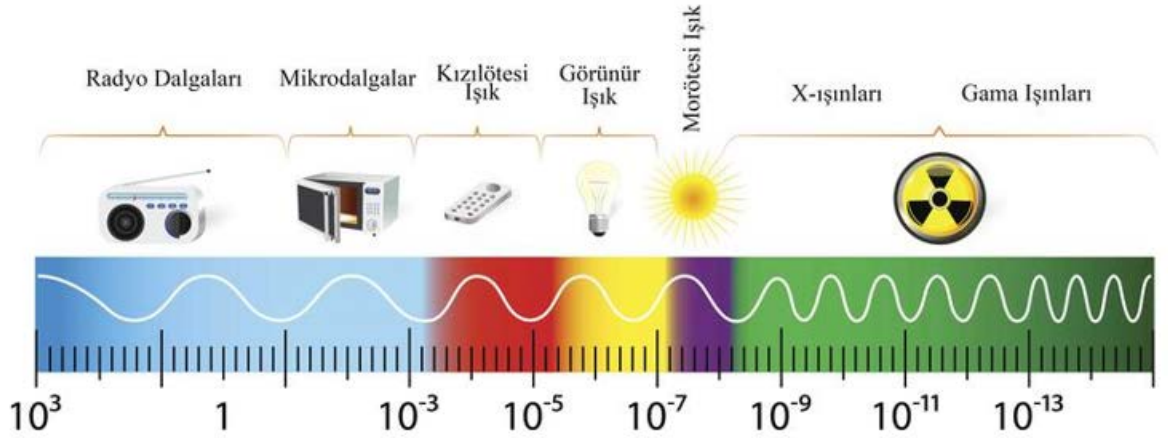
1.2.1. Işık

Işık, uzayda ışık hızı ile yayılan bir tür dalgadır. Dalgaların iki önemli özelliği, dalga boyu ve frekanstır. Dalga boyu, dalganın iki tepe noktası arasındaki mesafeye karşılık gelir. Frekans ise birim zamandaki salınımların sayısıdır. Bir dalganın frekansı ile dalga boyunun çarpımı o dalganın uzaydaki yayılma hızını verir. Işık ışınları için bu hız yaklaşık 300.000 km/sn'dir. Işığın enerjisi frekansı ile doğru orantılı, dalga boyu ile ters orantılıdır.

1.2.2. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik tayf veya elektromanyetik spektrum (EMS), ışık ışınlarının dalga boyları veya frekanslarına göre sıralanması ile edilen bir kavramdır, Şekil 1.2.'de bu sıralama sunulmuştur. Herhangi bir cismin elektromanyetik tayfı veya spektrumu, o cisim tarafından çevresine yayılan karakteristik net elektromanyetik radyasyonu tabir eder.

İnsan gözü tarafından algılanabilen görünür ışık, bu tayfın ortalarında yer almaktadır. Görünür ışığın dalga boyu 400 ile 800 nm arasındadır. Bu aralığın en altında dalga boyu yaklaşık 800 nm olan kırmızı ışık yer aldığı için ışık tayfının bu aralığın hemen altında kalan kısmına kızılötesi denir. Kızılötesi bandındaki ışınların dalga boyu görünür ışıktan daha uzundur; dolayısıyla enerjileri daha azdır. Mikrodalgalar ve radyo dalgaları ise kızılötesi ışıktan da daha uzun dalga boylarına sahiptir. Bu ışınlar, ışık tayfında kızılötesi ışığın da altında yer alır.



Şekil 1.2 Elektromanyetik spektrum

1.2.3. Optik

Optik, en genel ifade ile ışık ve görme olaylarını inceleyen fizik koludur. Bu alanda ışığa yön ve şekil vermek için yapılan tüm araç, gereç ve aygıtlar optik sistemler altında değerlendirilmektedir. Fotoğraf makinası, teleskop, dürbün, far, mikroskop, gözlük optik sistemlere verilebilecek sayısız örnekten en bilinenleridir.

Optik, ışıqla ilgili olayları üç değişik modelde inceler. Buna göre optik üç kısma ayrılır:

- 1) Geometrik optik,
- 2) Fizik optik (Dalga optiği),
- 3) Kuvantum optiği.

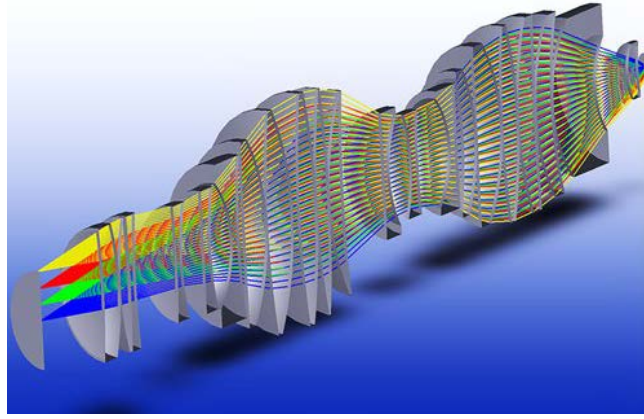
Geometrik optik: Işığın izotrop (her tarafının fiziksel özelliği aynı) ortamda doğrusal yayılmasını temel kabul eder. Yansıma, kırılma ve aydınlanma olaylarını inceleyen optik kısmıdır. Aynalar, ışık prizmaları, mercekler, optik aletler, geometrik optikle incelenebilir.

Fizik optik: Işığın dalga yapısında olduğunu temel kabul ederek; girişim, kırınım ve kutuplanma olaylarını inceleyen optik kısmıdır.

Kuvantum optiği: Max Planck'ın ışık dalgalarının enerjilerinin kuvantumlu oluşunu keşfetmesiyle ortaya çıkmıştır. Buna göre ışık, atomdan yayılan enerji paketleri (dalga katarları) şeklindedir. Her bir pakete foton denir. Kuvantum optiği ile ışık madde etkileşimi, fotoelektrik olay, Compton olayı incelenebilir.

1.2.4. Optik Tasarım

Optik görüntüleme sistemleri geometrik optik dalıyla ilişkilidir. Optik tasarımda ise geometrik optik tanımında belirtildiği üzere mercekler ve prizmalar kullanılarak ışığı amacına göre yansıtma işlemi için tasarım yapılır. Bu tip bir sistemi tasarlayabilmek temel fizik ve optik bilgisinin yanı sıra optik tasarım konusunda bilgi sahibi olmayı gerektirir. Bunlara ek olarak günümüzde tasarımcılara yardımcı olmak için son derece gelişmiş bilgisayar yazılımları bulunmaktadır. Şekil 1.3'de bilgisayar ortamında yapılan optik tasarım örneği sunulmuştur.



Şekil 1.3. Bilgisayar ortamında optik tasarım örneği

1.2.5. Objektif

Objektif bir mercek yada mercekler sisteminden oluşan; görüntülenmek istenen nesneden gelen ışınları düzenleyerek (yansıtarak, kırarak) elektriksel sinyale dönüşebilecek duruma getiren optik parçaya verilen isimdir.

Çalışma prensibine göre objektifler ikiye ayrılır. Bunlar odak uzaklığı değişen (zum objektif olarak da adlandırılır) ve odak uzaklığı değişmeyen (prime lens olarak ta adlandırılır) objektiflerdir.

1.2.6. Odak Uzaklığı

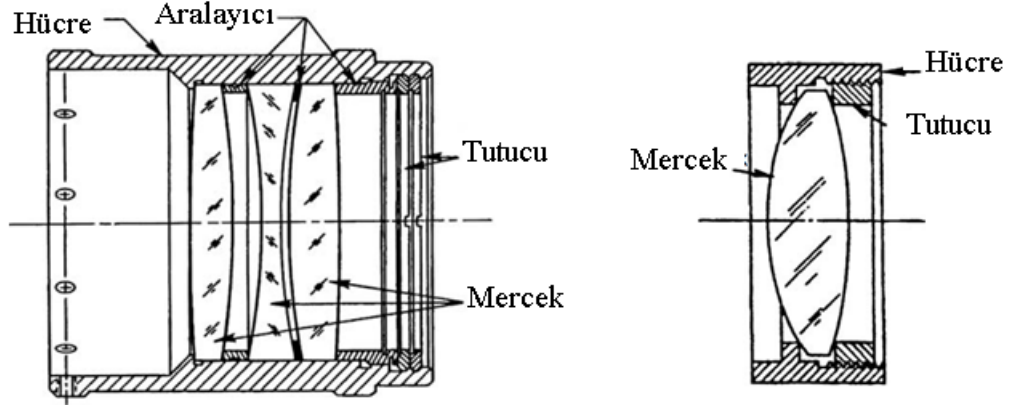
Objektife dışarıdan gelen ışık belirli bir noktada toplanır. Bu noktayla algılayıcı veya film arasında olan uzaklığa odak uzaklığı (focal length) adı verilir. Üretilen mercekler (lensler)de üretildikleri odak uzaklığına göre adlandırılırlar (50 mm, 105 mm veya 18-55 mm gibi.).

1.2.7. Görüş Açısı

Görüş açısı (field of view, FOV), açısal veya gözlenebilir doğrusal alan olarak tanımlanabilir. Burada önemli olan şudur ki odak uzaklığı objektifin görüş açısıyla ters orantılıdır. Odak uzaklığı azaldıkça görüş açısı artar, odak uzaklığı arttıkça ise görüş açısı azalır. Bundan dolayı objektifler normal, geniş ve dar açılı objektifler olarak adlandırılır.

1.2.8. Optomekanik Tasarım

Optik tasarım ile elde edilen merceklerin ve mercek gruplarının yerleştirildiği mekanik parçaların tasarlandığı kısımdır. Şekil 1.4'de opto-mekanik tasarım örnekleri sunulmuştur.



Şekil 1.4 Optomekanik tasarım örneği [1]

1.2.9. Değişken Odaklı Sistemler

‘Zum sistemleri’ olarak da bilinen değişken odaklı sistemler odak uzaklığını değiştirerek farklı görüş açılarında görüntü almayı sağlamaktadır. Bu görüntüyü alabilmesi için zum sistemlerinde bulunan mercek gruplarının bazılarının doğrusal olarak hareket etmesi gerekir. Bu hareket elle yada motor yardımı ile sağlanabilir. Hareketli mercek grupları içerdikleri ve hassas konum kontrolü gerektirdiği için bu sistemlerin optik ve mekanik tasarımı zordur.

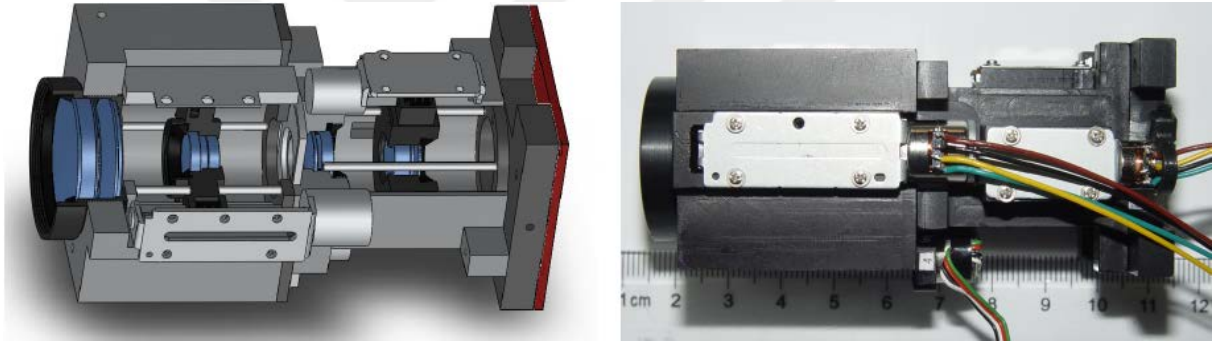
1.2.10. Sürekli Odaklı Sistemler

Değişken ve sürekli odaklı sistemlerde (continuous zoom systems) sabit bir odak uzunluğu yoktur. Bu iki sistemin birbirinden farkı ise şöyle açıklanabilir: eğer bir sistemin toplam odak uzunluğu boyunca her odak noktası için net görüntü elde edilebiliyorsa bu sistem sürekli odaklı sistemdir, ancak odak uzunluğunun her noktasında değil de belirli noktalarında net görüntü elde edilebiliyorsa bu sistem değişken odaklı bir sistemdir.

1.2.11. Değişken Odaklı Sistemler Üzerine Yapılan Mevcut Çalışmalar

Değişken odaklı sistemler kısmında da belirtildiği gibi optik tasarım kısmı zor olduğu için bu alanda yapılan yayınların büyük çoğunluğu optik tasarım ile ilgilenmiş olup mekanik tasarım ve kontrole çok az yada hiç değinmemişlerdir. Bu nedenle tez konusuyla doğrudan veya dolaylı ilişkili olduğu düşünülen kaynaklar incelenmiştir.

Konuyla ilgili yapılan bir yayında 10X zum oranına sahip bir sistemin mekanik ve optik tasarımı yapılmış, Şekil 1.5’de gösterilen bu sistemde zum kısmında hareketli tek bir mercek grubu bulunurken odak kısmında da hareketli tek bir mercek grubu bulunmaktadır. Hareketli mercek grupları adım motorlar kullanılarak çalıştırılmış ve konum bilgisini doğrusal olarak elde etmek için yatay dirençli algılayıcı kullanılmıştır [2].



Şekil 1.5 10X zum oranına sahip bir sistemin mekanik tasarımı [2]

Bir başka çalışmada ise orta dalga boylu kızılötesi sistemler için sürekli odaklı bir sistem tasarlanmıştır. İki ayrı bölümden oluşan bu çalışmanın birinci kısmında optik tasarım ve analizi yapılırken, ikinci kısımda mekanik tasarıma da değinilmiştir. Mekanik tasarım sadece katı model olarak yayında yer almaktadır [3,4].

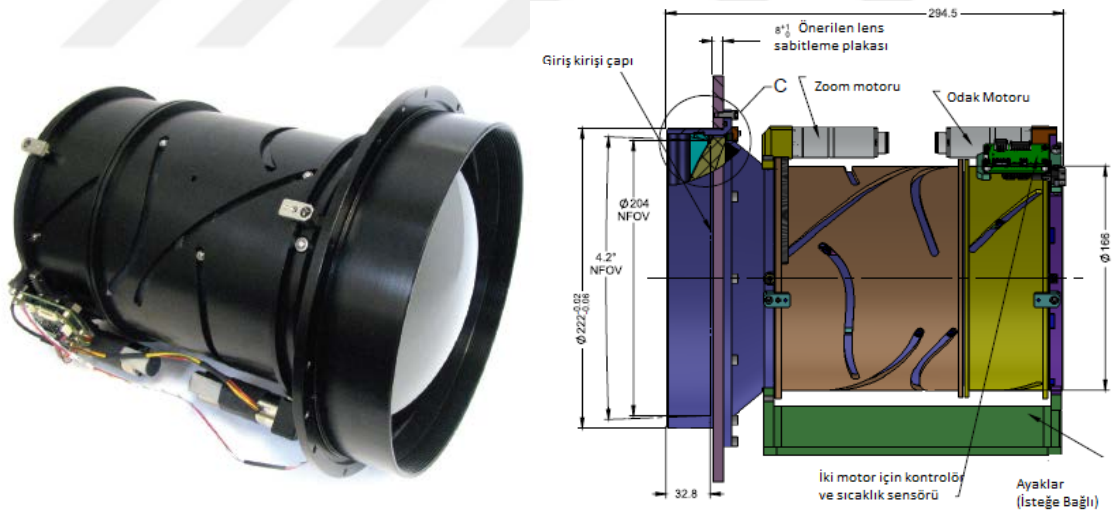
Diğer bir çalışmada ise sürekli odaklı kızılötesi görüntüleme sistemleri için mekanizma tasarımı incelenmiştir. Bu yayında ve daha bir çok yerde zum sistemleri için kam mekanizmasının kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir. Zum mekanizması için silindirik kam tercih edilirken; odak mekanizması için vida mekanizması (screw nut) tercih edilmiştir. Çalışmada zum ve odak mekanizmalarının tasarımı ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi incelenmiştir [5].

Başka bir çalışmada ise kam profil tasarımının zum sistemleri için kaçınılmaz olduğu belirtilerek, ZEMAX tabanlı zum sistemleri için optimum kam profili tasarımı incelenmiştir. Burada ZEMAX programlama dili (ZEMAX Programing Language, ZPL) kullanılmıştır [6].

Zum mercekleriyle ilgili yapılan bir çalışmada, bu merceklerin yapısal ve işlevsel olarak son yıllardaki gelişimi incelenmiştir [7].

Sürekli odaklı sistemlere kesintisiz büyütme sistemi de denilmektedir[8].

Endüstride de bu sistemleri üreten önde gelen firmaların katalogları incelenerek sistemlerin genel yapısı, mekanizması, fiziksel özellikleri (boyut, ağırlık vb.) hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Şekil 3.2'de endüstride bulunan sürekli odaklı görüntüleme sistemi örneği sunulmuştur. Yapılan benzer sistemin incelemeleri sonucunda, bu tip sistemlerde iki farklı hareket yönteminin kullanıldığı görülmüştür: motorlu sürekli zum (motorized continuos zoom) sistemleri ve manuel sürekli zum sistemleridir.



Şekil 1.6 Endüstride bulunan sürekli odaklı görüntüleme sistemi [9]

Yapılan araştırmalar sonucunda; bu sistemlerde iki motor kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca zum sistemlerinin mekanizmasında çoğunlukla kam mekanizmasının tercih edildiği gözlemlenmiştir.

2. SİSTEM TASARIMI

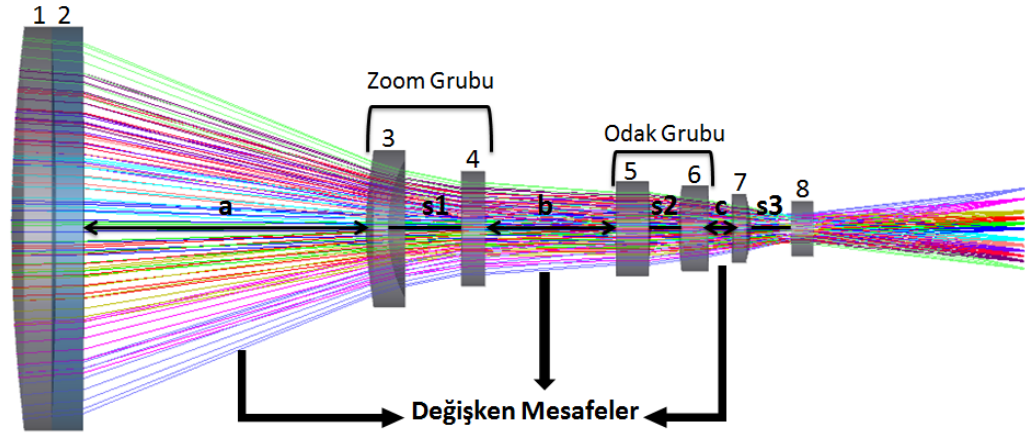
2.1. Sistemin Gereksinimlerinin Belirlenmesi

Optik görüntüleme sistemleri için değişken odaklı sistem tasarımı tezi kapsamında hazırlanacak deney düzeneğinden beklenen; yapılan optik tasarıma boyutsal ve işlevsel olarak uygun mekanizmanın tasarlanmasıdır.

2.2. Optik Tasarım

Sistem tasarımının yapılabilmesi için öncelikle optik tasarım yapılması gerekir. Değişken odaklı görüntüleme sisteminin tanımında belirtildiği gibi odak uzunluğunun belirli noktalarında görüntü almak için mercek ve mercek gruplarının optik yol üzerindeki konumları optik tasarım sonucunda belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Şekil 2.1' de belirtilen optik tasarım kullanılmıştır. Tasarımda odak uzunluğu aralığı 15 ila 300 mm'dir. Bu tasarım için 3 ve 4 numaralı merceklerinden oluşan mercek grubu zum mercek grubunu temsil etmektedir. Tablo 1'de görüldüğü üzere 3 ve 4 numaralı mercekler arasındaki mesafe (s_1) sabit olup bu iki mercek bir bütün olarak doğrusal hareket edecektir. 5 ve 6 numaralı merceklerden oluşan mercek grubu ise odak mercek grubunu temsil etmektedir, burada da 5 ve 6 numaralı mercekler arasındaki mesafe (s_2) sabit olup bu iki mercek bir bütün olarak doğrusal hareket edecektir.

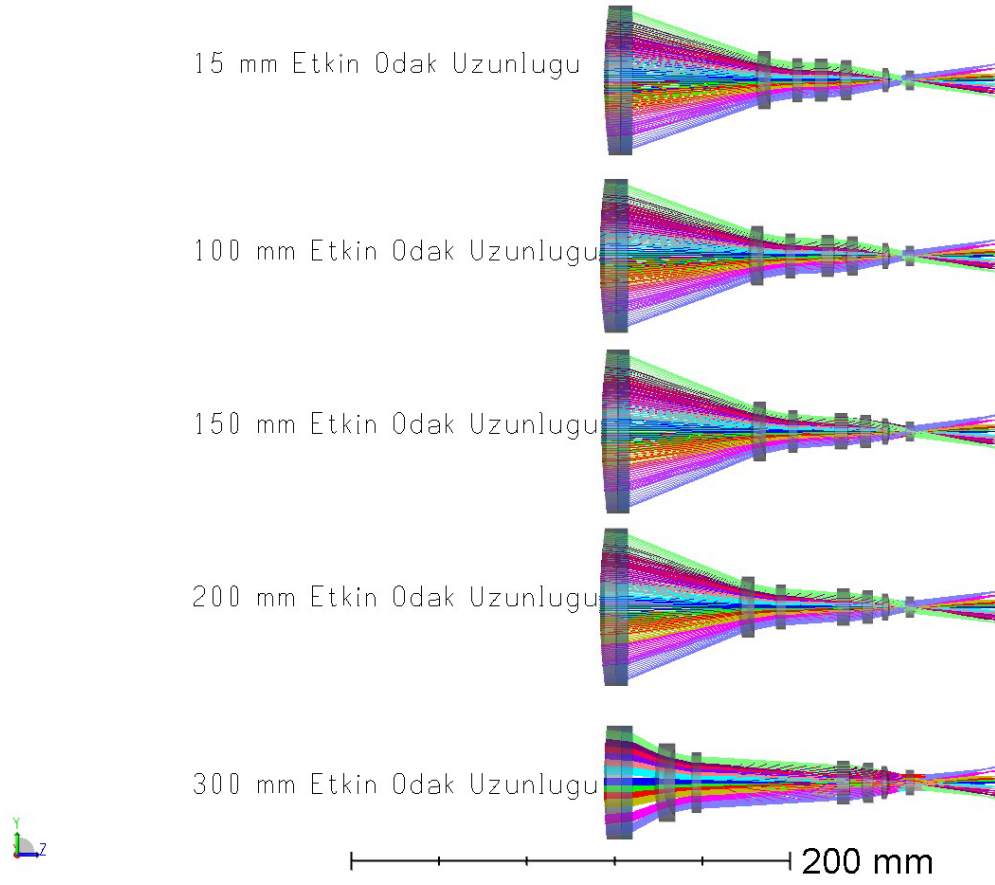


Şekil 2.1 Optik tasarım

Tablo 2.1. Konfigürasyon tablosu

Mesafeler (mm)	15 mm Odak	100 mm Odak	150 mm Odak	200 mm Odak	300 mm Odak
A	9,908	50,248	54,944	54,604	55,841
s1	15,379	15,379	15,379	15,379	15,379
B	61,878	24,453	17,043	12,008	5,94
s2	10	10	10	10	10
C	5	4,999	6,017	12,169	15,004
s3	5,142	5,142	5,142	5,142	5,142

Numaralandırılmış diğer mercekler hareket etmeyecek; hareketli mercekler sadece züm ve odak mercek gruplarıdır. Züm sistemlerinde herhangi bir odak uzunluğu için merceklerin konumlarının belli olduğu durum sayısına konfigürasyon sayısı denir. Bu tasarım için öngörülen konfigürasyon sayısı beştir. Belirlenen konfigürasyon için merceklerin bulunması gereken konumlar Tablo 2.1’de verilmiş olup bu konumlardaki görünimleri Şekil 2.2’de sunulmuştur. Konfigürasyon sayısı arttıkça optik tasarım zorlaşmaktadır. Konfigürasyon sayısı böyle sistemlerin tasarımında önemli bir kriterdir; genel amaç konfigürasyon sayısını düşük tutarak değişken odaklı ve sürekli odaklı sistemi oluşturmaktır.



Şekil 2.2 Konfigürasyon hareketlerinin gösterimi

İncelenen bir sürekli odaklı optik tasarım çalışmasında; hareket eden merceklerin hareketinin devamlı ve her konumda sistemin odaklı bir görüntü sağlayabilmesi amacıyla dar görüş açısından geniş katar toplam 32 konfigürasyon oluşturulmuştur. Toplamda 32 konfigürasyon kullanılmasının en önemli nedeni sürekli görüş açısı değiştiren ve devamlı odaklı olması gereken bu tip sistemlerde hareketli merceklerin hareketinin de devamlı olması ve üretilebilir bir eğrinin bu merceklerin pozisyonlarına uydurulması gereklidir. Optimum konfigürasyon sayısı, her konumda odaklı bir tasarıma ulaşılabilmesi ve tasarım süresinin kabul edilebilir seviyede kalabilmesi açısından en önemli parametredir. Bu tip bir optik tasarım oldukça karmaşık optimizasyon ve performans analiz adımlarını içerir.[10]

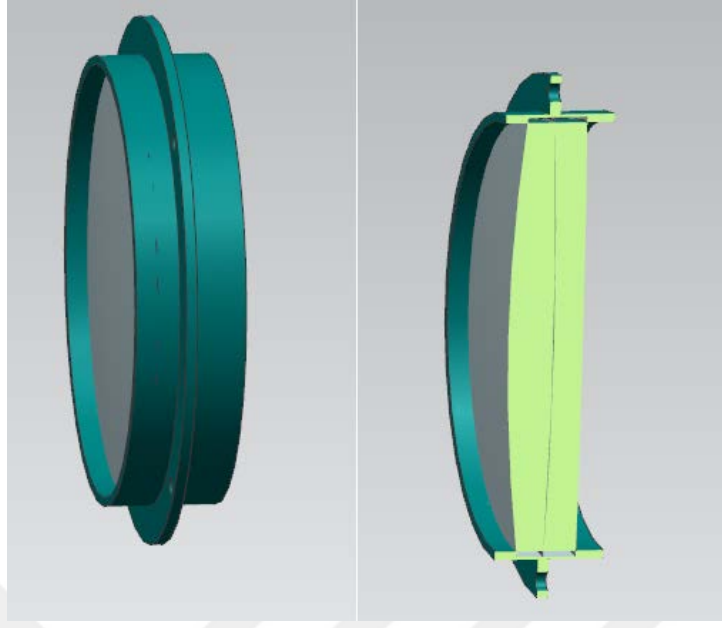
2.3. Optomekanik Tasarım

Şekil 2.1’de gösterilen optik ön tasarım katı model programına aktarılarak merceklerin çap ve kalınlık ölçüleri belirlenerek Tablo 2.2.’de sunulmuştur.

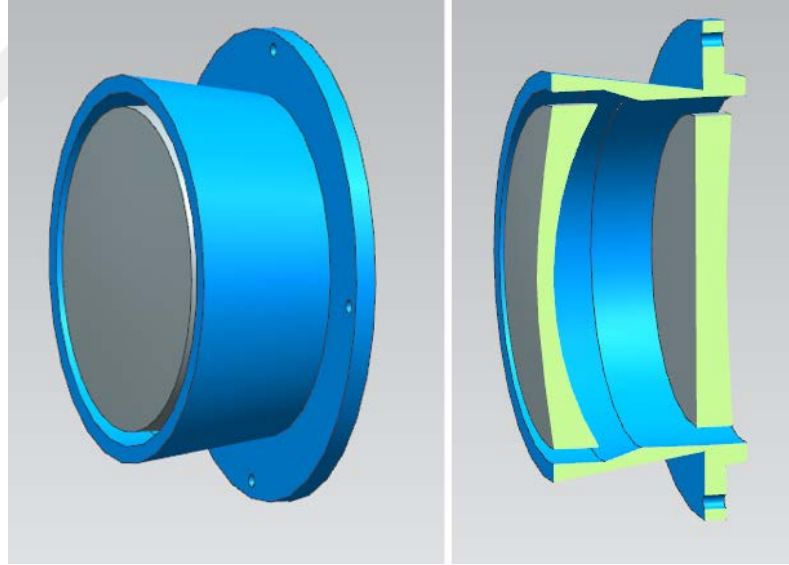
Tablo 2.2. Mercek çap ve kalınlıkları

Mercek Numarası	Kalınlık (mm)	Çap (mm)
1-2	10.98	80
3	2.75	55
4	2.39	50
5	5.04	60
6	4.35	55
7	5.75	40
8	4	35

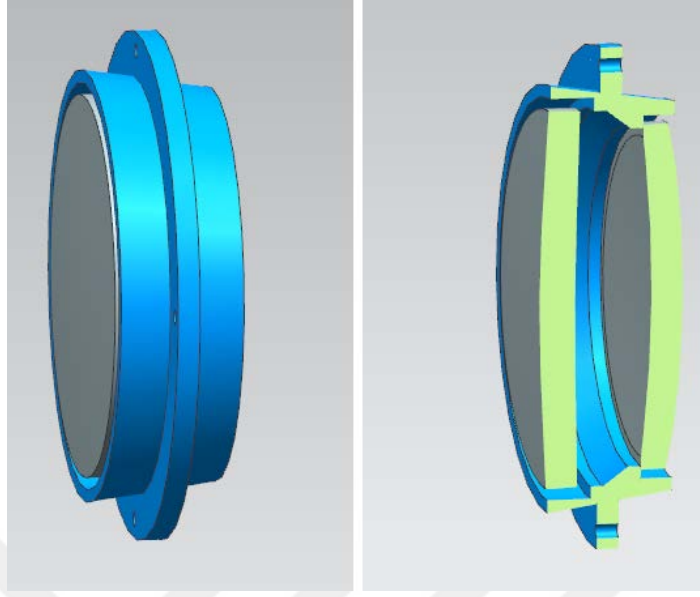
Mercekleri sistemin mekanik modeline eklemek için gerekli olan optomekanik parçaların Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterildiği gibi tasarımı yapılarak, işlevine uygun olarak dört mercek grubu şeklinde modellenmiştir.



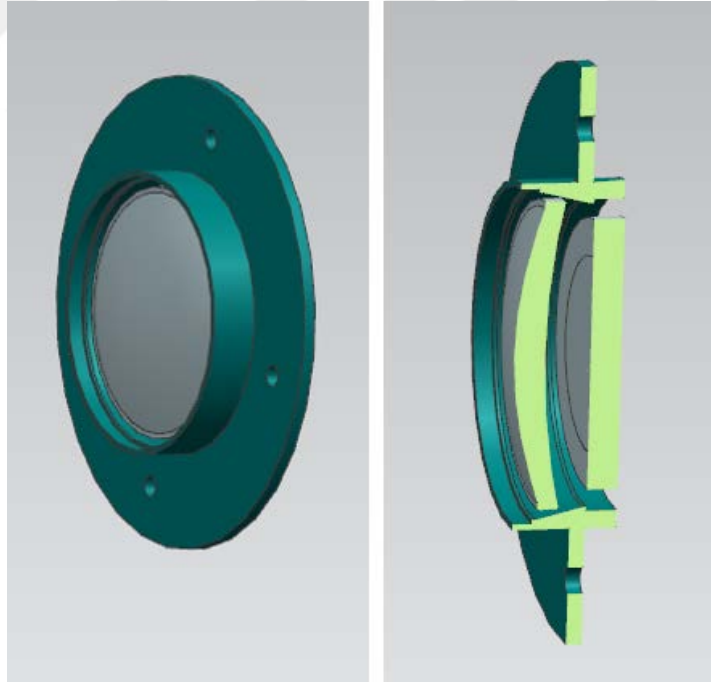
Şekil 2.3. 1. mercek grubunun optomekanik tasarımı



Şekil 2.4. 2. mercek grubunun optomekanik tasarımı



Şekil 2.5. 3. mercek grubunun optomekanik tasarımı



Şekil 2.6 4. mercek grubunun optomekanik tasarımı

2.4. Hareket Mekanizması Sentezi

Değişken odaklı ve sürekli odaklı görüntüleme sistemlerinde iki farklı hareket grubu bulunmaktadır; bunlar zum ve odak kısımlarıdır. Zum kısmındaki hareketler görüş açısını ayarlarken, odak kısmındaki hareketler görüntünün kalitesini yani netliğini ayarlar. Bu kısımlar için iki ayrı mekanizma tasarımı gereklidir.

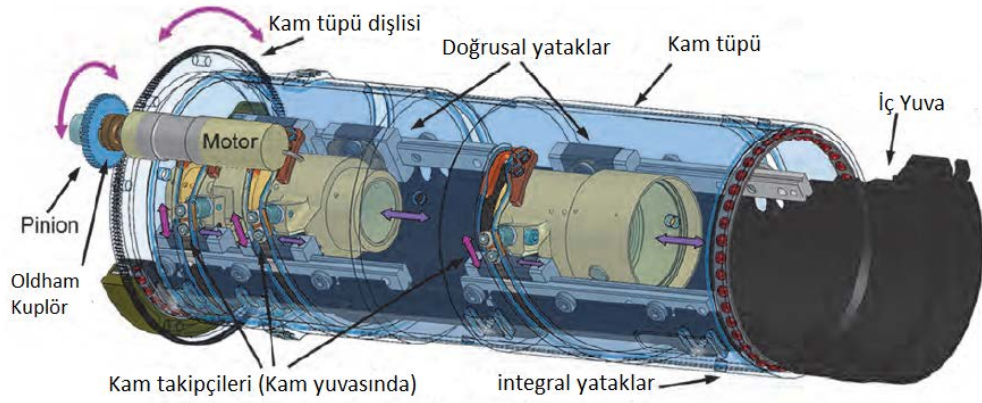
Zum ve odak sistemlerinde oluşturması gereken hareket doğrusal harekettir. Mercek grupları doğrusal olarak hareket etmektedir. Döner motordan hareketi alıp doğrusal harekete çevirerek mercek gruplara aktaracak mekanizmalar kullanılacaktır.

Yapılan literatür çalışmasında zum ve odak mekanizmaları birbirinden bağımsız hareket ettirildiği için bağımsız mekanizmaların kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Zum ve odak mekanizmaları için literatürde farklı çalışmalar yer almaktadır. Literatürde zum ve odak mekanizmalarının her ikisi içinde kam mekanizması kullanmış çalışmalar olmakla birlikte yine her iki mekanizma için vida sistemlerinin (lead screw ve ball screw) kullanıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Ayrıca zum mekanizması için kam mekanizmasının tercih edildiği ve odak mekanizması için vida mekanizmasının kullanıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Genel olarak optik tasarım sonuçlarına göre zum mekanizmasının hareket aralığı odak mekanizmasının hareket aralığından daha büyüktür. Bu nedenle odak kısmındaki hareketler daha hassas hareketler içerir.

2.4.1. Zum Mekanizması

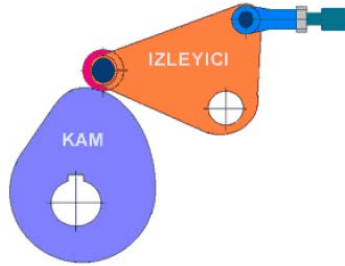
Literatürde zum sistemleri için kam mekanizmasının kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir. Zum sistemlerini endüstriyel anlamda üreten firmaların katalogları da incelenerek kam mekanizmasının kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca kam mekanizmaları zum sistemlerine geniş hareket imkanı sağladığı gözlemlenmiştir. Örneğin zum sisteminde hareketli mercek grubu sayısının birden fazla olduğu bir optik tasarımda her bir mercek grubu için kam profili belirlendikten sonra tek motor kullanarak birden çok mercek grubu hareket ettirilebilir ve kam profilinin şekline göre bu mercek grupları aynı veya zıt yönde hareket ettirilebilir. Ayrıca yine kam profiline bağlı olarak bir konfigürasyonda sadece bir mercek grubu hareket ettirilip diğer mercek grupları konumlarını koruyabilir.



Şekil 2.7 Zum mekanizması [11]

Şekil 2.7'deki tasarımın yer aldığı çalışmada zum mekanizması hareketli üç mercek grubundan oluşmaktadır.

Bu tez kapsamında zum mekanizması olarak kam tercih edilmiştir. Kam makine dinamiğinde sırası ile kendisine temas eden düzenekleri harekete geçirmeye yarayan bir mekanizmadır. Şekil 2.8 'de kam mekanizmasının genel yapısı sunulmuştur. Kam mekanizmalarının genel olarak kamın şekline göre, izleyicinin şekli ve hareketine göre, kam ve izleyicinin temas şekline göre sınıflandırılabilir.



Şekil 2.8 Kam mekanizmalarının genel yapısı [12]

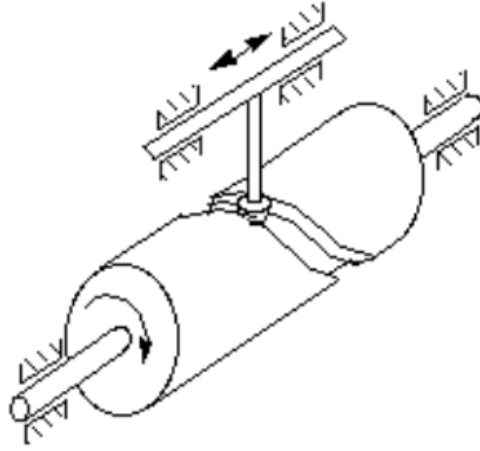
Kam mekanizmaları dönme hareketini öteleme ya da salınım hareketine dönüştüren sistemlerdir. Bu mekanizmalar vasıtasıyla açma – kapama, bekleme ve bunların çeşitli sırayla dizilimi gibi karmaşık hareketler gerçekleştirilebilir. Senkronize hareket gereken yerlerde kullanımı oldukça iyidir. Mesela araç sübap kapaklarının belli bir sürede açılıp kapanması ya da beklemesi gibi çok hızlı ve senkronize olması gereken hareketleri oldukça iyi gerçekleştirebilirler.

Zum sistemlerinde kullanılan kam mekanizması silindirik kam mekanizmasıdır. Şekil 2.9’da örnek silindirik kam mekanizması sunulmuştur.



Şekil 2.9 Silindirik kam

Silindirik kam mekanizması ile oluşan sistemlerde, doğrusal hareket yapan izleyicinin konumuna göre mekanizma farklılık gösterir. Doğrusal hareket yapan izleyicinin, silindirik kamın dışarısında yataklandığı mekanizmaya örnek Şekil 2-10’da verilmiştir.



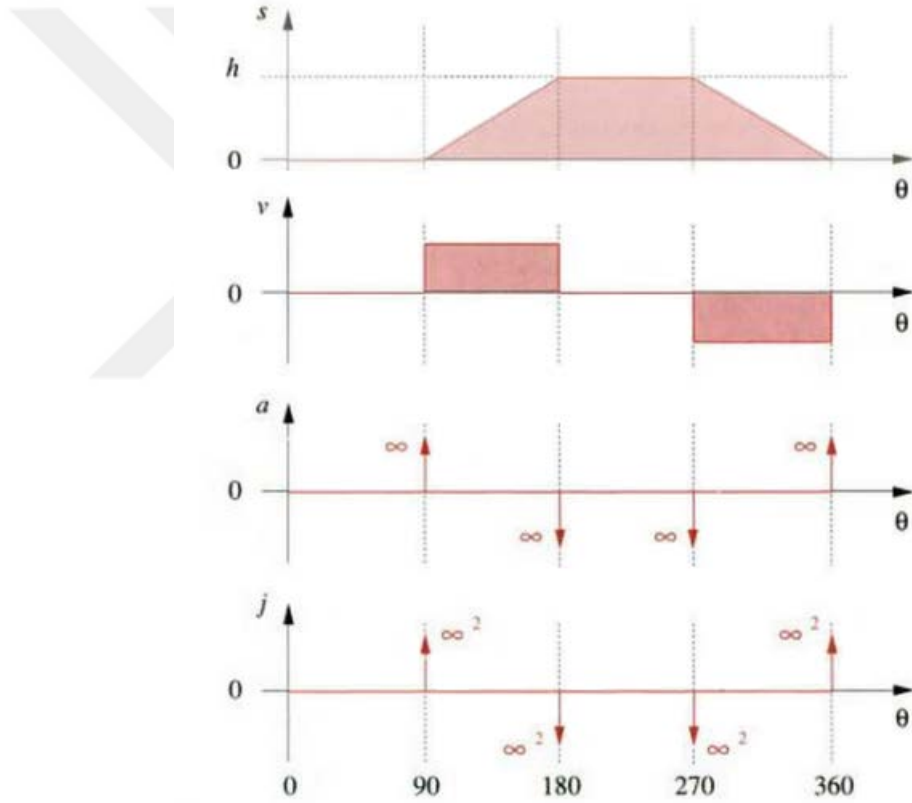
Şekil 2.10 İzleyicinin konumuna göre silindirik kam [13]

Zum sisteminde izleyici kısmı hareketli mercek gruplarından oluşacak olup, silindirik kamın içerisinde yer alır ve silindirik kam üzerinde bulunan profile mekanik bir parça yardımıyla ilişkilendirilir. Sonrasında silindirik kam motor yardımıyla dönerken içerisinde bulunan mercek grupları kam profiline göre doğrusal olarak hareket eder. Silindirik kamda bulunan profil sayısı hareketli mercek grubu sayısı tarafından belirlenir. Silindirik kamda bulunan profilin şekli ise merceklerin hareket aralığı yani yayay olarak yapacağı yer değiştirme ve tanımlanan matematiksel fonksiyon ile sağlanır. Bu fonksiyona kam hareket eğrisi denir, hareket eğrisi; kamın dönme açısına karşılık gelecek izleyicinin konumunu belirler. Örnek hareket eğrisi Şekil 2.11’de verilmiştir, burada kam hareket diyagramında $s = f(\theta)$ ‘dır.



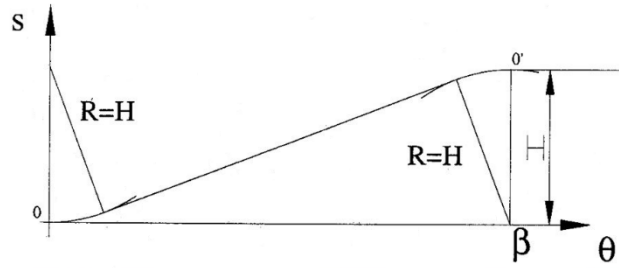
Şekil 2.11 Hareket eğrisi örneği [13]

Hareket eğrisi profili(s), kam kinematiği açısından önemlidir, kısaca açıklanacak olursa hareket eğrisi kamın yer değiştirmesini verir, bu eğrinin türevleri ise sırasıyla hız (v), ivme (a) ve sarsı (j) dediğimiz değerleri verir, bu grafiklerin hepsini kapsayan diyagrama “svaj diyagramı” denir. Bu nedenle hareket eğrisi tanımlayarak, kinematik olarak hız ve ivme gibi büyüklüklere karar verilmiş olunur. Bu tasarım terstende yapılabilir yani istenilen işleve hıza ve ivmeye bağlı tasarım yapılabilir, ancak tasarım yapılırken mümkün olduğunca sürekli fonksiyonlar tercih edilmelidir, Şekil 2.12’de gösterildiği gibi sürekli olmayan bir fonksiyon seçildiğinde, eğrinin türevlerinde sonlu olmayan değerlerle karşılaşılır, bu istenmeyen bir durumdur.



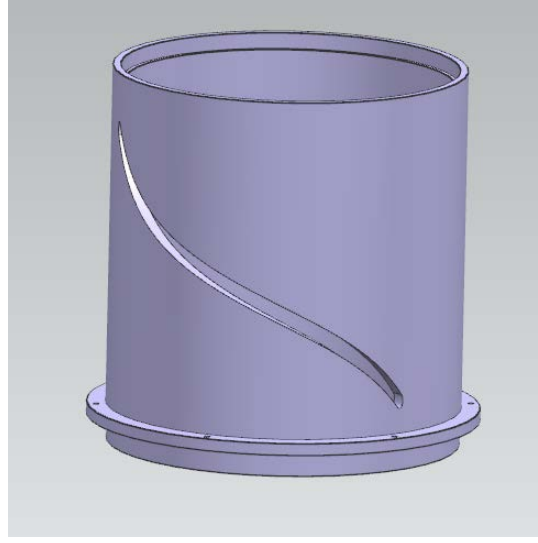
Şekil 2.12 Svaj diyagramı örneği [14]

Doğrusal hareket eğrisinde başlangıç ve bitiş noktaları sonsuz ivme olduğundan dolayı uygulamada sorun yaratacaktır. Başlangıç ve bitiş noktalarında sonsuz ivmeyi önlemek için, başlangıç ve bitiş bir daire yayı, arada ise bu iki daire yayına teğet bir doğru çizilerek elde edilen yükseliş eğrisinde hareket ve hareketin birinci türevi sürekli olacak, ivme ise her noktada sonlu bir değer alacaktır. Şekil 2.13’de gösterildiği gibi genel olarak daire yayı yarı çapı yükselme mesafesine (H) eşit alınır ise de, farklı bir çap da kullanılabilir [15].



Şekil 2.13 Doğru ve daire yayı-birleşik eğriler [15]

Bu tez çalışması kapsamında tasarlanan silindirik kam Şekil 2.14’de gösterilmektedir. Optik tasarımdaki zum mercek grubunun hareket aralığına göre tasarlanmıştır. Kamın boyutsal tasarımı ise öncelikle mercek çapları, merceklerin yerleştirildiği optomekanik çapları gözönüne alınarak belirlenmiştir. Tasarım yapılırken kam ile birlikte kullanılacak olan rulman ve dişlilerin mekanizmadaki yerlerine dikkat edilmiştir, rulmanlar için dayama yüzeyi oluşturulmuş, dişliler içinse bağlantı sağlayacak cıvata delikleri uygun şekilde konumlandırılmıştır.

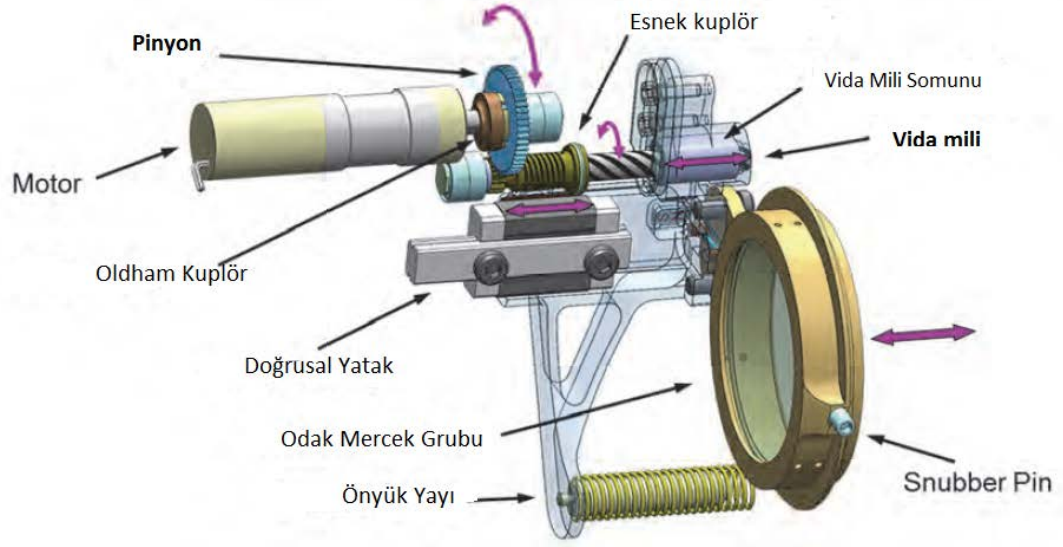


Şekil 2.14 Tasarlanan silindirik kam

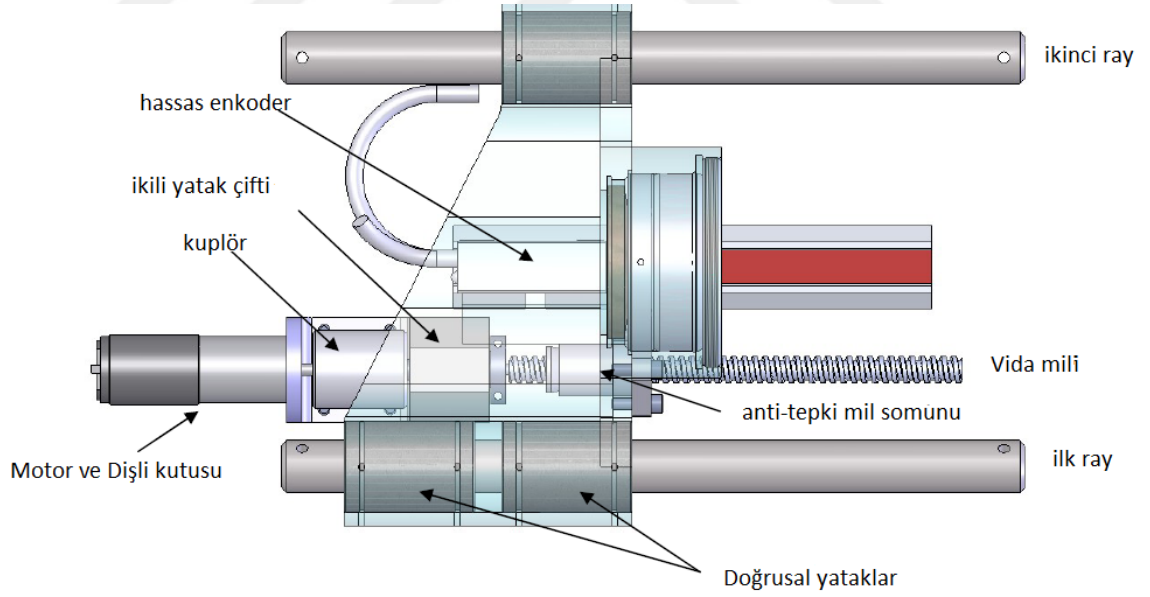
2.4.2. Odak Mekanizması

İncelenen çalışmalarda görüldü ki; odak mekanizması içinde çeşitli mekanizma seçenekleri bulunmaktadır. Zum mekanizmasında olduğu gibi silindirik kam mekanizması ile oluşturulan odak mekanizmaları olduğu gibi vida sistemlerinden oluşan odak mekanizmaları da vardır. Ancak odak mekanizması için genelde vida sistemleri, bilye vidaların; hafif olmaları, hızlı olmaları ve esnek hareket aralığı sunmaları gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'da odak mekanizması için vida sistemlerinin kullanıldığı örnek tasarımlar sunulmuştur.



Şekil 2.15 Odak mekanizması [11]

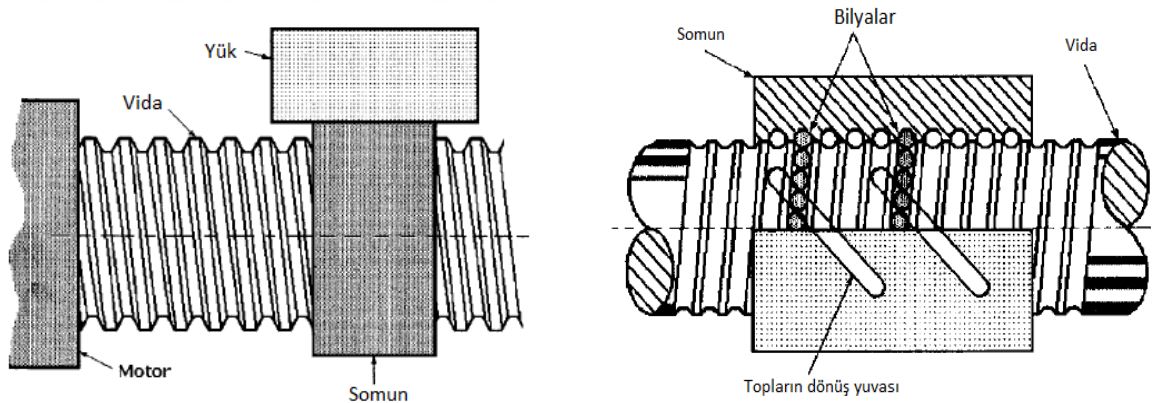


Şekil 2.16 Odak mekanizması tasarım örneği [4]

Vida mekanizmaları hareketi iletme ve değiştirme amacı ile kullanılır. Cıvata- somun sistemi denilen bu sistemler hareket bakımından řu şekilde sınıflandırılır [16]:

1. Somun sabit, cıvata dönme ve öteleme hareketi yapar; örneğin vinçlerde ve preslerde olduğu gibi.
2. Cıvata sabit, somun dönme ve öteleme hareketi yapar.
3. Cıvata dönme hareketi, somun öteleme hareketi yapar.
4. Somun dönme hareketi, cıvata öteleme hareketi yapar.

Vidalı mil, bilye yataklı bir somunun vida dişleri açılmış bir mil üzerindeki sistem sayesinde dönme hareketini doğrusal harekete çeviren makine elemanıdır. Bu hareket esnasında sürtünmenin azaltılabilmesi amacıyla somun ile mil arasında yer alan boşlukta yataklanan bilyeler mevcuttur. Hareket aktarımı için kullanılan vidalı miller, doğrusal hareketi bu sayede daha az sürtünme ile iletirler. Hassas bir vida olarak yapılan dişli mil ise helis yapıdaki kanalları sayesinde bilye yataklarının rahat hareketine olanak sağlar. Bu hareket aktarma elemanı, düşük sürtünme özelliği sayesinde yüksek mekanik verime sahiptir. Vidalı milin temel yapısı Şekil 2.17'de sunulmaktadır.



Şekil 2.17 Vidalı mil [17]

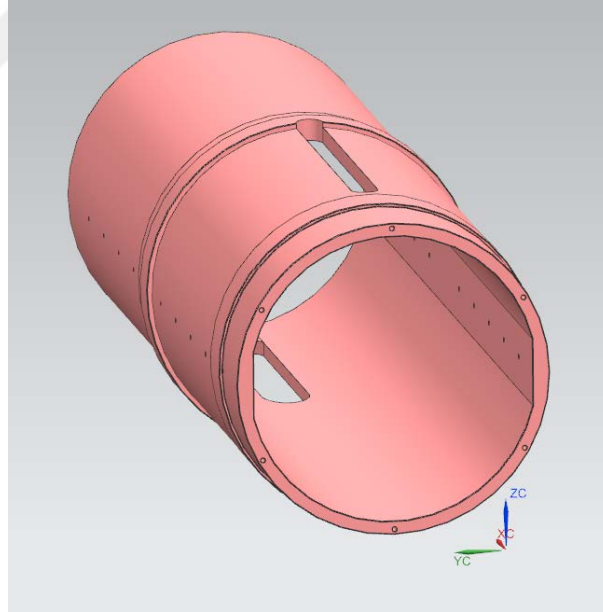
Çeşitli özellikleri sayılabilecek vidalı miller yüksek hassasiyete sahip, uzun ömürlü kullanımları olan ve düşük kirlilik üreten makine elemanlarıdır. Spesifik özellikleri nedeni ile hassas konumlama ve makine sanayiindeki hassas ölçüm sistemlerinde önemli bir yere sahip olan vidalı miller, robotlarda, çok hassas ekipmanlarda ve daha birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

2.5. Sistem Bütünü Tasarımı

Mercek grupları modellendikten sonra sistemin mekanik tasarımında kullanılacak olan mekanizma tiplerine uygun tasarımlar yapılmıştır. Yapılan tasarım sonucunda, tasarlanan parçalar üretilmiş ve seçilen hazır parçalar tedarik edilmiştir.

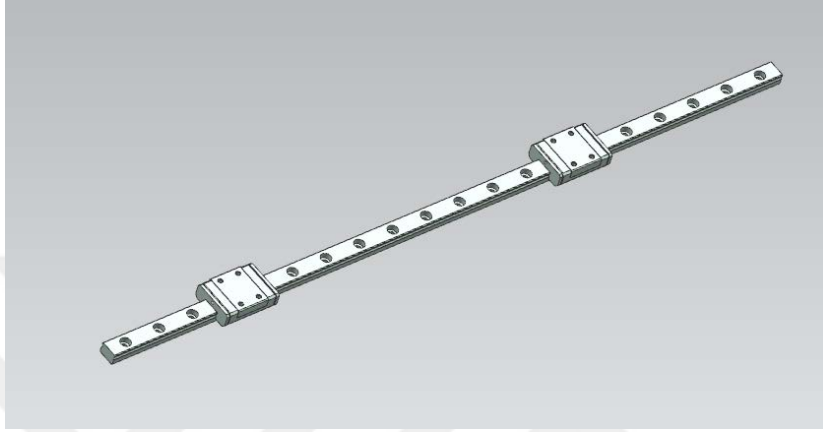
Tasarım parçaları;

1. Silindirik kam; Şekil 2.14 de sunulmuştur.
2. Mercek gruplarının ve doğrusal yataklama elemanlarının yer aldığı sabit kısım; bu tasarım için sabit kısım silindirik kam içerisinde yer almaktadır. Parçanın tasarımı Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Parça üzerinde rulmanların oturacağı dayama yüzeyleri, doğrusal yatakların oturması için gerekli olan cıvata delikleri, silindirik kam izleyicisinin doğrusal hareketi için gerekli olan oyuk ve odak mekanizmasının doğrusal hareketi için tasarlanan oyuk yer almaktadır.



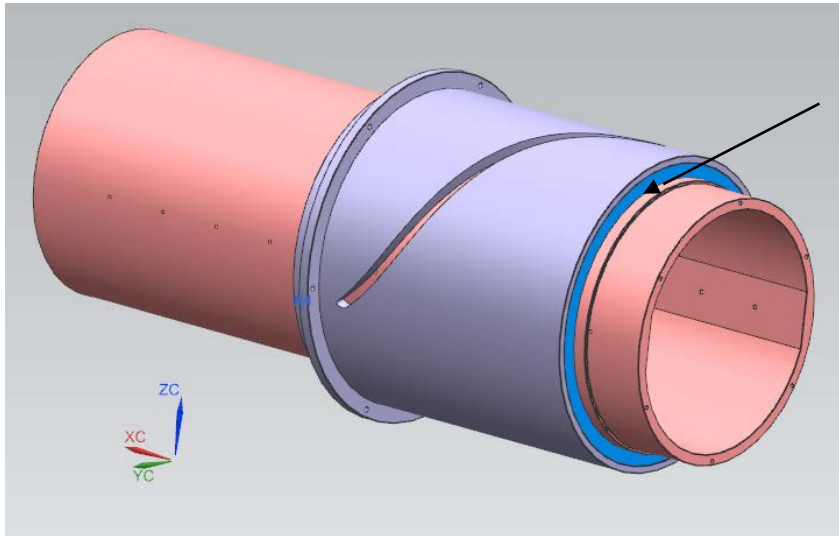
Şekil 2.18 Sabit kısım

1. Sabit kısım içerisinde yer alan, doğrusal yatak Şekil 2.19' de gösterilmiştir. Hareketli mercek grubu sayısına göre doğrusal yatakta olması gereken araba sayısı belirlenmiştir. Optik yol uzunluğuna bağlı olarak doğrusal yatağın boyu belirlenmiştir.



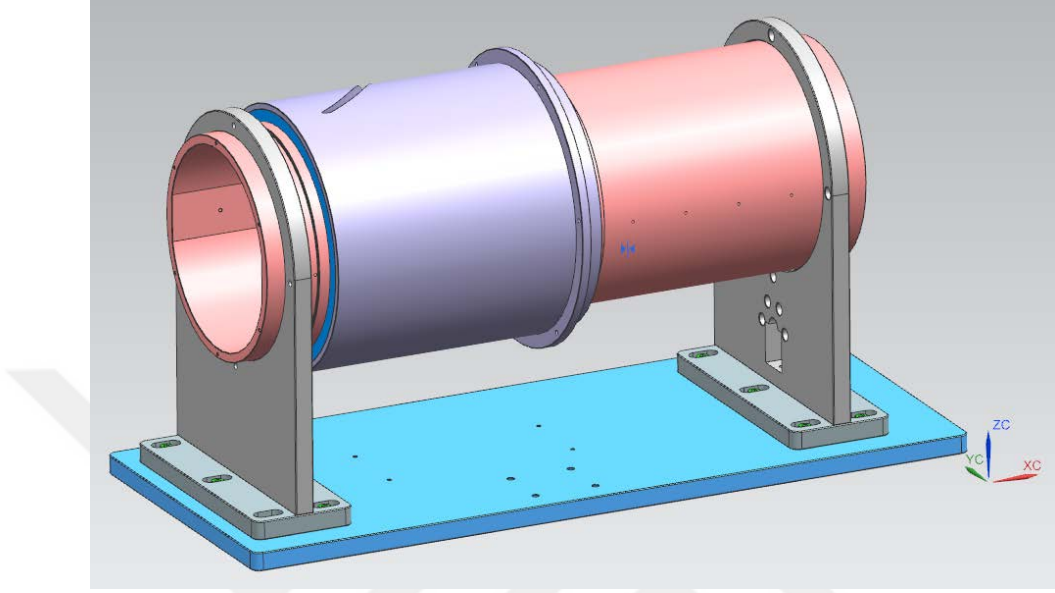
Şekil 2.19 Doğrusal yatak

2. Şekil 2.14 de gösterilen silindirik kam ile Şekil 2.18'de gösterilen sabit kısım arasına, ince kesit rulmanlar seçilmiştir ve Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 İnce kesit rulman

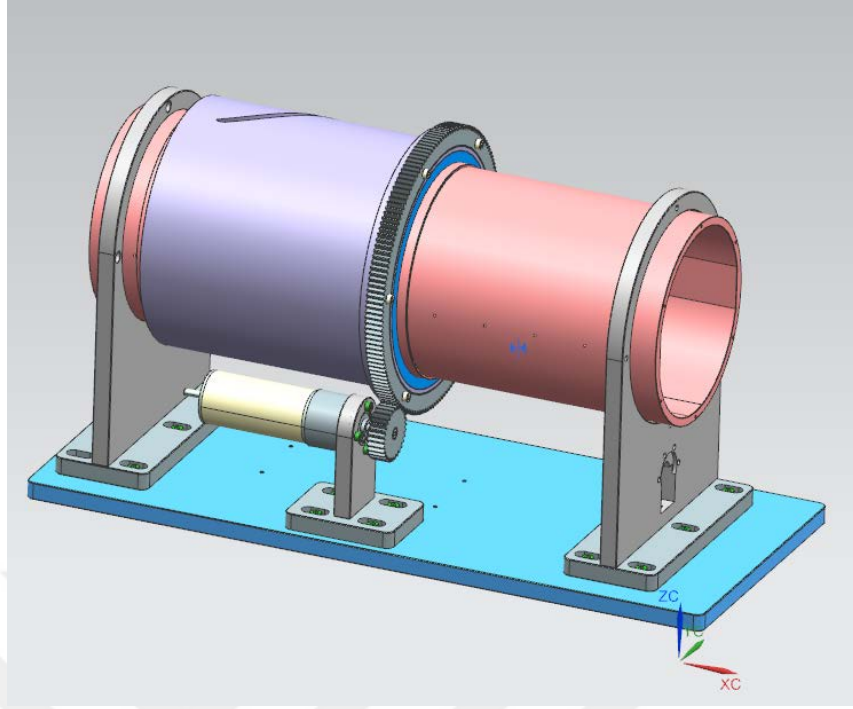
3. Sistemin yerleŖeceđi alt tabla ve tutucular Ŗekil 2.21’de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



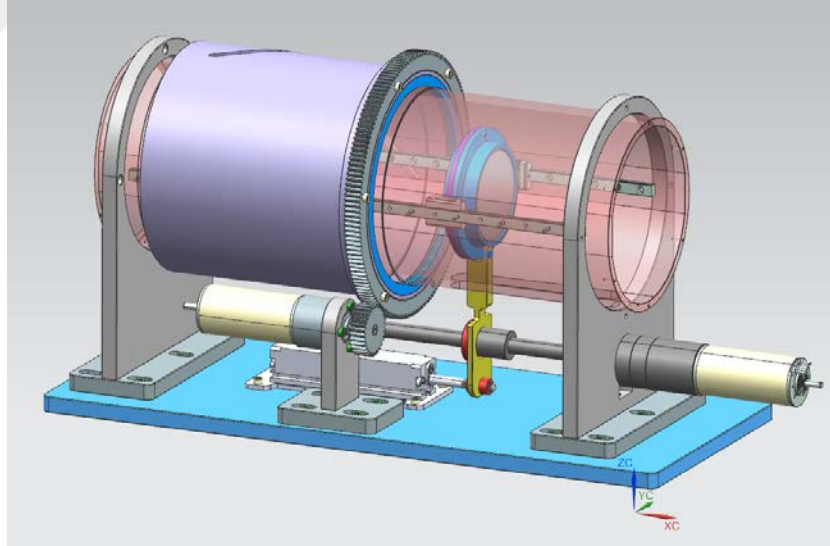
Ŗekil 2.21 Alt tabla ve tutucu ayakların tasarımı

4. Kam mekanizmasına dönel hareket aktarımı için dişli tasarımı yapılmıştır, dişli tasarımının ve motorun konumlandırılması Ŗekil 2.22’de gösterilmiştir.

5. Odak mercek grubunun hareketi için seçilen motorun konumlandırılması ve bağlantı arayüzleri Ŗekil 2.23’de gösterilmiştir. Odak mercek grubunun hareket ölçümü için doğrusal potansiyometre kullanılmıştır.

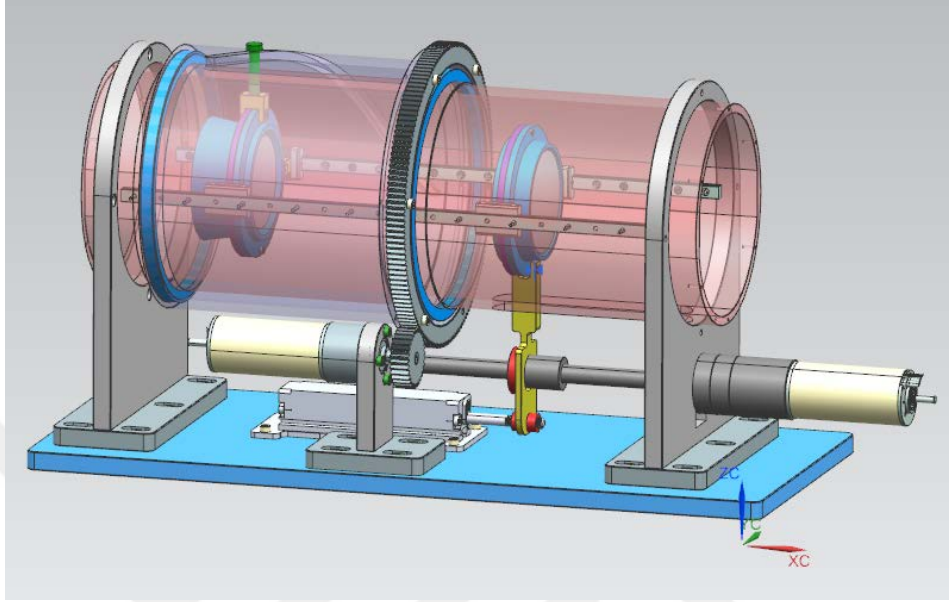


Şekil 2.22 Dişli tasarımının ve zum motorunun konumlandırılması



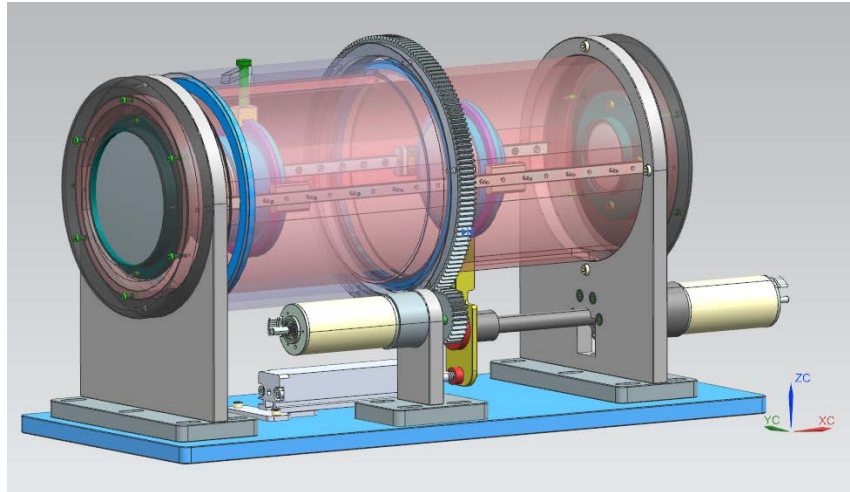
Şekil 2.23 Odak mercek grubu hareketi için seçilen motorun konumlandırılması

6. Silindirik kam mekanizması ile hareket ettirilecek olan zum merceği grubunun konumlandırılması Şekil 2.24’de gösterilmiştir. Hareket için gerekli olan bağlantı ara parçaları tasarlanmıştır.



Şekil 2.24 Zum merceği grubunun konumlandırılması

7. Hareketsiz merceği grupları için ön ve arka kapak tasarlanarak Şekil 2.25’de gösterilmiştir, bağlantı arayüzleri oluşturulmuştur.



Şekil 2.25 Hareketsiz merceği gruplarının konumlandırılması

2.1. Sistemin Bütünlenmesi

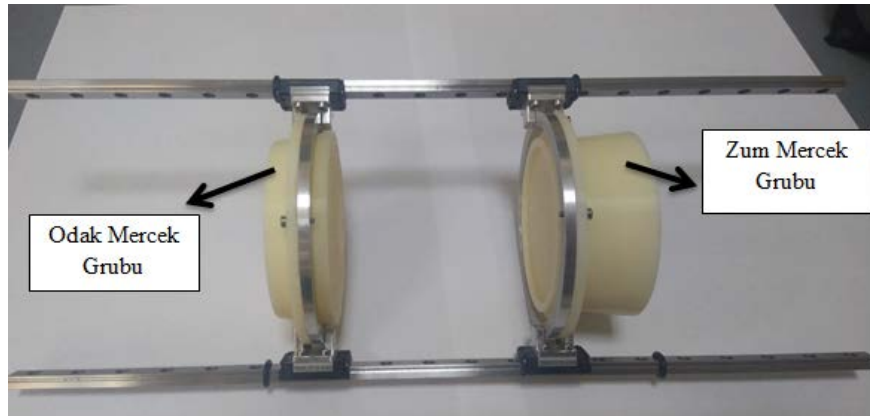
Tasarımı yapılan parçaların üretimi için malzeme seçimi yapılmıştır. Sistemi taşıyacak olan parçalar için alüminyumdan üretim yapılırken, diğer parçalar için sanayi plastikleri tercih edilmiştir. Sanayi plastikleri tercih edilerek sistemin daha düşük ataletle sahip olması hedeflenmiştir. Dişlilerin üretimi için poliasetal (delrin) tercih edilirken, mercek grupları ve kam gibi parçalar için akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) tercih edilmiştir.

Şekil 2.26'da ABS malzemeden üretilen odak mercek grubunun, alüminyumdan üretilen araparçalar ile doğrusal yatağa bütünlenmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.26 Odak mercek grubun bütünlenmesi

Sistemin bütünlemesine üretilen hareketli mercek gruplarını doğrusal yatağa montajı ile başlanmıştır, Şekil 2.27'de gösterilmektedir.



Şekil 2.27 Hareketli mercek gruplarının bütünlenmesi

Hareketli mercek gruplarının bütünlendiği doğrusal yatak, sabit kısma bütünlendiği ve Şekil 2.28’de gösterilmiştir.



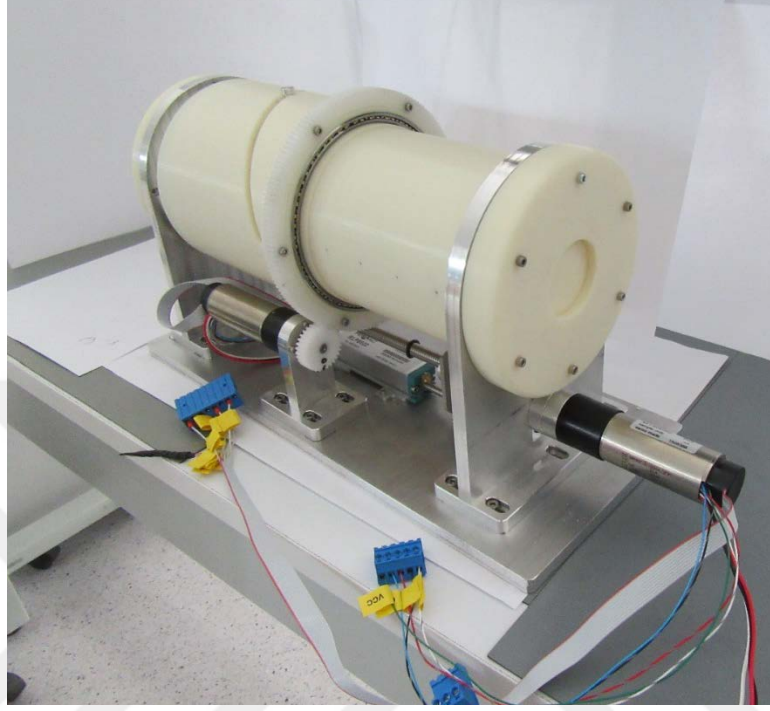
Şekil 2.28 Doğrusal yatağın bütünlendiği

Sabit kısmın üstünde bulunan silindirik kam, ince kesit rulmanlar ve delrin malzemeden üretilen dişli parçası bütünlendiği ve Şekil 2.29’da bütünlendiği hali gösterilmektedir.



Şekil 2.29 Silindirik kamın bütünlendiği

Değişken odaklı görüntüleme sisteminin yerleştirileceği alt tabla ve parçalar tasarıma uygun olarak bütünlenmiştir. Sistemin bütünlenmiş hali Şekil 2.30 ve Şekil 2.31 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.30 Sistemin bütünlenmesi



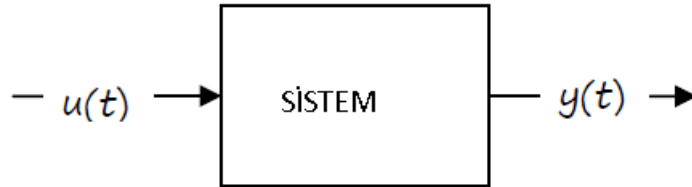
Şekil 2.31 Sistemin bütünlenmesi

3. SİSTEM MODELLEME VE KONTROL

3.1. Sistem Matematiksel Modeli

Dinamik sistemlerin modellenmesinden kasıt, sistemlerin matematiksel modelinin oluşturulmasıdır. Dinamik bir sistemin matematik modeli, incelenen sistemin dinamik davranışını belirten matematiksel ifadeler bütünü olarak tanımlamaktır. Sistemlerin sadece bir tek matematik modeli yoktur.

Sistemlerin matematiksel modeli elde edilirken iki yöntem kullanılır. Bunlardan ilki fizik kanunları ve diferansiyel denklemler kullanılarak sistemin analitik yaklaşım ile matematiksel olarak modellenmesidir. Ancak doğrusal olmayan sistemlerde ve çok girişli çok çıkışlı sistemlerde bu yöntemi uygulamak zorlaşır. Böyle durumlarda bir diğer yöntem olan sistem tanımlama (system identification) tekniği tercih edilir; bu deneysel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımı uygulayabilmek için sistemin üretilmiş olması gerekir. Elde bulunan sisteme bilinen bir giriş sinyali verilerek, oluşan çıktı sinyaline bakılarak sistem modellenmeye çalışılır. Sistem tanımlama işleminin temel blok diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Giriş $u(t)$ çıkış $y(t)$ olan dinamik sistem

Fiziksel yöntemlerle elde edilen model ile sistem tanımlamadan elde edilen model arasında aşağıda belirtildiği gibi farklılıklar vardır [18].

- Modellerin geçerliliği sınırlıdır; çünkü sistemi tam olarak modellemek mümkün değildir. Bu nedenle sistemin çalışma aralığı belirlenip, belirlenen çalışma aralığı için sistem tanımlama yapılır.
- Yapısı ve kullanımı oldukça basittir.

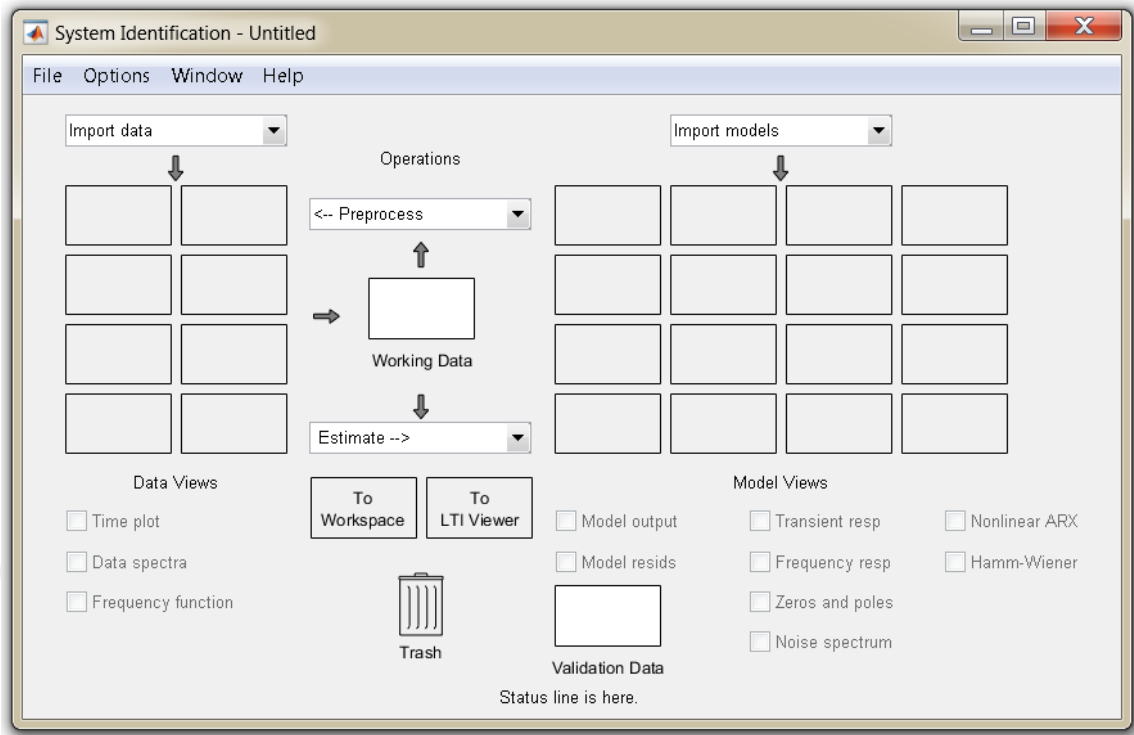
Sistem tanımlamaya başlamadan önce bilinmelidir ki bu yöntemin tam bir kuralı yoktur ancak aşağıdaki durumlar dikkatli bir şekilde göz önüne alınmalıdır [18]. İyi bir sistem tanımlama yapabilmek için öncelikle sistemin yaklaşık bir matematiksel modeli tanımlanmalıdır.

- Sistem tanımlama için gerekli veriler toplanırken, sinyal gürültüsü ve dış çevreden gelebilecek fiziksel gürültüler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Bütün sistem tanımlama süreci zamana ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilir, zamandan bağımsız sistem modeli elde edebilmek için bu duruma dikkat edilmelidir.
- Bazı uygulamalar da doğru bir şekilde ölçülemeyen sinyal ve değişkenler olabilir.

Sistem tanımlama oldukça karmaşık bir süreçtir. Tanımlama işlemini doğru yapabilmek için sisteme uygun girdi sinyali verilmelidir. Girdi sinyalinin çeşidi, genliği ve frekansı sistem tanımlama için büyük önem taşır. Bu nedenle girdi sinyali aşağıdaki özelliklere göre dikkatli bir şekilde seçilmelidir:

- Girdi sinyali, tanımlama yapılacak sistemin çalışma aralığını kapsamalıdır.
- Girdi sinyalinin genliği sistemi harekete geçirecek ve çıkış algılayıcısındaki gürültüleri yenip okunabilecek şekilde belirlenmelidir.
- Girdi sinyalinin frekansı ise sistemin bant genişliğinin bir kaç kat üzerinde olması gerekmektedir.

Sistem tanımlama yöntemi Matlab® yazılımı yardımıyla uygulanabilir; Matlab® yazılımında bulunan system identification toolbox® sayesinde gerçek sisteme gönderilen girdi ve elde edilen çıktıyı kullanarak matematiksel modeller elde edilebilir.

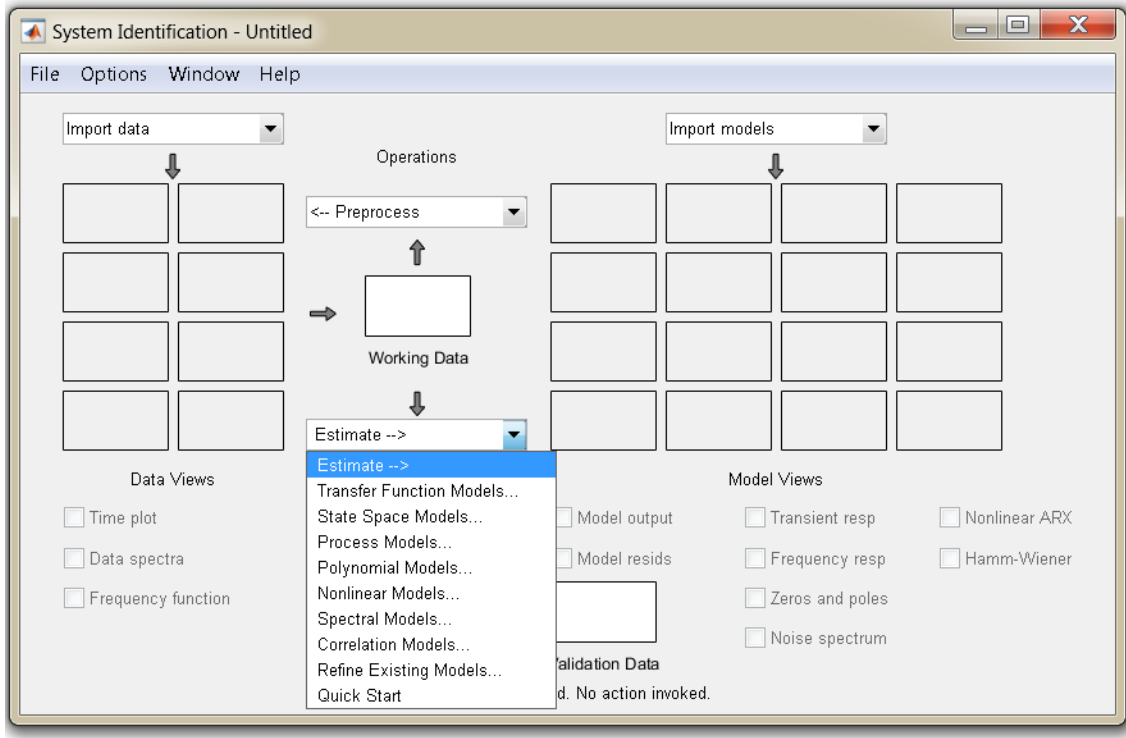


Şekil 3.2 Matlab® system identification toolbox® arayüzü

Şekil 3.2.'de verilen Matlab® system identification toolbox® modülünü kullanmak için aşağıdaki adımlar uygulanır;

- System identification toolbox® arayüzüne Matlab®'in komut satısına 'ident' yazarak ya da uygulamalar kısmında System Identification bloğuna tıklayarak ulaşılabilir.
- Import data sekmesi kullanılarak; frekans yada zaman düzleminde elde edilen sistem tanımlama verileri ve kullanılacak test verileri toolbox'a yüklenir.
- Yüklenen veriler arayüzün Data Views bölümünde yer alacaktır, bu veriler arasından sistem tanımlama için kullanılacak olan veri, sürüklenerek Working Data bölümüne yüklenir. Aynı şekilde Validation Data bölümünede test verisi yüklenir.
- Sistem tanımlamada kullanılacak çalışma ve test verisi belirlendikten sonra; preprocess bölümünde bu veriler ile ilgili yapılmak istenen değişiklikler yapılabilir; örneğin iki sistem tanımlama verisi birleştirilip tek bir sistem tanımlama verisi elde edilebilir.

- Verileri tanımlama ve gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra Şekil 3.3'de gösterilen Estimate bölümüne gelerek istenilen seçenekte sistem modeli elde edilir.



Şekil 3.3 Sistem tanımlama arayüzünde bulunan model tipi seçenekleri

Oluşturulan modeller Model Views bölümünde yer alır. Bu bölümün altında yer alan Model output seçeneği seçilerek oluşturulan model ile “Validation Data” bölümünde bulunan veri ile test yapılır.

Bu adımlar gerekli sayıda tekrarlanarak sistem için öngörülen en yakın matematiksel model elde edilmeye çalışılır.

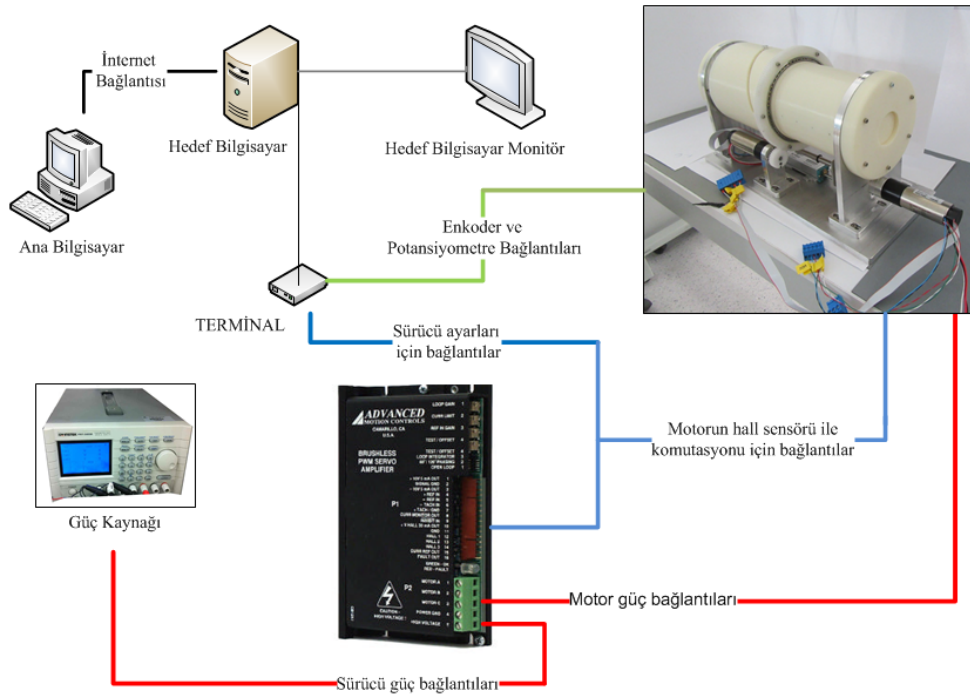
Bu tez kapsamında yapılacak olan değişken odaklı görüntüleme sisteminin matematiksel modeller sistem tanımlama yöntemi ile elde edilmiştir.

Sistem tanımlama işlemi ve sistemin kontrolü adına yapılan çalışmalar Matlab üzerinden yapılmıştır. Bunu da simulink real time test ile gerçekleştirmek planlanmaktadır. Simulink gerçek zaman testin temel yapısı Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



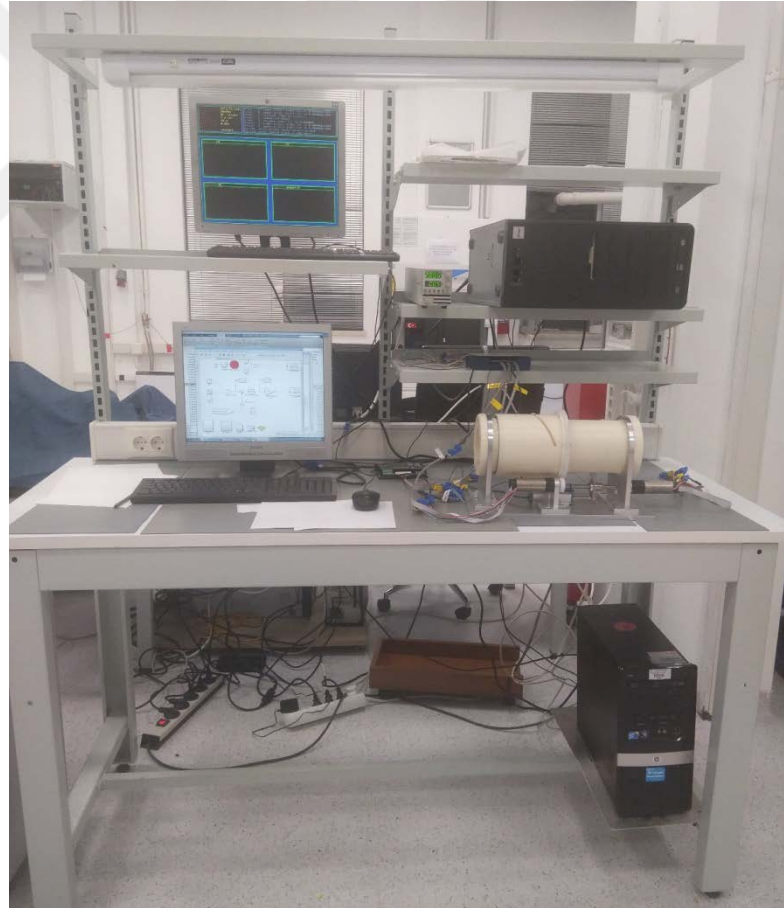
Şekil 3.4 Simulink® gerçek zamanlı test düzeneği [19]

Bu yöntem temel anlamda simulink üzerinden hazırlanan program ile gerçek sistemi kontrol etmek için kullanılmaktadır. Simulink' de hazırlanan komutlar ile sistem çalıştırılıp; yine aynı şekilde sistem üzerinde bulunan algılayıcılardan gelen verilen okunarak veri toplanarak gerekli çalışmalar yapılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında hazırlanan gerçek zamanlı test sistemi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



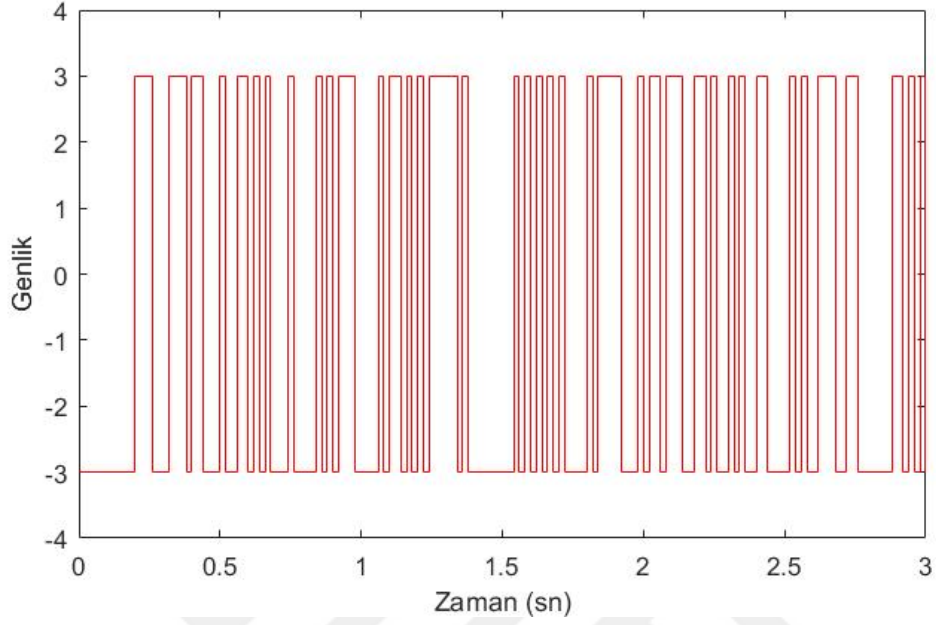
Şekil 3.5 Değişken odaklı görüntüleme sistemi için hazırlanan gerçek zamanlı test sistemi

Sistemin tasarımı ve üretimi tamamlandıktan sonra Şekil 3.5’de bağlantıları gösterilen gerçek zamanlı test düzeneği Şekil 3.6’da gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Bu test düzeneği sayesinde sistem üzerinden veriler toplanmıştır. Sistem iki ayrı motor içermektedir ancak iki ayrı mekanizma olduğu için, verilerin toplanması için iki mekanizmanın birlikte çalışması gibi bir zorunluluk yoktur, sistem içerisinde bulunan iki ayrı mekanizmanın sırayla çalıştırıp veri toplanması yeterli görülmüştür. Öncelikle mekanizmalara uygulanacak girdi sinyalleri üretilmiştir, bunun için MATLAB® idinput komutu kullanılarak sahte rastgele ikili ardışık sinyalleri (İng. pseudodandom binary sequence PRBS) üretilmiştir. Bu sinyallerin genliği sistemin çalışma aralığının sağlayacak şekilde deneysel olarak belirlenmiştir, frekansı ise sistemin kapalı çevrim frekansından en az iki kat yüksek olmalıdır, bu sinyallerin frekansı için 30-40 Hz’e kadar olan aralıktaki değerler yeterli görülmüştür.

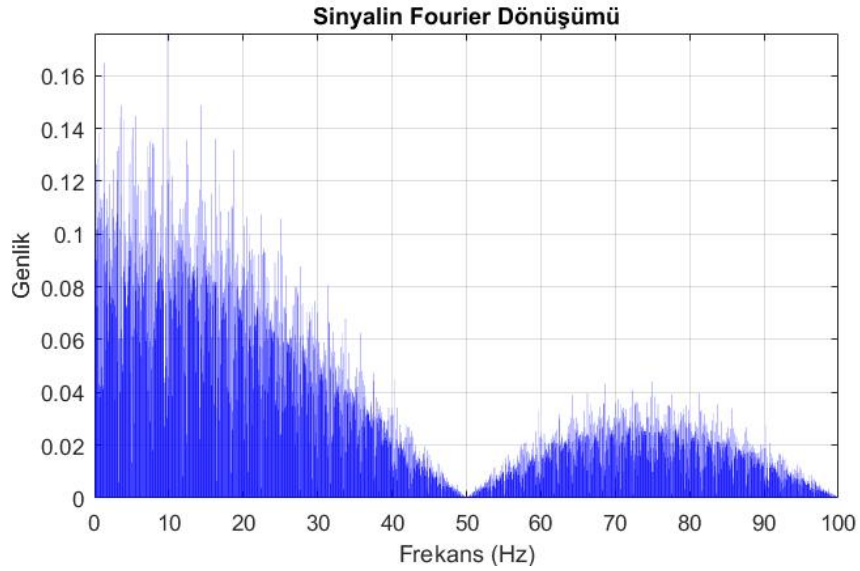


Şekil 3.6 Değişken odaklı görüntüleme sistemi için hazırlanan gerçek zamanlı test sistemi

Odak mekanizması için üretilen sinyalin zaman domaindeki gösterimi Şekil 3.7’de gösterilmiştir, bu sinyalin frekans domaindeki karşılığı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

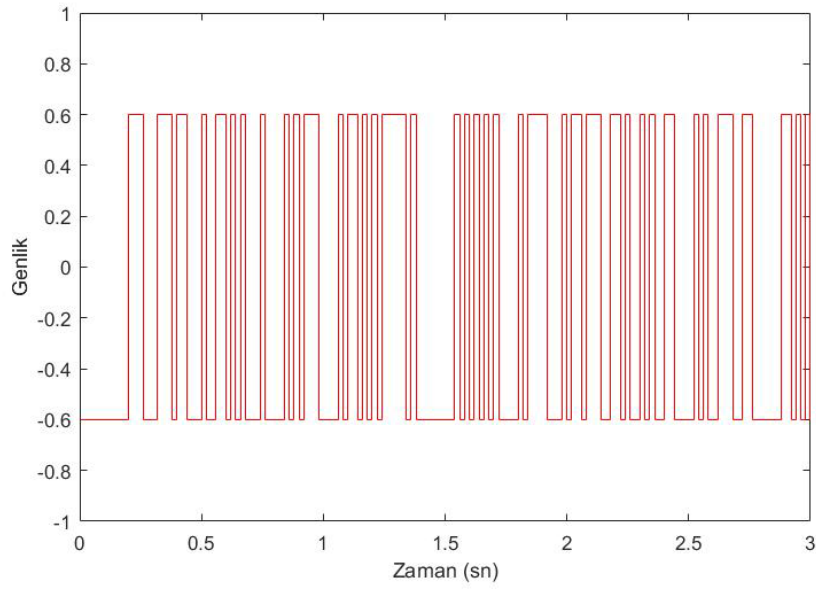


Şekil 3.7 Odak mekanizması için üretilen PRBS

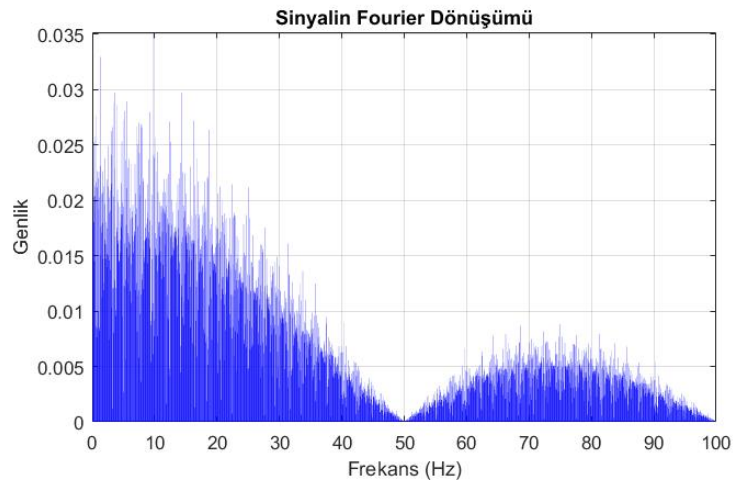


Şekil 3.8 Odak mekanizması için üretilen PRBS

Zum mekanizması için üretilen PRBS'nin frekans aralığı odak mekanizmasında belirlenen frekans aralığıdır, genliği ise kamın hareket aralığını tarayacak şekilde deneysel olarak belirlenmiştir. Zum mekanizması için üretilen sinyalin zaman domaindeki gösterimi Şekil 3.9'de gösterilmiştir, bu sinyalin frekans domaindeki karşılığı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

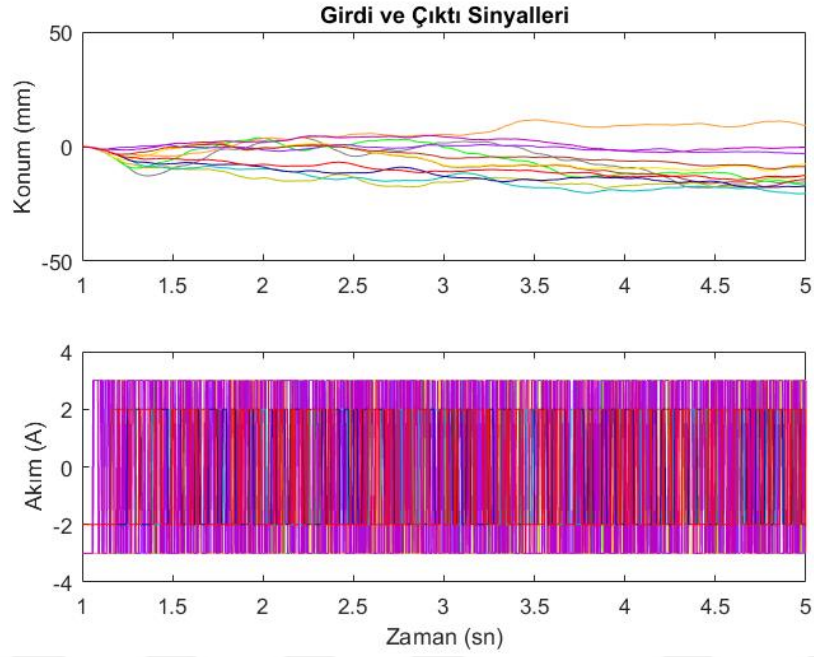


Şekil 3.9 Zum mekanizması için üretilen PRBS

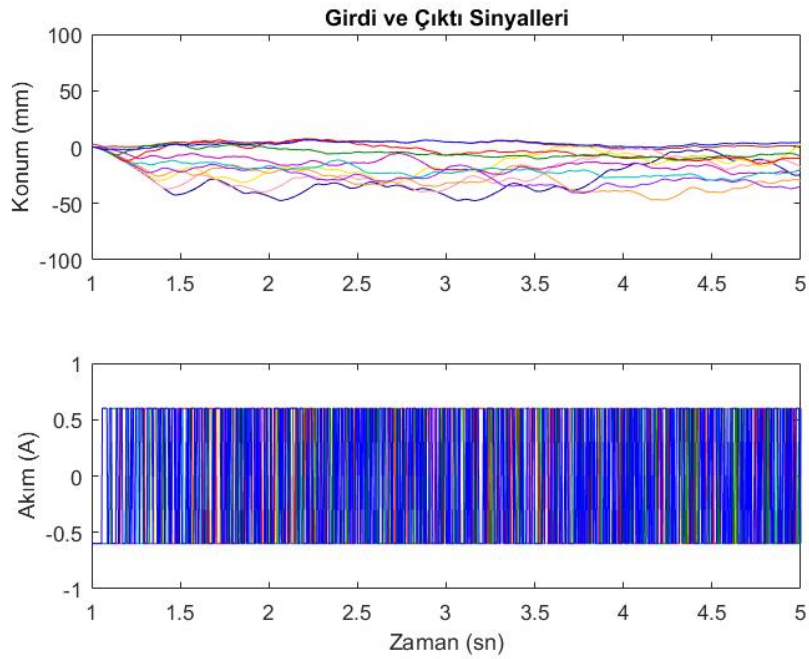


Şekil 3.10 Zum mekanizması için üretilen PRBS

Genlik değerleri ve frekans aralıkları belirlenen sinyallerden, zum ve odak mekanizması için ayrı ayrı 10 adet üretilmiş ve sistemlere girdi olarak verilmiştir. Bu sinyaller yardımıyla transfer fonksiyonun elde edilmesi hedeflenmiştir.

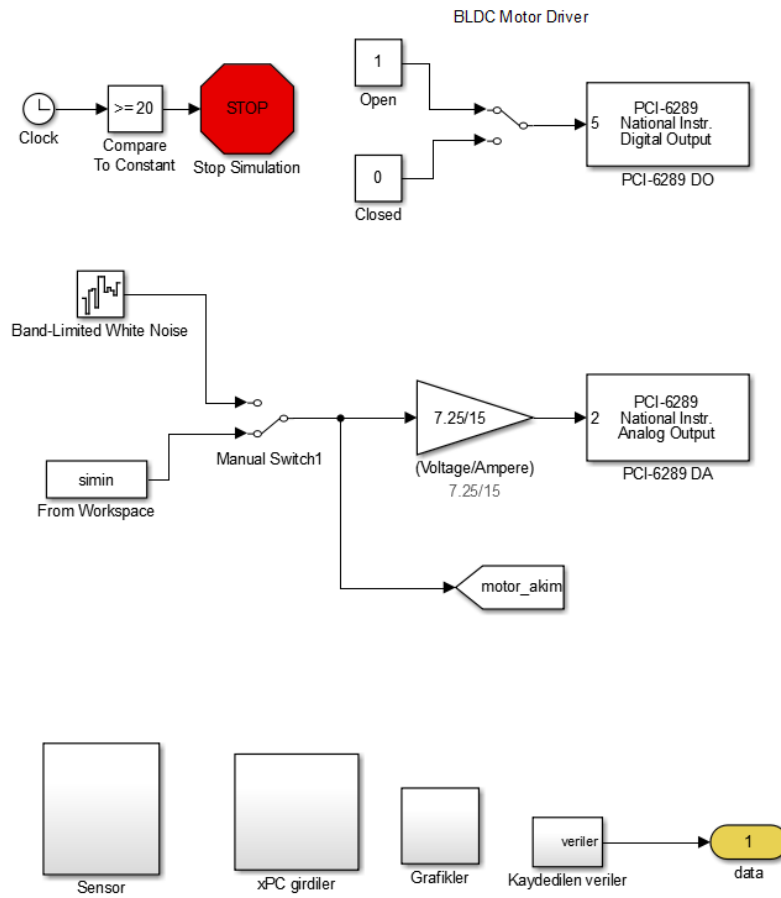


Şekil 3.11 Odak mekanizmasına uygulanan PRBS sinyali ve sistemin cevabı



Şekil 3.12 Zum mekanizmasına uygulanan PRBS sinyali ve sistemin cevabı

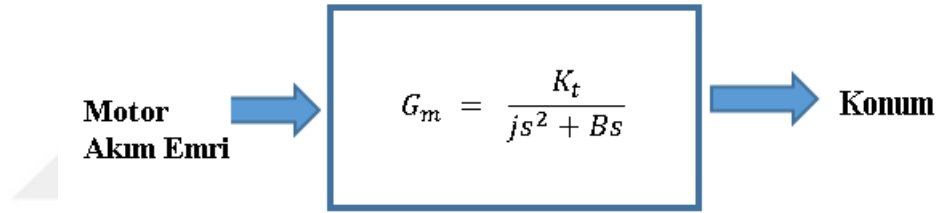
Zum mekanizmasına uygulanan PRBS sinyaline ve sistemin cevabına Şekil 3.11’de örnek gösterilmiştir. Odak mekanizmasına uygulanan PRBS sinyaline ve sistemin cevabına Şekil 3.12’de örnek gösterilmiştir. Sistem tanımlama işlemi için kullanılan simulink modeli Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Zum ve odak mekanizması için kullanılan sistem tanımlama simulink modeli, sistemlerde kullanılan motor ve enkoderler farklı olduğu için modellerin sensör kısımlarında farklılık vardır. Zum ve odak mekanizmaları için oluşturulan PRBS sinyallerindeki simulink modelinde bulunan simin bloğu ile Şekil 3.13’de gösterilen gerçek zamanlı test sistemine gönderilerek, her bir girdi sinyali için 20 saniye süresince sistemin gerçek cevabı toplanmıştır.



Şekil 3.13 Sistem Tanımlama için veri toplarken kullanılan Simulink® modeli

Şekil 3.13’de gösterilen simulink modeli, tezin ileri bölümlerinde kullanılan modellerin temelini oluşturmaktadır. Burada sensör, bloğunun içerisinde motorun enkoderinden okunan değer ile hareketli mercek gruplarında meydana gelecek olan doğrusal konum değişimi arasındaki ilişkiyi sağlayan işlemler yer almaktadır. xPC girdiler bloğunda ise zum ve odak mekanizmasında kullanılan motor sürücüsüne ait ayarlarla ilgili işlemler yer almaktadır. Grafikler bloğunda ise, gerçek zamanlı test yaparken, hedef bilgisayarın monitöründe değişiminin takip edilmesi istenen değişkenler ile ilgili işlemler yer almaktadır.

Sistem tanımlamada, transfer fonksiyonunun girdi ve çıktılarını belirleyip ona göre tanımlama yapılmalıdır. Zum ve odak mekanizmalarında sistemin girdisi motor akım emri, sistemin çıktısı ise hareketli mercek gruplarının doğrusal konumudur ve Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



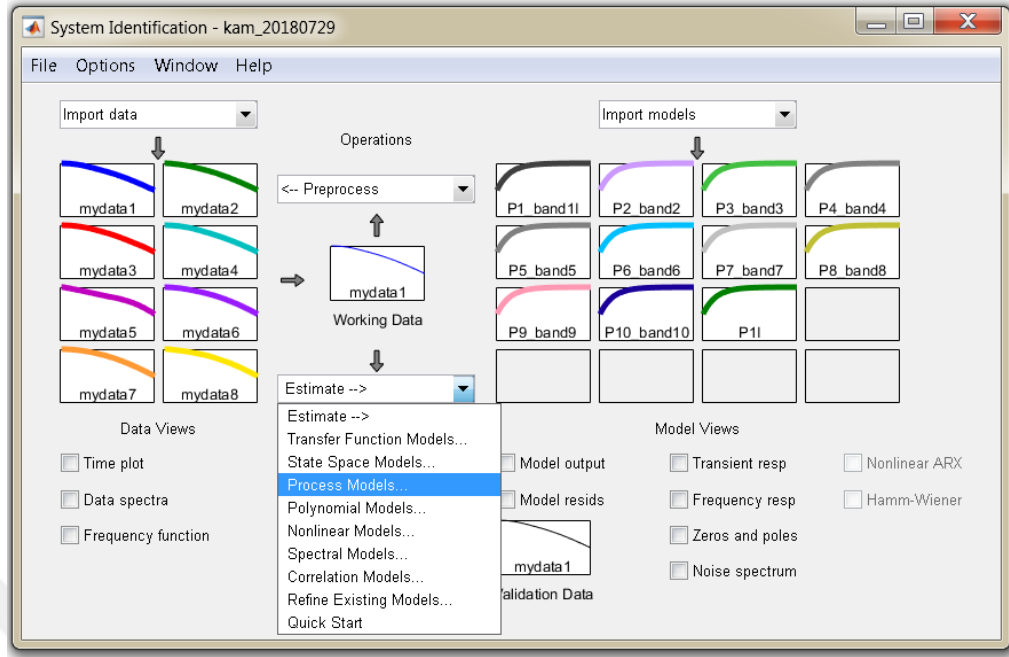
Şekil 3.14 Sistem transfer fonksiyonunun genel yapısı

K_t : Motor tork sabiti ($\text{kgmm}^2/\text{s}^2\text{A}$)

j : Eylemsizlik momenti (kgmm^2)

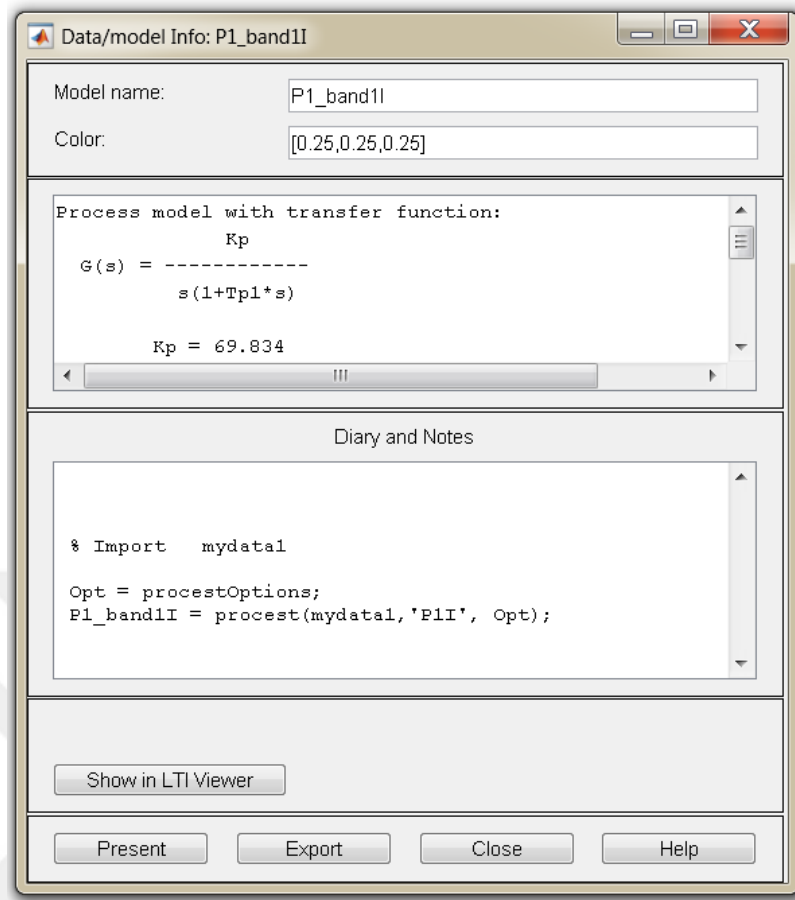
B : Sürtünme (kgmm/s)

Elde edilen veriler Şekil 3.2’de gösterilen sistem tanımlama ara yüzüne aktarılmıştır. Bu arayüzde Working data ve validation data değiştirilerek en uygun transfer fonksiyonu bulunmaya çalışılmıştır. Sistem tanımlama yaparken oluşan ekran görüntüsü Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Sistem tanımlama işlemi

Şekil 3.15’de gösterilen veriler zum mekanizması için yapılan sistem tanımlama ekranıdır, sistem tanımlama yapılırken estimate sekmesinin altında bulunana process models seçeneği kullanılmıştır, bu seçeneğe göre elde edilen sistem modelinin formatı denklem (3.1) de ve Şekil 3.16’da gösterildiği gibidir. Sistemin elde etmek istediğimiz transfer fonksiyonu denklem (3.2)’deki gibidir.



Şekil 3.16 Process model cevabı

$$G_m = \frac{K_{pp}}{T_p 1s^2 + s} \quad (3.1)$$

$$G_m = \frac{K_t}{j s^2 + B s} \quad (3.2)$$

Denklem (3.1) ile denklem (3.2) arasındaki ilişki denklem (3.3) deki gibidir, denklemler arasındaki ilişkiye bağlı olarak denklem (3.4) ve (3.5) elde edilmiştir.

$$G_m = \frac{K_t/B}{\frac{j}{B} s^2 + s} \quad (3.3)$$

$$K_{pp} = \frac{K_t}{B} \quad (3.4)$$

$$T_p 1 = \frac{j}{B} \quad (3.5)$$

Sistem tanımlama işlemi odak ve zum mekanizmaları için process model seçilerek oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller, denklem (3.4) ve denklem (3.5) kullanılarak J ve B değerleri bulunmuştur.

Tablo 3.1 Zum mekanizması için process model cevapları

Data Adı	Process model cevabı		J (kgmm ²)	B (kgmm/s)	Benzerlik (%)
P1_band1	$K_{pp}=69.834$	$T_p 1=0.01418$	6.82	480.93	% 88.68
P2_band2	$K_{pp}=91.753$	$T_p 1=0.010665$	3.9	366.2	%89.81
P3_band3	$K_{pp}=45.124$	$T_p 1=0.009806$	7.3	744.61	%74.85
P4_band4	$K_{pp}=83.899$	$T_p 1=0.029172$	11.61	400.48	%82.39
P5_band5	$K_{pp}=75.031$	$T_p 1=0.015545$	6.96	447.81	%65.67
P6_band6	$K_{pp}=131.55$	$T_p 1=0.030$	7.66	255.4	%81.59
P7_band7	$K_{pp}=144.04$	$T_p 1=0.0332$	7.74	233.26	%86.19
P8_band8	$K_{pp}=63.246$	$T_p 1=0.0225$	11.95	531.25	%80.25
P9_band9	$K_{pp}=62.378$	$T_p 1=0.0267$	14	538.65	%73.81
P10_band10	$K_{pp}=80.627$	$T_p 1=0.0503$	20.8	416.73	%68.64

Matlab sistem tanımlama kullanılarak elde edilen zum mekanizması modelleri Tablo 3.1’de, odak mekanizması modelleri ise Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Odak mekanizması için process model cevapları

Data Adı	Process model cevabı		J (kgmm ²)	B (kgmm/s)	Benzerlik (%)
P1_l2_b4_n4	$K_{pp} = 16.461$	$T_p 1 = 0.10496$	82.61	826,2	% 89.62
P1_l2_b3_n4	$K_{pp} = 19.491$	$T_p 1 = 0.11716$	81.63	697,757	% 87.57
P1_l2_b5_n4	$K_{pp} = 15.398$	$T_p 1 = 0.089$	78.60	883,231	% 91.53
P1_l2_b6_n4	$K_{pp} = 15.597$	$T_p 1 = 0.0911$	9,435	871,96	% 94.54
P1_l3_b1_n6	$K_{pp} = 12.38$	$T_p 1 = 0.0572$	62,83	1098,54	% 86.6
P1_l3_b1_n4	$K_{pp} = 13.231$	$T_p 1 = 0.118$	113,06	1027,88	% 86.11
P1_l3_b2_n6	$K_{pp} = 16.376$	$T_p 1 = 0.104$	86,37	830,483	% 88.05
P1_l3_b3_n4	$K_{pp} = 19.175$	$T_p 1 = 0.095$	67,37	709,25	% 82.11
P1_l3_b3_n6	$K_{pp} = 20.128$	$T_p 1 = 0.1009$	67,56	675,67	% 87.8
P1_l3_b4_n4	$K_{pp} = 14.544$	$T_p 1 = 0.0695$	64,52	935,09	% 77.5
P1_l3_b4_n6	$K_{pp} = 19.558$	$T_p 1 = 0.1399$	96,65	695,367	% 92.57
P1_l3_b5_n6	$K_{pp} = 16.559$	$T_p 1 = 0.08119$	66,06	821,3	% 68.56

Sistem tanımlama arayüzünde kullanılan datalar ile literatürde var olan sistem tanımlama kodu çalıştırılarak Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu kodun sistem tanımlama arayüzünden farkı ise, modelle ilgili bilenen parametreleri tanımlayıp, sadece bilinmeyenleri hesaplanmasına olanak sağlamasıdır. Motor tork sabiti bilindiği için, eylemsizlik momenti ve sürtünme değerleri bu yöntem ile elde edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.3 Kodlarla hesaplanan zum mekanizması modelleri [21]

Model	Kökler	J (kgmm ²)	B (kgmm/s)
$\frac{33600}{5.932s^2 + 507.8s}$	Kök=0, -85,6	5.932	507.8
$\frac{33600}{7.039s^2 + 404.7s}$	Kök=0, -57.49	7.039	404.7
$\frac{33600}{7.298s^2 + 381.2s}$	Kök=0, -52.26	7.298	381.2
$\frac{33600}{7.622s^2 + 297.5s}$	Kök=0, -39.03	7.622	297.5
$\frac{33600}{7.733s^2 + 312.1s}$	Kök=0, -40.35	7.733	312.1
$\frac{33600}{8.018s^2 + 245s}$	Kök=0, -30.55	8.018	245
$\frac{33600}{8.388s^2 + 229.8s}$	Kök=0, -27.39	8.388	229.8
$\frac{33600}{8.96s^2 + 230.4s}$	Kök=0, -25.71	8.96	230.4
$\frac{33600}{9.258s^2 + 211.8s}$	Kök=0, -22.87	9.258	211.8
$\frac{33600}{9.369s^2 + 215.1s}$	Kök=0, -22.95	9.369	215.1

Sistem tanımlama arayüzü ve kodlarla elde edilen modeller arasındaki farklılıklar görülmektedir, bu farklılıklar sistem dinamiğinden kaynaklanmaktadır, sistemde bulunan doğrusal olmayanlar sürtünmeler, sistem tasarım ve bütünlemesinden kaynaklanan değişken boşluklar, sistem dinamiği üzerinde etkilidir.

Tablo 3.4 Kodlarla hesaplanan odak mekanizması modelleri [21]

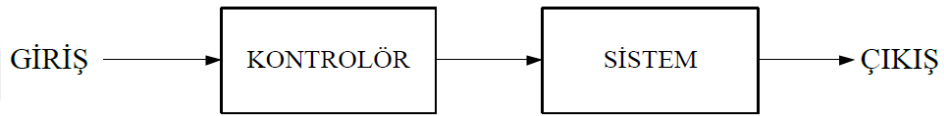
Model	Kökler	J (kgmm²)	B (kgmm/s)
$\frac{13600}{88.12s^2 + 988.8s}$	Kök=0, -11.22	88.12	988.8
$\frac{13600}{81.61s^2 + 924.6s}$	Kök=0, -11.32	81,61	924.6
$\frac{13600}{78.95s^2 + 872.3s}$	Kök=0, -11.04	78,95	872,3
$\frac{13600}{80.35s^2 + 836.4s}$	Kök=0, -11.22	80,35	836.4
$\frac{13600}{87.22s^2 + 1055s}$	Kök=0, -11.40	87.22	1055
$\frac{13600}{82.4s^2 + 1030s}$	Kök=0, -12.5	82,4	1030
$\frac{13600}{92.39s^2 + 799.7s}$	Kök=0, -8.65	92.39	799.7
$\frac{13600}{83.65s^2 + 866.6s}$	Kök=0, -10.35	83.65	866.6
$\frac{13600}{82.2s^2 + 784.3s}$	Kök=0, -9.5	82.2	784.3
$\frac{13600}{82.7s^2 + 768s}$	Kök=0, -9.28	82.7	768
$\frac{13600}{77.41s^2 + 807.2s}$	Kök=0, -10.42	77.41	807.2
$\frac{13600}{90.14s^2 + 722.7s}$	Kök=0, -8.01	90.14	722.7
$\frac{13600}{81.41s^2 + 741s}$	Kök=0, -9.1	81.41	741

Elde edilen transfer fonksiyonları üzerinden sistem kontrolü için kontrolcü blokları tasarlanıp hem simülasyon ortamında hem de gerçek zamanlı test düzeneği sayesinde sistemin kendisinde denenerek sonuçların gözlemlenmesi hedeflenmiştir.

3.2. Kontrol Sistem Tasarımı

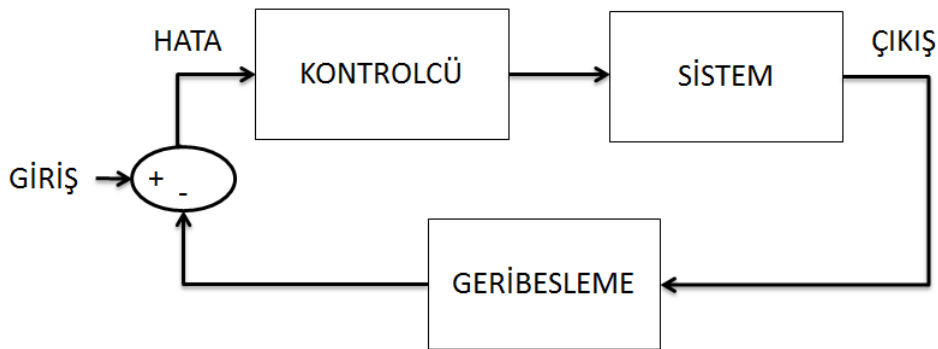
Bir sistemin amacına uygun bir şekilde çalışması için iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekir. Kontrol sistemleri kontrol yöntemine göre hazırlanmış bir kontrol ve kontrol edilecek sistemden oluşur. En temel yapıda kontrol sistemi açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere ikiye ayrılır.

Şekil 3.17’de gösterildiği gibi kontrol sistemine uygulanan giriş üzerinde çıkışın etkisinin olmadığı kontrol yöntemidir.



Şekil 3.17 Açık çevrimli kontrol sistemi

Kapalı çevrim kontrol sisteminde ise çıkış bir algılayıcı yardımıyla okunarak sistemin girişine etki eder. Burada amaç kontrol sistemine uygulanan yani hedeflenen giriş ile kontrol sisteminin çıkışını karşılaştırıp elde edilen hata miktarını en aza indirgeyecek şekilde sistem girişini ayarlamaya çalışmaktır. Bu yöntem temel yapısıyla Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 Kapalı çevrimli kontrol sistemi

Bu tezde mercek gruplarının konum kontrolünü doğru bir şekilde yapabilmek için kapalı çevrim kontrol sistemi yapısının uygulanması öngörülmektedir.

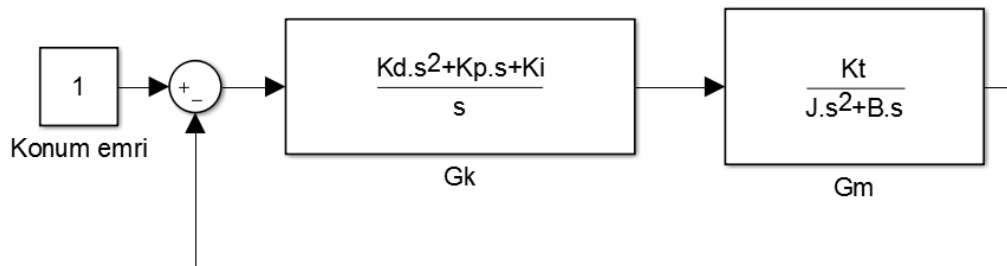
Kontrolör içerisinde bulunan yapılar uygulanan kontrol yöntemine göre farklılık göstermektedir.

Kontrol edilecek sistemin (plantın) tek giriş ve tek çıkışlı olması durumunda en fazla tercih edilen yaklaşım “klasik” olarak adlandırılan kontrol yöntemlerinin kullanılmasıdır. Klasik kontrol yöntemlerinde kontrol kuralı; kontrol sisteminin referans girişi ve ölçülen sistem çıkışı arasındaki işletim hatası (hata) baz alınarak hata, hata integrali ve hata türevi büyüklüklerinden uygun şekilde seçilenlerin, genliği plant dinamiği ve başarımlar istenilen doğrultusunda belirlenen kazanç katsayılarıyla çarpılmasıyla elde edilmektedir[20].

Klasik kontrol yöntemi PID (oransal, türevsel ve türevsel) kontrol yöntemi olarak da bilinir. Kontrolör yapısına göre P, PI ve PD gibi çeşitleri de vardır. PID kontrol yöntemi kullanıldığında kontrolör; $K_p + K_i/s + K_d s$ yapısını alırken P kontrol yöntemi için K_p ; PI kontrol yöntemi için $K_p + K_i/s$; PD içinse $K_p + K_d s$ şeklini alır.

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür çalışmasında daha önceki çalışmalar incelenmiş ancak kontrol yönteminin net bir şekilde belirtilmediği gözlemlenmiştir. Tez konusu kapsamında yapılacak sistemde öncelikle klasik kontrol yönteminin uygulanması hedeflenmektedir. Gerçek zamanlı olarak test edilmesi öngörülmektedir.

Değişken odaklı görüntüleme sisteminde bulunan odak ve zum mekanizmaları için iki ayrı kontrol sistemi tasarlanmıştır, bu sistemlerin genel yapısı Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 Kontrol sisteminin genel yapısı

Kontrol sistemi tasarımı için kutup yerleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem için kullanılacak olan kontrolcü transfer fonksiyonu G_k , denklem (3.6)'da verilmiştir. Kontrol edilecek olan sistemlerin genel modeli G_m , denklem (3.1)'de verilmiştir. Şekil 3.19 'da gösterilen kontrol sisteminin transfer fonksiyonu denklem (3.7)'de gösterildiği gibi yazılmıştır. Denklem (3.8) ve (3.9) da belirtilen düzenlemelerden sonra, kontrol sisteminin kapalı çevrim transfer fonksiyonunun genel yapısı denklem (3.10)'daki gibi elde edilmiştir.

$$G_k = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (3.6)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = G = \frac{G_m * G_k}{1 + G_m * G_k} \quad (3.7)$$

$$G_m * G_k = \frac{(K_d s^2 + K_p s + K_i) * K_t}{j s^3 + B s^2} \quad (3.8)$$

$$1 + (G_m * G_k) = \frac{j s^3 + ((K_d * K_t) + B) s^2 + (K_p * K_t) s + (K_i * K_t)}{j s^3 + B s^2} \quad (3.9)$$

$$G = \frac{(K_d * K_t) s^2 + (K_p * K_t) s + (K_i * K_t)}{j s^3 + ((K_d * K_t) + B) s^2 + (K_p * K_t) s + (K_i * K_t)} \quad (3.10)$$

Kontrol sisteminin kapalı çevri transfer fonksiyonu üçüncü mertebeden olduğu için, kutup yerleştirmede denklem (3.11) kullanılmıştır. Denklem (3.10)'un paydası ile denklem (3.12) eşitlenerek, kontrol parametreleri denklem (3.13), (3.14) ve (3.15) de gösterildiği gibi elde edilmiştir

$$D_{3(s)} = (s + w_c) * (s^2 + 2\zeta w_c + w_c^2) \quad (3.11)$$

$$D_{3(s)} = s^3 + (2\zeta + 1)w_c s^2 + (2\zeta + 1)w_c^2 s + w_c^3 \quad (3.12)$$

$$K_d = \frac{((2\zeta + 1)w_c * j) - B}{K_t} \quad (3.13)$$

$$K_p = \frac{((2\zeta + 1)w_c^2 * j)}{K_t} \quad (3.14)$$

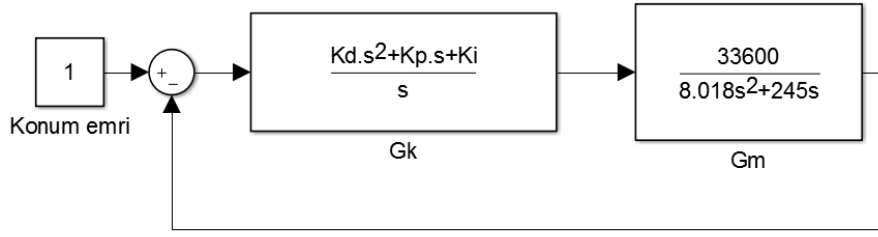
$$K_i = \frac{(j * w_c)}{K_t} \quad (3.15)$$

Kontrol parametreleri denklemlerinde yer alan doğal frekans (w_c) ve bant genişliği (f) değeri belirlenirken, endüstride benzer sistemlerin zum ve odak süreleri yani yerleşme zamanı (T_s) incelenmiştir, incelemeler sonucunda denklem (3.17) ve (3.16) kullanılarak değerler belirlenmiştir. Sönüm oranı (ζ) ise 0.707 olarak alınmıştır. Yapılan incelemelerde odak süresinin 2 ile 5 sn arasında değiştiği, zum süresinin ise 4 ile 8 sn arasında değiştiği gözlemlenmiştir [22].

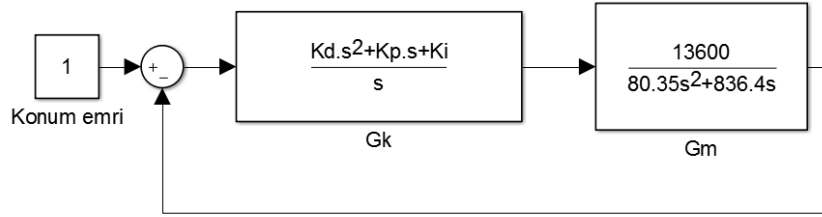
$$w_c = 2 * \pi * f \quad (3.16)$$

$$T_s \leq \frac{4}{w_c * \zeta} \quad (3.17)$$

Sistem tanımlama ile elde edilen zum ve odak modelleri incelenerek modellerde bulunan j ve B değerlerinin değişimine dikkat edilerek, bu değişimde ortalama bir aralığa sahip olan modeller seçilmiştir, bu modeller kullanılarak kontrol parametreleri belirlenmiştir. Sistem tanımlama tabloları incelenirse, seçilen modellerden daha iyi yüzde ile benzerlik sonucu veren modeller mevcut ancak ortalama değerlere sahip model seçilerek, anlık doğru sonuç değil, sürdürülebilir, tekrarlanabilir sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3.20 Zum mekanizması kontrol sistem tasarımı



Şekil 3.21 Odak mekanizması kontrol sistem tasarımı

Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’ de gösterilen zum ve odak mekanizması modellerine göre kutup yerleştirme ile belirlenen parametreler Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’ da verilmiştir.

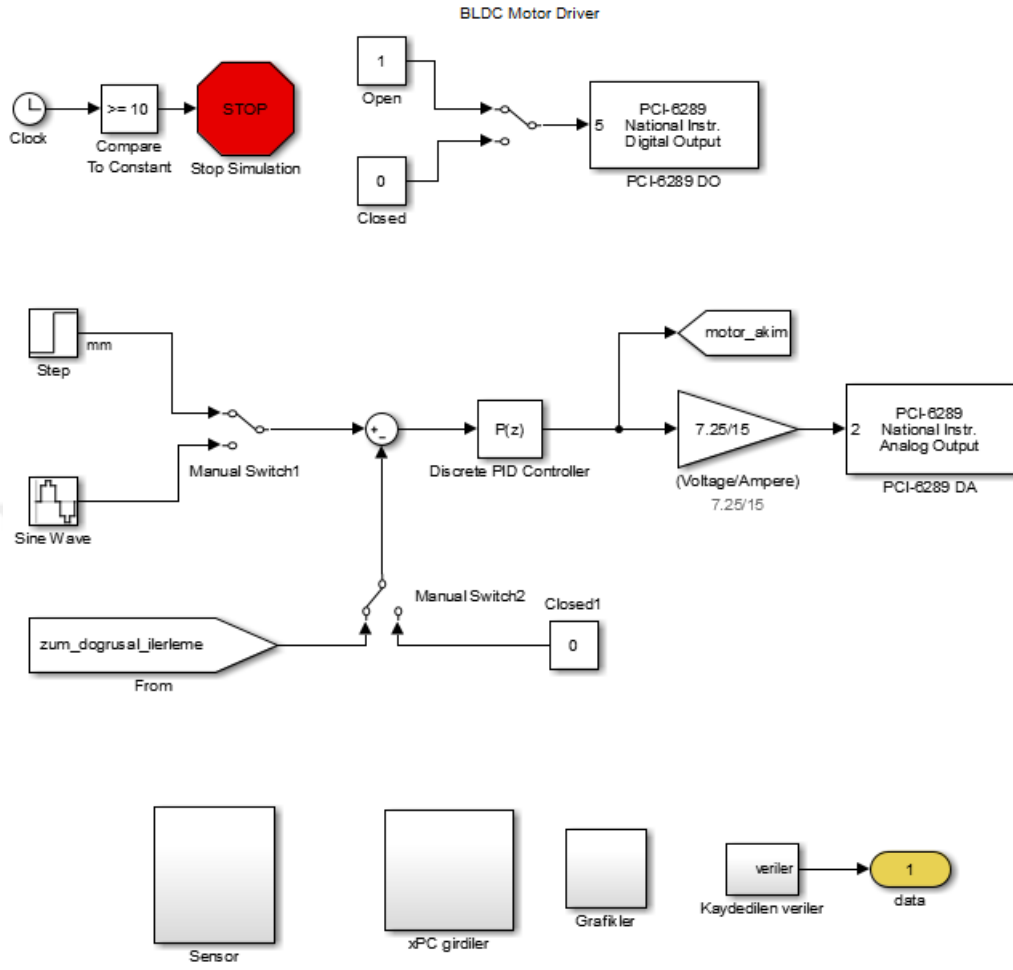
Tablo 3.5 Zum mekanizması için kontrol parametreleri

f (H)	w (rad/s)	zeta	Ts (s)	Kp	Ki	Kd
5	2*pi*5	0.707	0.18	0.56	7.39	0.01

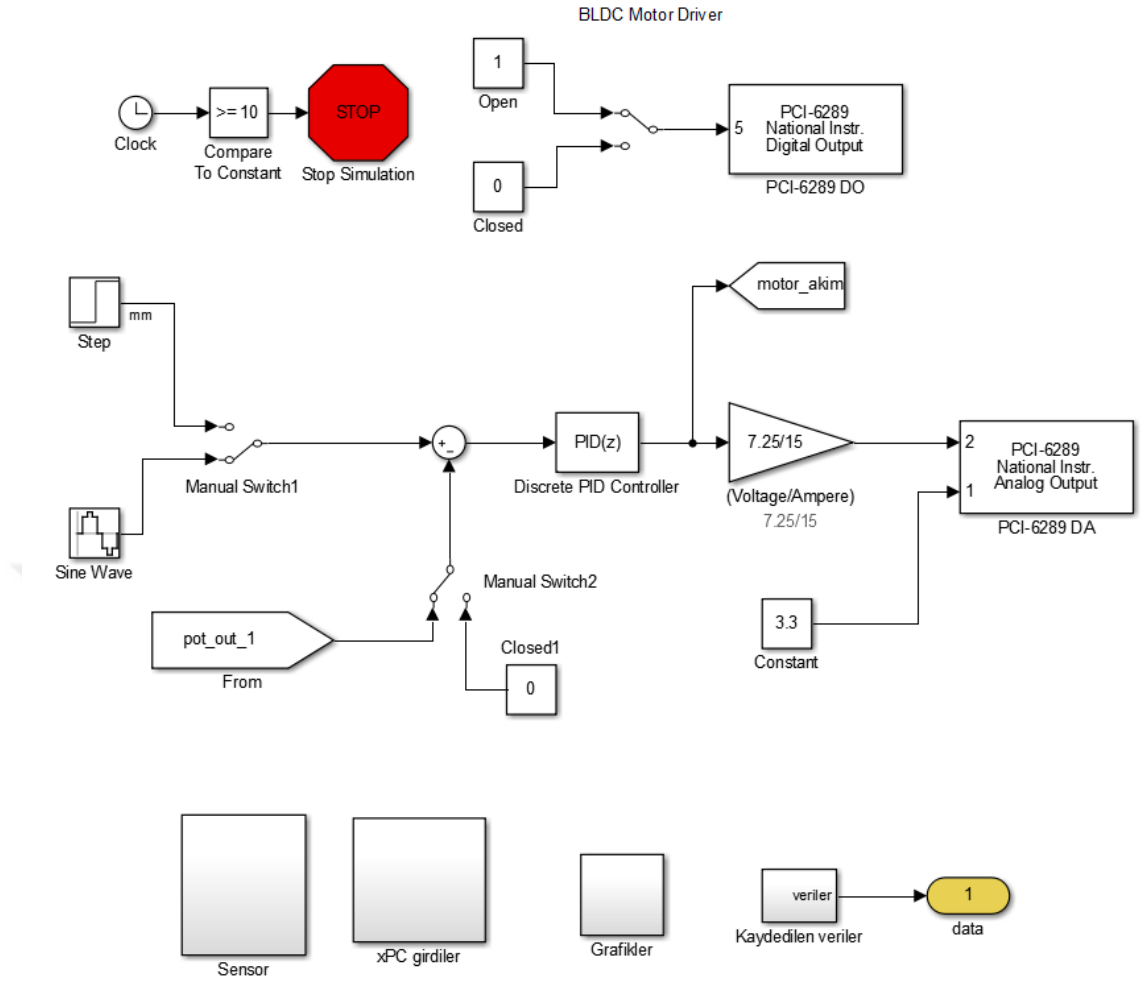
Tablo 3.6 Odak mekanizması için kontrol parametreleri

f (H)	w (rad/s)	zeta	Ts (s)	Kp	Ki	Kd
1.5	2*pi*1.5	0.707	0.6	1.26	4.94	0.07

Şekil 3.22’de zum mekanizması için hazırlanan gerçek zamanlı test modeli ve Şekil 3.23’de odak mekanizması için hazırlanan gerçek zamanlı test modeli verilmiştir, bu modellerde manual switch2 ve kontrolcü bloğundaki değişimlerle, mekanizma hem açık çevrim hem de kapalı çevrim olarak çalıştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.22 Zum mekanizması için kontrolcünün gerçek zamanlı test edilmesi

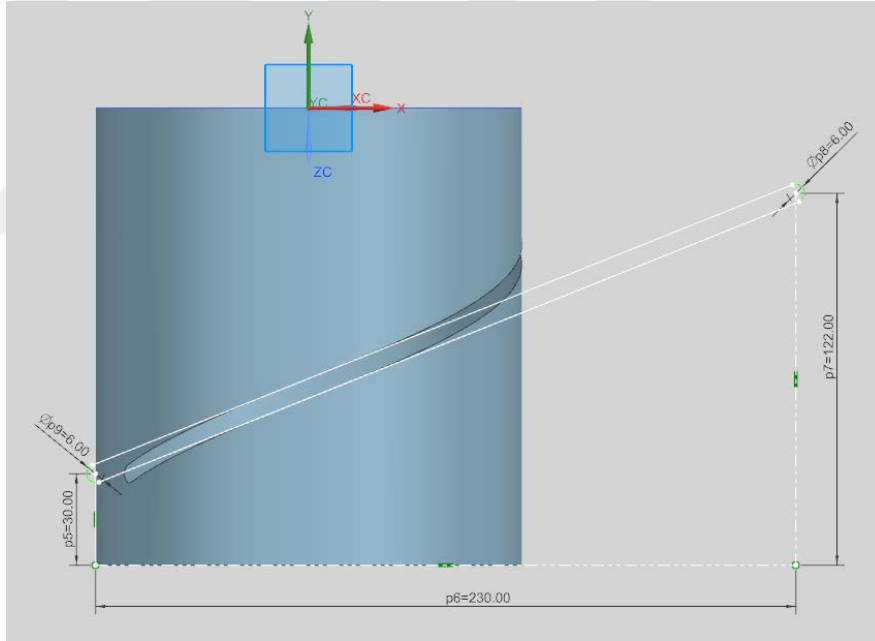


Şekil 3.23 Odak mekanizması için kontrolcünün gerçek zamanlı test edilmesi

4. BİLGİSAYAR BENZETİMLERİ VE TESTLER

4.1. Mekanizmaların Doğrulanması

Kam mekanizması tasarlanırken Şekil 4.1 gösterildiği gibi tasarlanmıştır. Kamın hareket ettiği açı aralığında doğrusal hareket eğrisi tanımlanarak tasarım yapılmıştır. Burada 122 mm olarak verilen ölçü, mercek grubunun doğrusal olarak alması gereken yol miktarını göstermektedir. 230 mm değeri kamın kaç derecede dönüş yaparak bu hareketi sağlayacağını gösterir. Tasarlanan kamın dış çapı 140 mm'dir. 230 mm ile kamın dönüş açısı arasındaki ilişki denklem (4.1) ve (4.2) 'te gösterilmiştir.

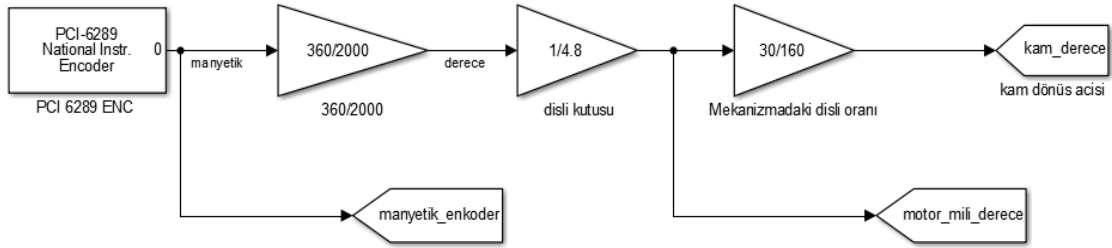


Şekil 4.1 Kam mekanizmasının tasarımı

$$tur = \frac{230}{2 \times \pi \times r} = \frac{230}{2 \times \pi \times 70} = 0.52 \quad (4.1)$$

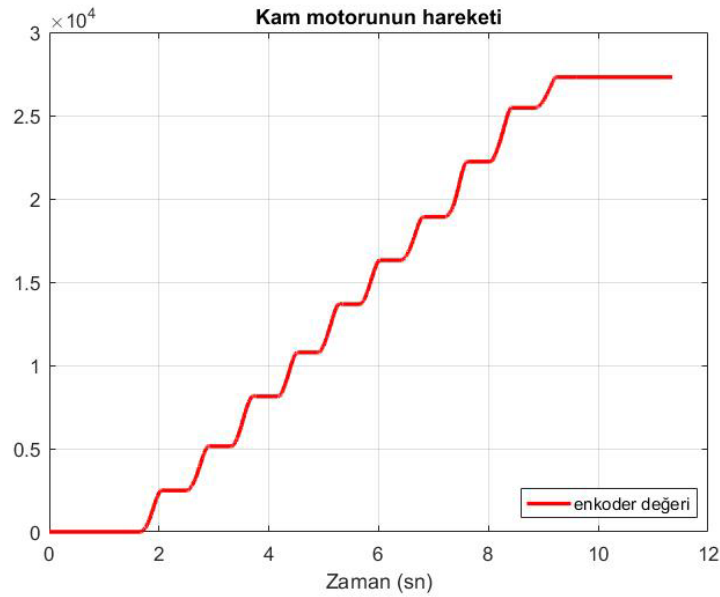
$$kam \text{ toplam dönüş açısı} = tur \times 360 = 0.52 \times 360 = 187.2^\circ \quad (4.2)$$

Zum mekanizmasındaki motora akım verilmeden, sadece enkoder okuyarak kam hareketi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yapılırken Şekil 4.2’de gösterilen model kullanılmıştır, motorda bulunan dişli kutusu aktarma oranına ve değişken odaklı sistem tasarımında bulunan dişli aktarma oranına dikkat edilmiştir.

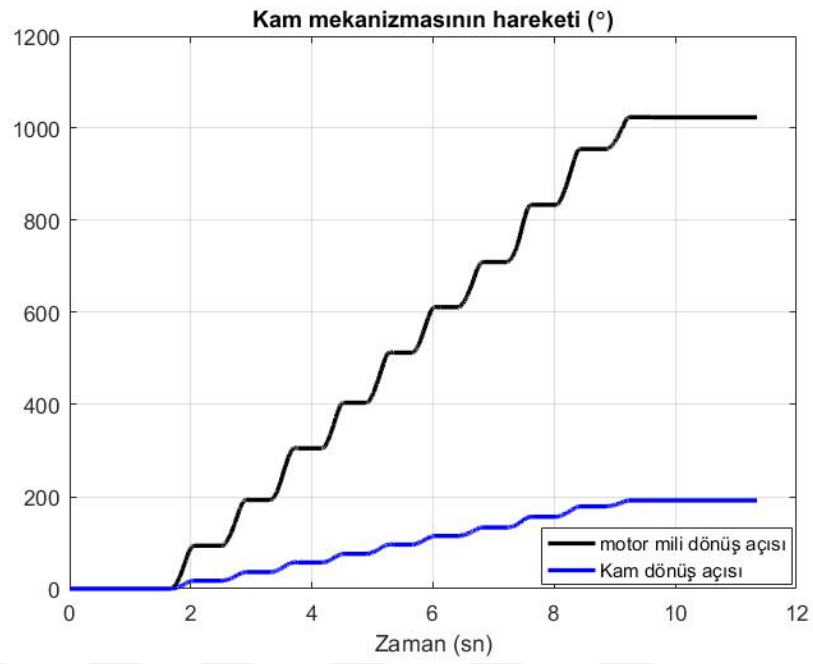


Şekil 4.2 Kam mekanizmasının doğrulanması

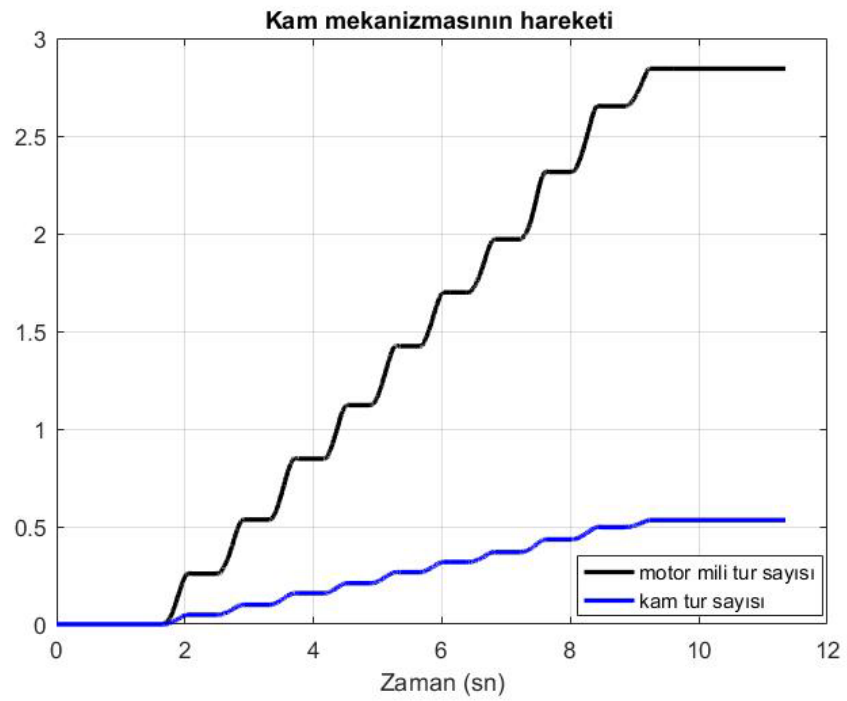
Şekil 4.2’de gösterilen model kullanılarak, kam mekanizması manuel olarak çalıştırılıp deneysel olarak, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te gösterilen sonuçlar elde edilmiştir, ayrıca kam mekanizmasının tasarlanan hareketi gerçekleştirdiğinde yarım tur döndüğü deneysel olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3 Enkoderin saydığı değer

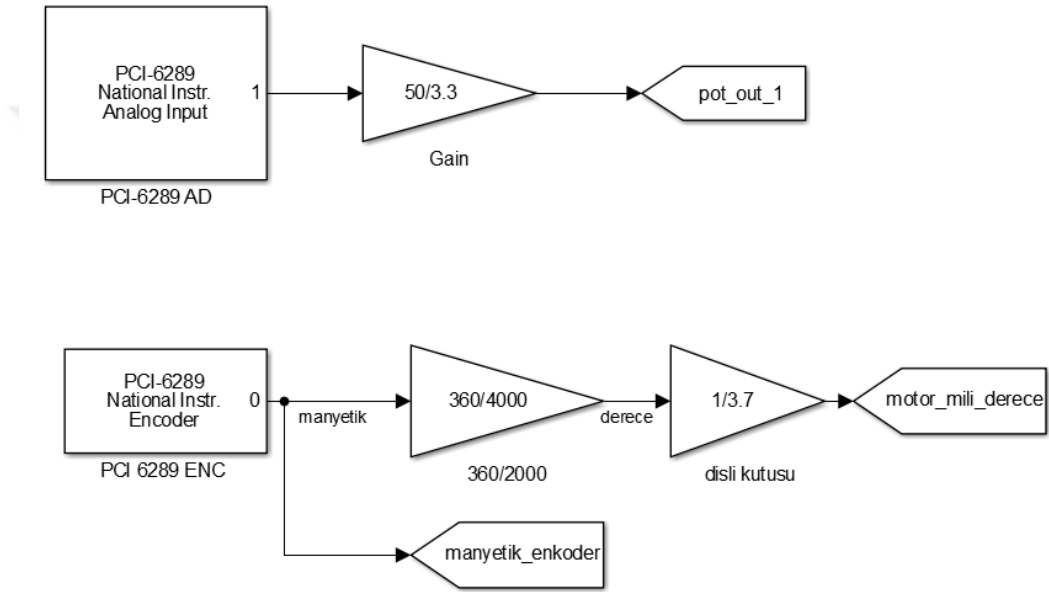


Şekil 4.4 Dönüş açıları

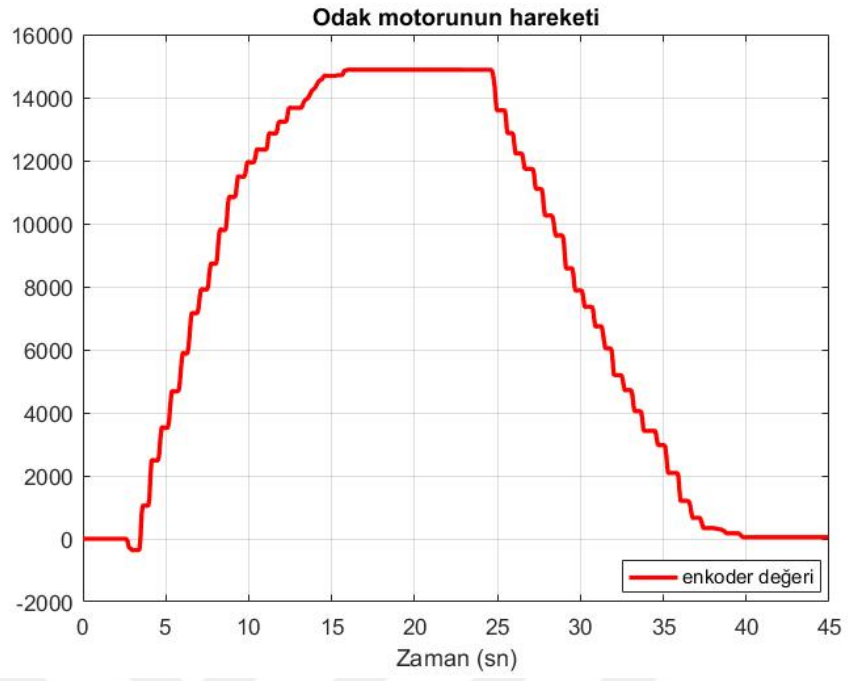


Şekil 4.5 Tur sayısı

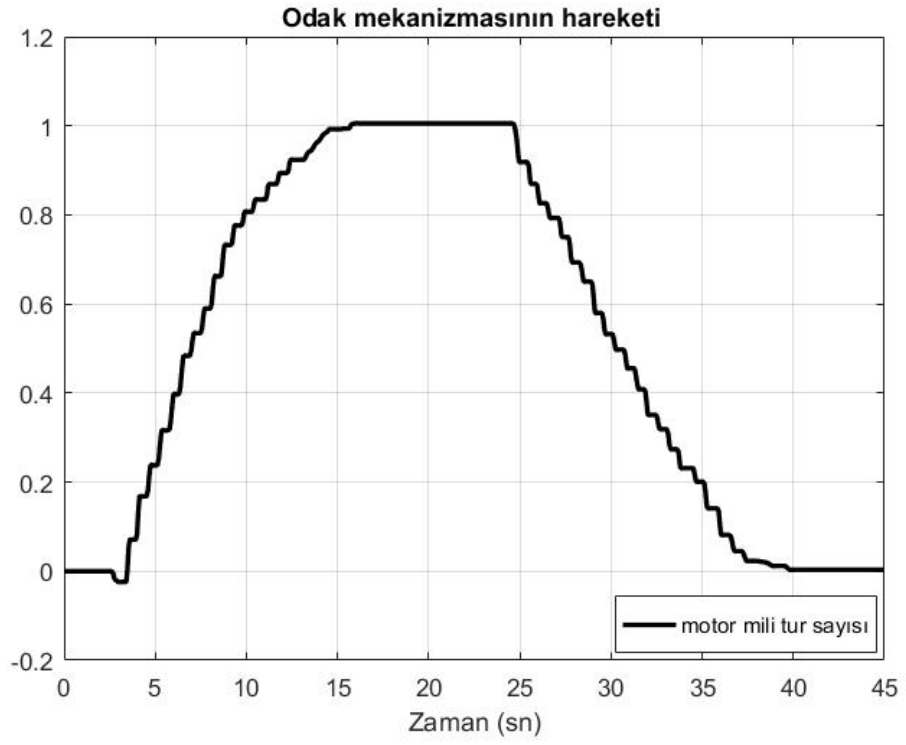
Odak mekanizmasının doğrulanması için benzer bir işlem uygulanmıştır. Burada odak mekanizmasında kullanılan motorun özelliklerinde tur başına ilerleme miktarı 2 mm olarak belirtilmiştir. Bu hareketi gözlemlemek için odak mekanizmasına bağlı olan doğrusal potansiyometre kullanılmıştır. Şekil 4.6'da gösterilen ve motor dişli kutusu oranlarının içeren model çalıştırılarak, deneysel olarak manuel bir tur motor hareket ettirilip doğrusal potansiyometredeki konum değişimine bakılmıştır, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görüldüğü üzere motorun hareketine karşılık 2 mm'lik konum değişimi sağlanmıştır.



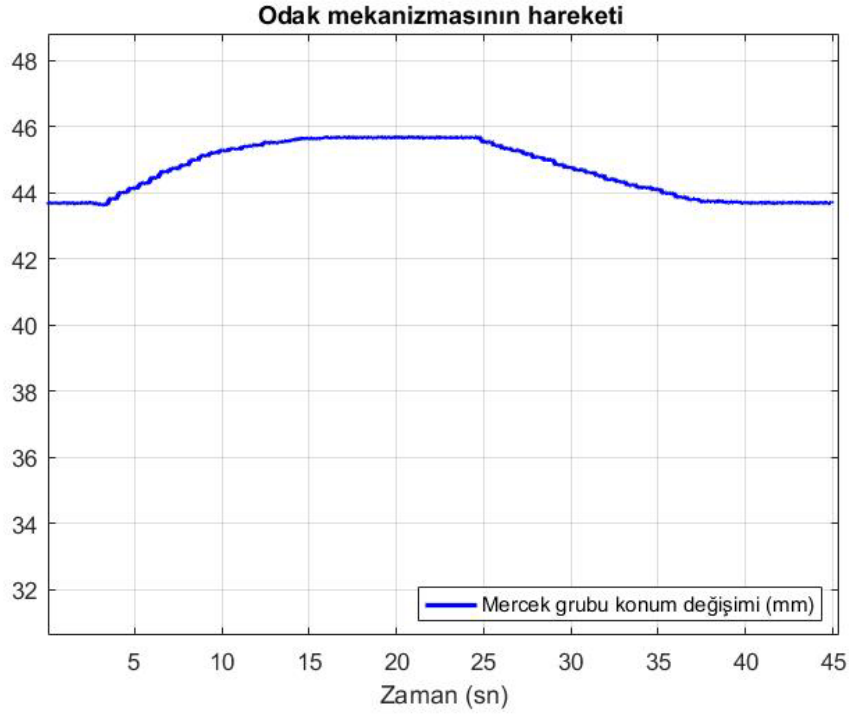
Şekil 4.6 Odak mekanizmasının doğrulanması



Şekil 4.7 Odak motoru enkoder değeri



Şekil 4.8 Odak motor mili tur sayısı



Şekil 4.9 Doğrusal potansiyometre ile okunan konum değişimi

4.2. Kutup Yerleştirme ile Elde Edilen PID Kontrolcü Benzetim ve Testleri

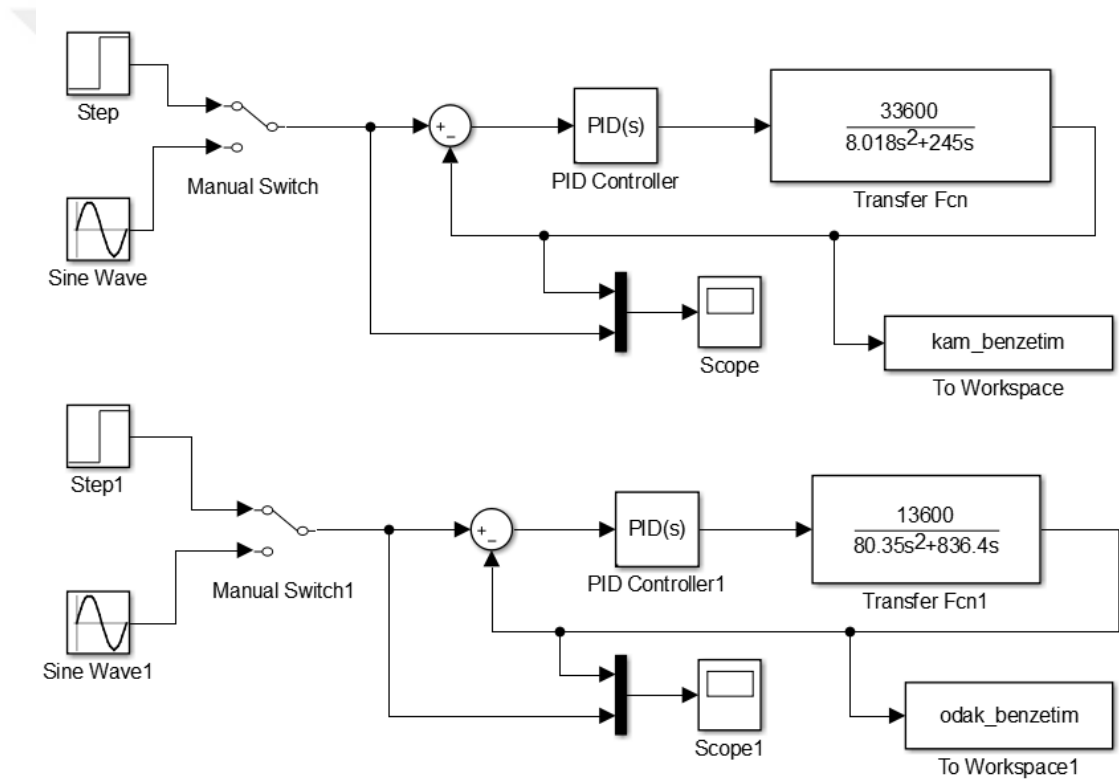
Değişken odaklı görüntüleme sistemlerinde kontrol sisteminden beklenen, hareketli mercek gruplarının istenilen süre içerisinde, istenilen konuma getirmesidir. Bu bağlamda istenilen yerleşme zamanına göre kontrol parametreleri kontrol parametreleri kontrol sistem tasarım bölümünde belirlenmiştir.

Kontrol sistem tasarımı bölümünde elde edilen kontrol parametreleri Şekil 4.10'da gösterilen benzetim modeline yerleştirilmiştir. Benzetim modeli kullanılarak, sistemin sabit konum emrine ve sinüs konum emrine tepkileri incelenmiştir. Benzetim ve testler gerçekleştirilirken örnekleme frekansı 1 kHz'dir.

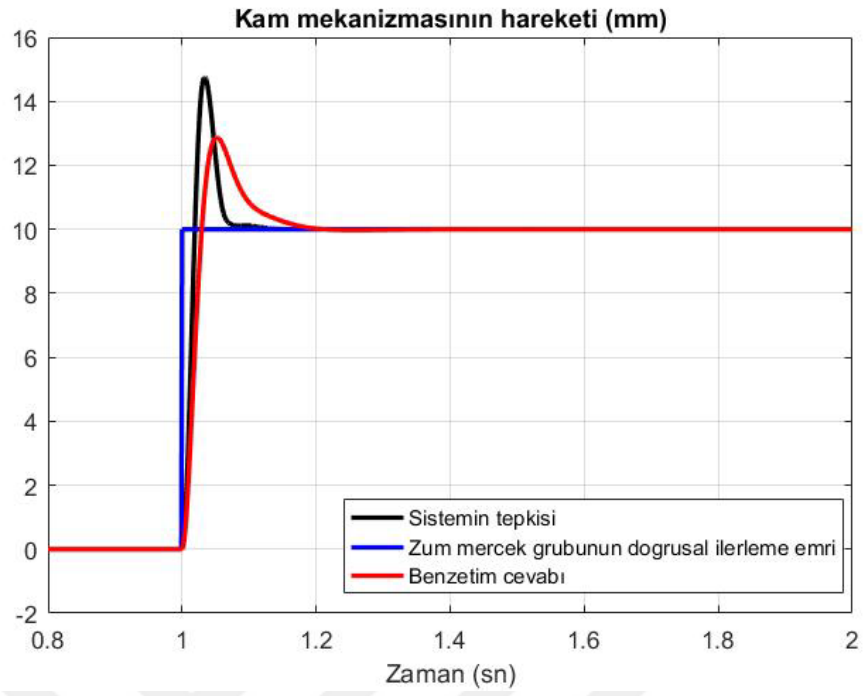
Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de kutup yerleştirme ile elde edilen kontrol parametreleri ile denetlenen kam mekanizmasına uygulanan 10 mm ve 5 mm sabit konum emrine, sistemin gerçek tepkisi ve benzetim sonucu verilmiştir, burada sistemin gerçek tepkisinin benzetim değerinden daha aşmalı ve daha hızlı yerleşme zamanı sergilediği gözlemlenmiştir. Şekil 4.13'de ise genliği 3, frekansı 1 Hz olan sinüs emrine, sistemin tepkisi ve benzetim sonucu

verilmiştir, sistemin gerçek tepkisinin , istenilenin konum emrine ulaştığı gözlemlenmiştir. Kam mekanizması için, sistem benzetimi ile sistemin gerçek sonucunun uyumlu olduğu gözlemlenmiştir, bu uyum kontrol parametreleri belirlenirken kullanılan sistem modeli ile sistemin gerçek tepkisi arasındaki ilişkiden kaynaklanmaktadır.

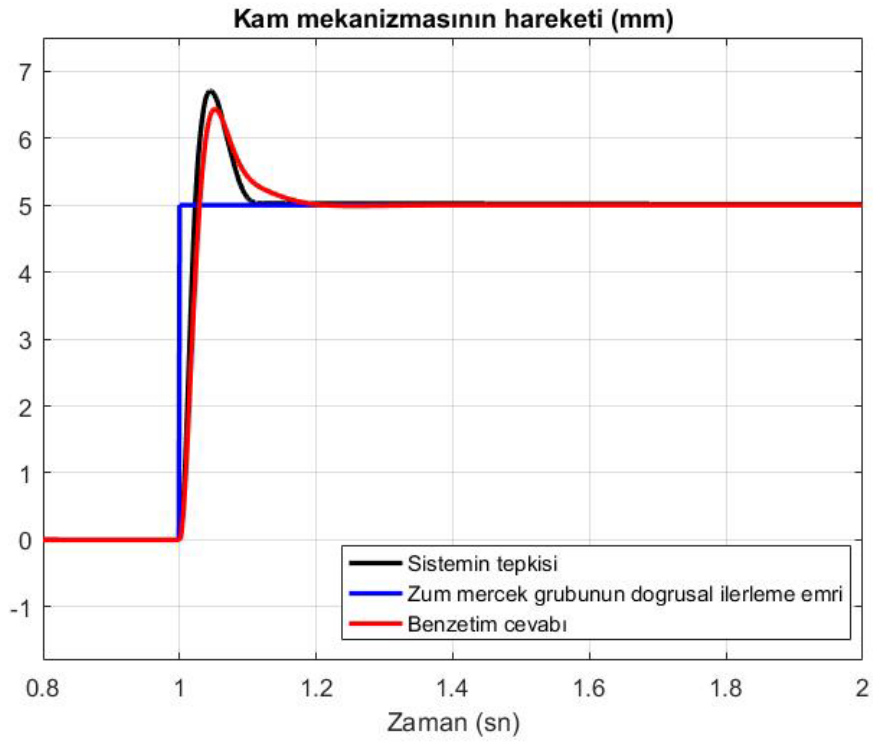
Kam mekanizmasında kontrol sisteminden istenen yerleşme süresinin daha altında bir tepki elde edildiği için ve tepkide elde edilen aşma miktarı, sistemin çalışması sırasında diğer mercek gruplarına çarparak sorun çıkarmayacak bir değerde olduğu için, kutup yerleştirme ile bulunan kontrol parametreleri, kontrol sistemi açısından uygun ve uygulanabilir.



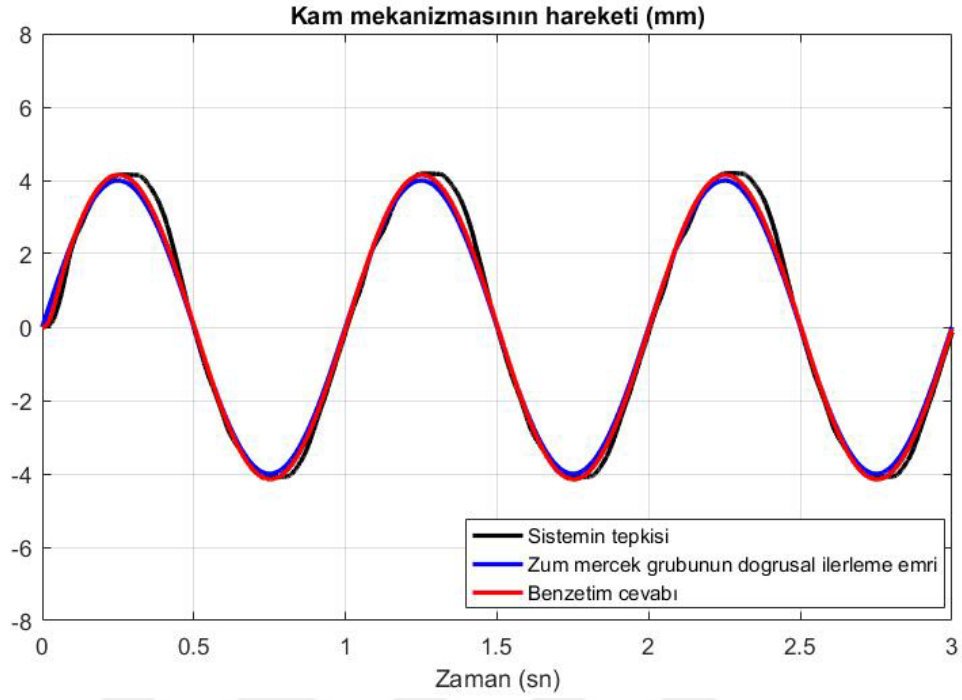
Şekil 4.10 Benzetim için oluşturulan simulink modeli



Şekil 4.11 Kam mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı

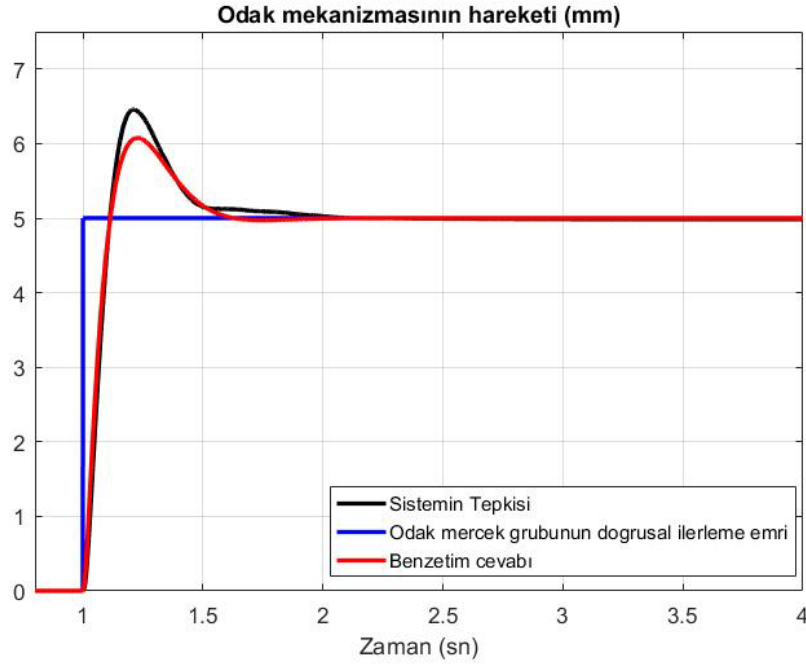


Şekil 4.12 Kam mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı



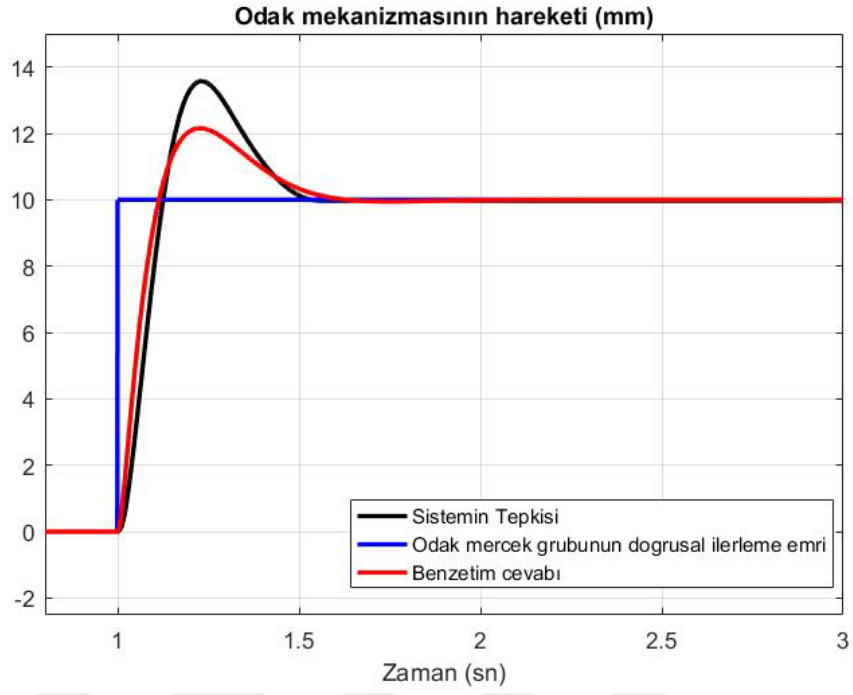
Şekil 4.13 Kam mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de kutup yerleştirme ile elde edilen kontrol parametreleri ile denetlenen odak mekanizmasına uygulanan 5 mm ve 10 mm sabit konum emrine, sistemin gerçek tepkisi ve benzetim sonucu verilmiştir. Şekil 4.14’de elde edilen sonuçlar ile Şekil 4.15’de elde edilen sonuçlar kıyaslanırsa, aynı kontrol parametrelerini kullanmalarına rağmen sistemin gerçek tepkisinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu sistem içerisinde yer alan doğrusal olmayan sürtünmelerden kaynaklanmaktadır.

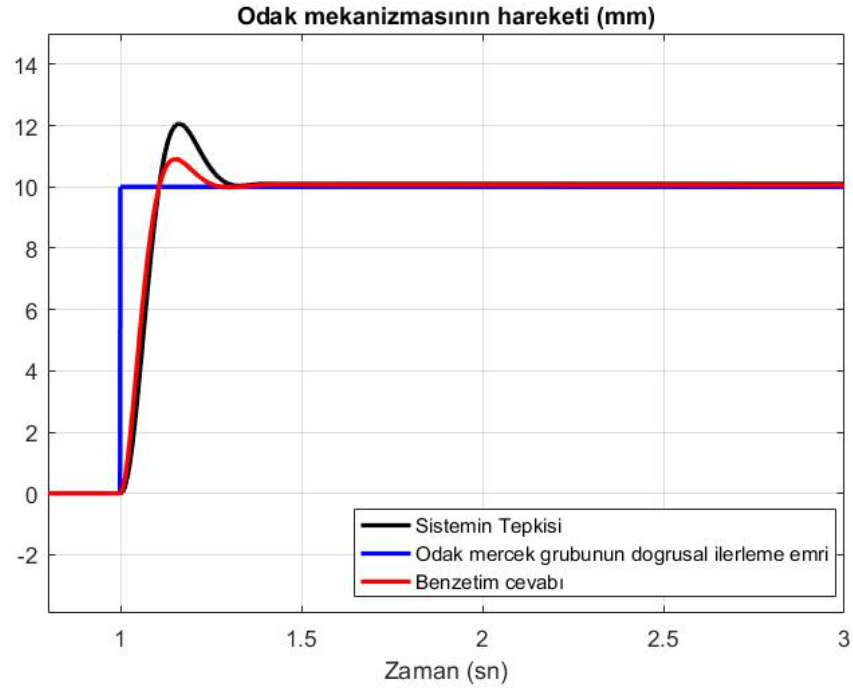


Şekil 4.14 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı

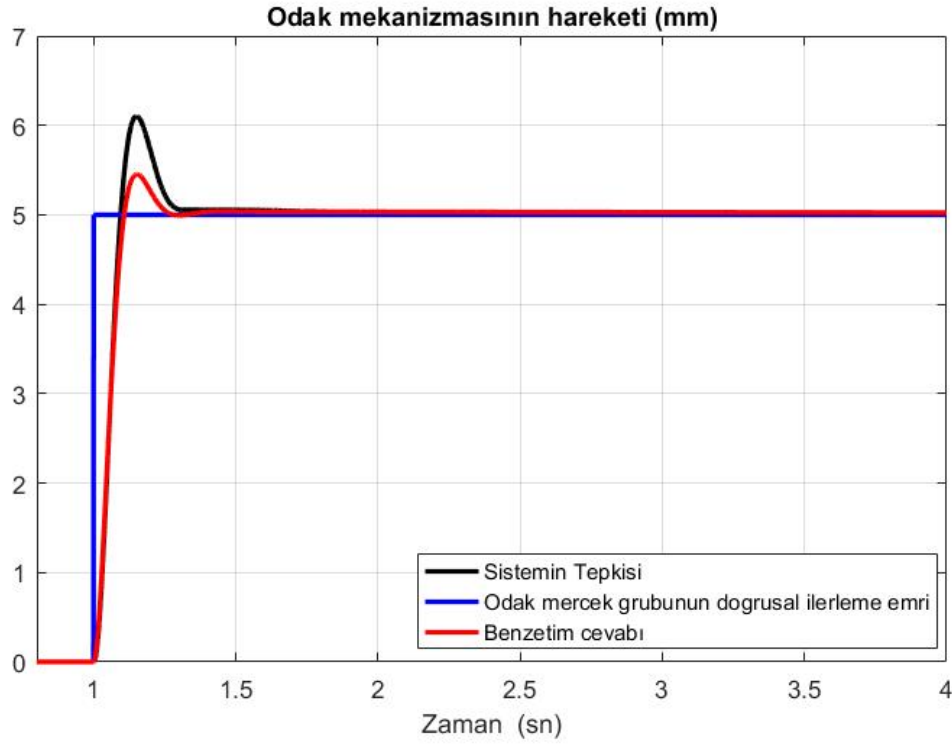
Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 ise odak mekanizması için kutup yerleştirmeden elde edilen kontrol parametreleri, benzetim ortamında PID Tuner ile ayarlanarak, sistemin tepkisi ve benzetim cevabı gözlemlenmiştir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de elde edilen sonuçlar, sistem tepkisi ve benzetim cevabı açısından değerlendirilirse, sistemin tepkisinin daha aşmalı olduğu ve daha yüksek yerleşme zamanına sahip olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 4.16’da elde edilen sonuç, Şekil 4.15’deki sonuç ile; sistemin tepkileri açısından kıyaslanırsa yani kontrolcü parametreleri performansı açısından kıyaslanırsa, Şekil 4.16’da elde edilen sonucun aşması daha az ve yerleşme zamanı daha düşük olduğu görülmüştür. Kontrolcü performansı açısından yapılan kıyaslama, Şekil 4.14’de elde edilen sonuç ile Şekil 4.17’de arasında da yapılırsa, Şekil 4.17’de elde edilen sonucun aşması daha az ve yerleşme zamanı daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.15 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı



Şekil 4.16 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı



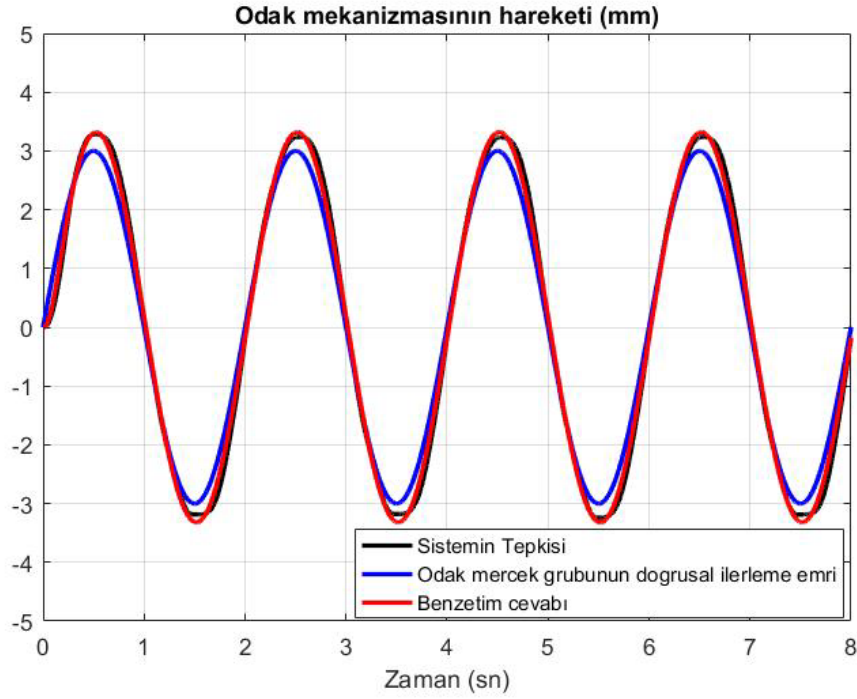
Şekil 4.17 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı

Şekil 4.18’de kutup yerleştirme ile elde edilen kontrol parametrelerinden oluşan ve Şekil 4.18’de PID Tuner bloğu ile ayarlanan kontrol parametrelerinden oluşan kontrol sistemlerine, genliği 3, frekansı 0.5 Hz olan sinüs emri verilerek, sonuçları gözlemlenmiştir.

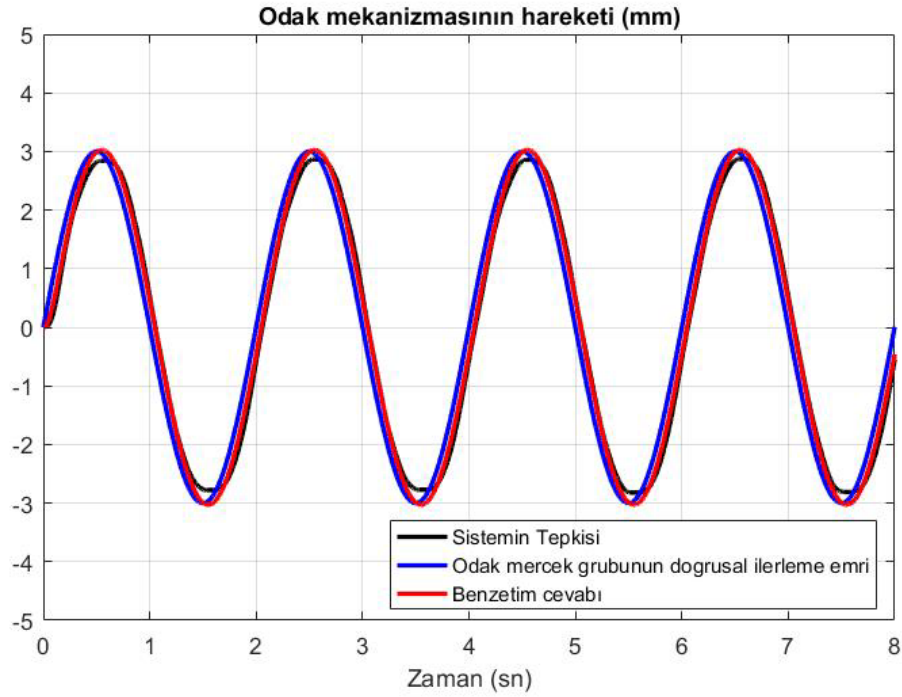
Odak mekanizması için yapılan benzetim ve testlerde , sistem benzetimi ile sistemin gerçek sonucunun uyumlu olduğu gözlemlenmiştir, bu uyum kontrol parametreleri belirlenirken kullanılan sistem modeli ile sistemin gerçek tepkisi arasındaki ilişkiden kaynaklanmaktadır.

Odak mekanizmasında kutup yerleştirme ile kontrol sisteminden istenen yerleşme süresinin daha altında bir tepki elde edildiği görülmüştür, ancak bazı durumlarda istenilen yerleşme zamanından daha uzun sürede sistemin istenilen konuma ulaştığı gözlemlenmiştir. Belirtilen yerleşme zamanı farkı sistem kontrolünü etkileyecek seviyede olmadığı için ve anlık olarak ortaya çıktığı için, kutup yerleştirme ile elde edilen kontrol parametreleri kontrol sistemi açısından uygun ve uygulanabilir.

Yerleşme zamanında meydana gelen anlık değişkenliği önlemek için, kutup yerleştirme ile elde edilen kontrol parametrelerinden oluşan kontrol sisteminde PID Tuner ile iyileştirme yapılmıştır. Kutup yerleştirme ile elde edilen parametrelerin PID Tuner ile iyileştirildikten sonra; daha az aşma ve daha düşük yerleşme zamanına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



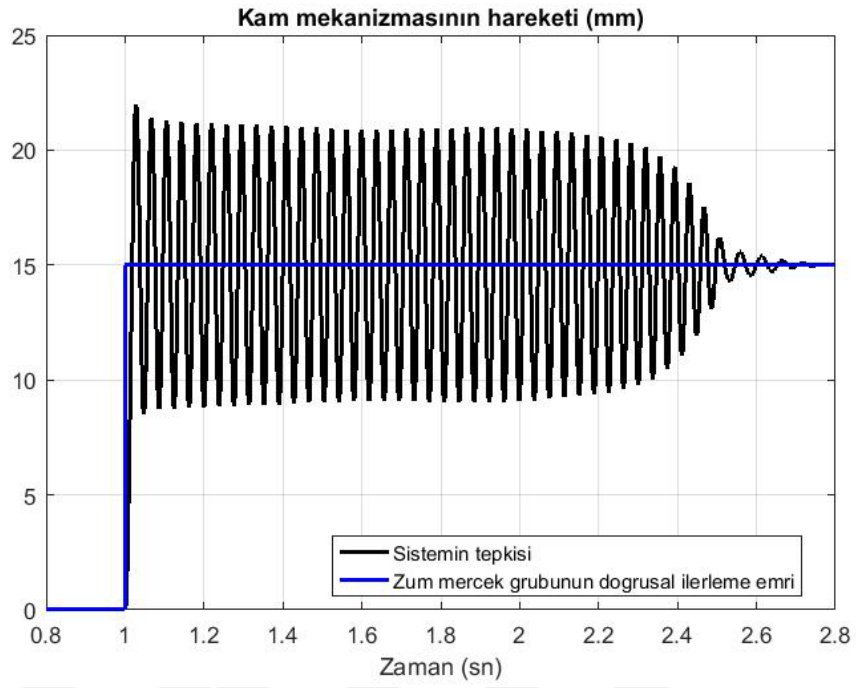
Şekil 4.18 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı



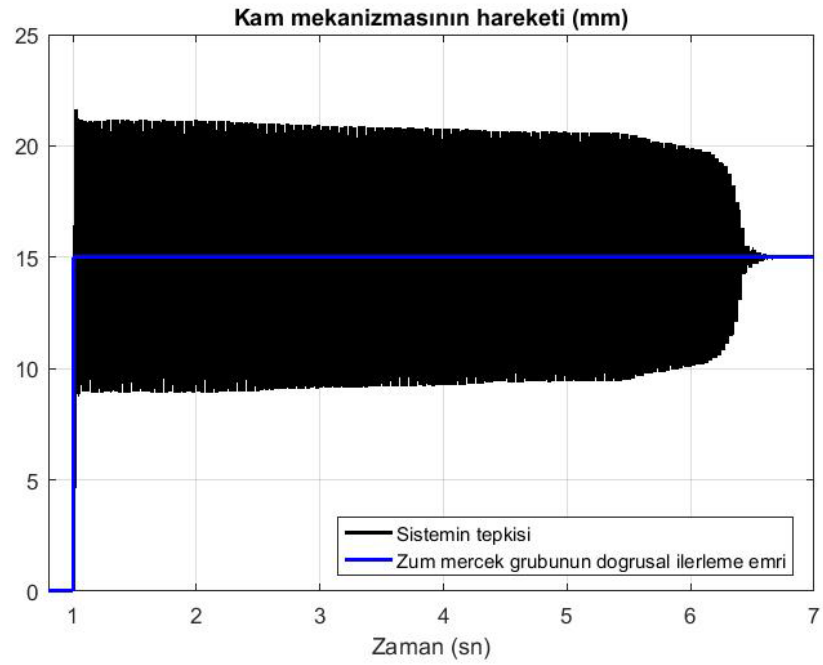
Şekil 4.19 Odak mekanizmasının, istenilen konum emrine benzetim ve test cevabı

Kontrol parametrelerinin belirlenmesinde Ziegler ve Nichols'ın deneysel metodu kullanılmaya çalışılmıştır, ancak metodun gereği olan sistemin kapalı çevrimde sürekli salınım cevabı elde edilememiştir. Bu yöntemde kontrol sisteminde bulunana türevsel ve integratör kazançları sıfır alınarak , oransal kazanç arttırılarak sistemin sürekli salınım yaptığı cevaba göre kontrol parametreleri belirlenir [23].

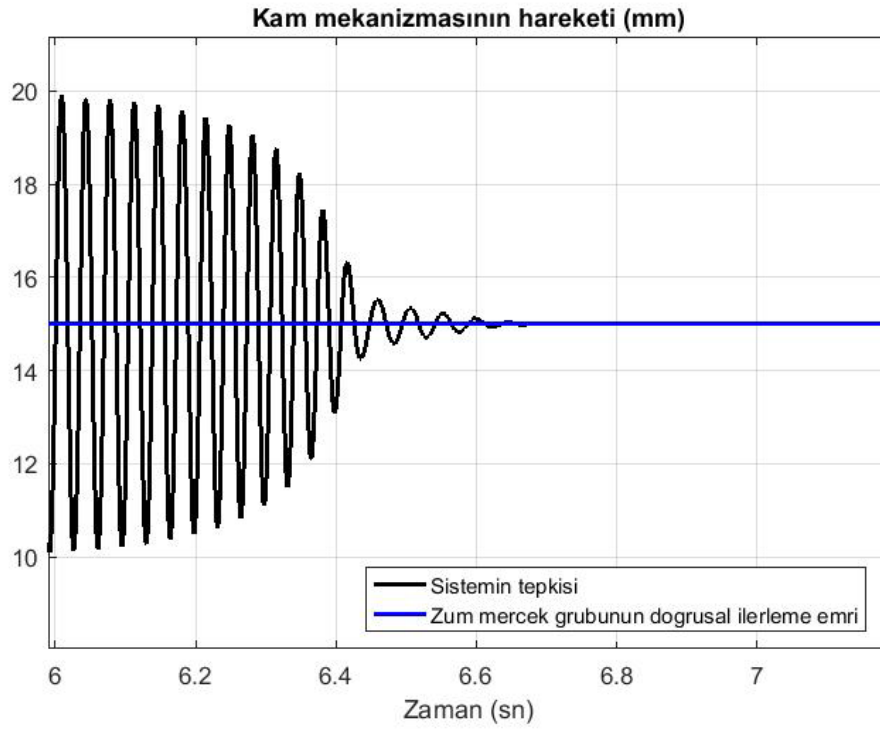
Yöntemin tanımına uygun olarak sisteme uygulanan oransal kazanç değeri arttırılarak sistemin tepkisi gözlemlenmiştir. Şekil 4.20'da oransal kazanç (K_p) 4 iken, sistemin tepkisi gösterilmiştir. Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de, oransal kazanç 5 iken sistem tepkisi verilmiştir. Değişken odaklı sistemin kontrolü için uygulanabilir olmadığı görülmüştür. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de oransal kazanç 7 iken sistem tepkisi verilmiştir. Sistemin tepkileri incelendiğinde, oransal kazanç arttıkça sistemin salınımda kaldığı sürenin arttığı gözlemlenmiştir. Oransal kazanç arttıkça, sistemin mekaniksel olarak zorlandığı görülerek, bu yöntemin kullanılmamasına karar verilmiştir.



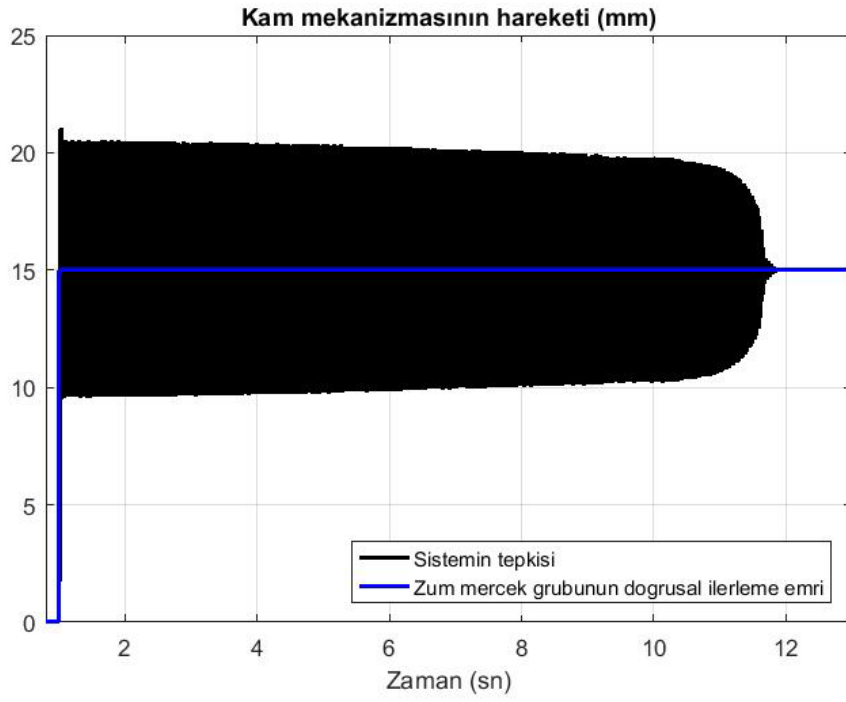
Şekil 4.20 Ziegler-Nichols, $K_p=4$ iken kam mekanizmasının tepkisi



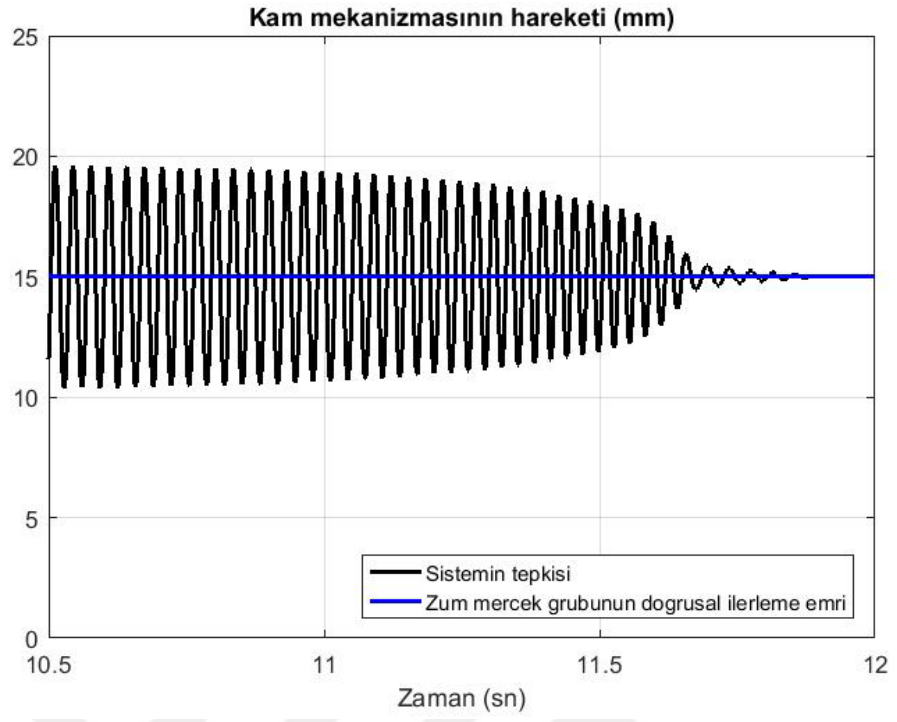
Şekil 4.21 Ziegler-Nichols, $K_p=5$ iken kam mekanizmasının tepkisi



Şekil 4.22 Ziegler-Nichols, $K_p=5$ iken kam mekanizmasının tepkisi



Şekil 4.23 Ziegler-Nichols, $K_p=7$ iken kam mekanizmasının tepkisi



Şekil 4.24 Ziegler-Nichols, $K_p=7$ iken kam mekanizmasının tepkisi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında optik görüntüleme sistemleri için değişken odaklı sistem tasarımı, üretimi ve kontrolü yapılmıştır. Bu bağlamda konuyla ilgili yapılmış çalışmalar incelenerek sistemin temel mekanizma yapısına karar verilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda züm ve odak mekanizması için iki ayrı motor ve mekanizma kullanıldığı gözlemlenerek tasarım kararları verilmiştir. Mekanizma seçiminde ise züm sistemleri için silindirik kam mekanizmalarının kaçınılmaz olduğu gözlemlenmiş ve vida mekanizmalarının da tercih edildiği uygulamalar olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda züm mercekle grubu için silindirik kam mekanizması, odak mercekle grubu için vida mekanizması tercih edilmiştir. Sistem seviyesinde tasarım yapıldığı için sistemi oluşturan motor, rulman ve doğrusal yatak gibi parçaların sistemde konumlandırılmasına önem verilmiştir.

Değişken odaklı görüntüleme sistemlerinde kontrol sisteminden beklenen, hareketli mercekle gruplarının istenilen süre içerisinde, istenilen konuma getirmesidir. Konuyla ilgili yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde bu sistemlerin kontrolünü ve kontrol yöntemini belirten çalışmaların sınırlı ve ayrıntısız olduğu gözlemlenmiştir. Ancak tez çalışması kapsamında, kontrol sistem tasarımı yapılmıştır. Öncelikle sistemin kontrolü için matematiksel model, sistem tanımlama yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Sistem tanımlama yöntemi ile elde edilen modeller, züm ve odak mekanizması için sistem dinamiğini oluşturan eylemsizlik momenti (J) ve sürtünme (B) açısından değerlendirilerek, ortalama tepki veren sistem dinamiği modellerinin, sistem kontrol çalışmalarında kullanılmasına karar verilmiştir. Züm ve odak mekanizmasının matematiksel modelleri kullanılarak, kutup yerleştirme yöntemi ile PID kontrol parametreleri belirlenmiştir. Kutup yerleştirme yöntemi kullanılırken, sistemin bant genişliği endüstride bulunan züm sistemleri kataloglarında yapılan incelemelere göre belirlenmiştir. Belirlenen kontrol parametreleri hem MATLAB/Simulink benzetim ortamında, hem de gerçek sistem üzerinde Simulink gerçek zamanlı test sistemi kullanılarak denenmiştir. İstenilen konum değerine; benzetim cevabının ve sistemin gerçek tepkisinin vermiş olduğu sonuçlar kıyaslanmıştır. Benzetim ve gerçek tepki arasındaki farkın modellenemeyen üretim ve bütünleme hatalarından, sistemde var olan değişken sürtünmeden kaynaklandığı öngörülmüştür. Değişken odaklı görüntüleme sisteminde bulunana odak ve kam

mekanizmaları için tasarlanan kontrol sisteminin uygun ve uygulanabilir olduğu benzetim ve testler ile gösterilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **Paul R. Yoder, Jr.**, "Opto-Mechanical Systems Design", Üçüncü Baskı, Taylor & Francis Group, 2006
- [2] **Li Y., Hu C., Chen J., Haihuna F., Wang Y. and Lu F.**, "Optical and Mechanical Design of 10X Zum Lens for Low-Vision Devices" Proc. of SPIE, 2012, Vol. 8419 84190R
- [3] **Sanson M. C., Cornell J.**, "MWIR Continuous Zum with Large Zum Range" Proc. of SPIE, 2010, Vol. 7660 76601X-1
- [4] **Sanson M. C., Cornell J., Roy B., Herbert S., Woodard K., Sawyer K.**, "Development of MWIR Continuous Zum with Large Zum Range" Proc. of SPIE, 2011, Vol. 8012 80122F
- [5] **Yan-qin S., Jing-xu Z., Tian-yu L., Fei Y., Fu-guo W.**, "Mechanism Design of Continuous infrared Lens", Proc. of SPIE, 2013, Vol. 8907 890735
- [6] **Gao Y., Yang Z., Zhao W., Jiang B., Li D., Li M.**, "Optimum Design of Cam Curve of Zum Systems Based on ZEMAX", Optik 124 (2013) 6358-6362.
- [7] **Mann A.**, "Developments and trends in IR Zum Lenses from 2000 to 2010", Proc. of SPIE, 2012, Vol. 8488 848805
- [8] **Sever A.Ç.**, "Preparation of a Computer Aided Design Package for Opto-mechanical Design of Forward Looking Infrared Systems", ODTÜ, 2001.
- [9] <http://www.ophiropt.com>
- [10] **Aslan S. H., Dr. Anıl D.**, "Sürekli Odaklı 3–5 µm Bandında FLIR Optik Tasarım Çalışması", SAVTEK 2014, Savunma Teknolojileri Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- [11] **DiBiase D., Dr. Bardis J., Billing R.**, "A Zum Lens for the MSL Mast Cameras: Mechanical Design and Development", Proceedings of the 41st Aerospace Mechanisms Symposium, Jet Propulsion Laboratory, May 16-18, 2012
- [12] **Koyunbakan M.**, "Bilgisayar Destekli Kam Tasarımı ve Örnek Bir Kam Mekanizmasının İmalatı", Yüksek Lisans Tezi, 2006, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [13] <http://ocw.metu.edu.tr/> Erişim: 05-Haz-2018

- [14] **Robert L. Norton P.E** , “ Cam Design and Manufacturing Handbook”, Industrial press,2009
- [15] **Söylemez E.**,“ Mekanizma Tekniği”,4.Baskı, Birsen Yayınevi, 2017
- [16] **Akkurt M.**, “Makine Elemanları ",Üçüncü Baskı, Birsen Yayınevi,
- [17] **Paul E. Sandin**, "Robot Mechanisms and Mechanical Devices",McGraw-Hill Companies,2003
- [18] **Söderström, T., Stoica, P.**, System Identification, Cambridge: Prentice Hall Internatioal (UK) Ltd., 1989.
- [19] <https://www.mathworks.com/products/simulink-real-time.html>, Erişim: 05-Tem-2018
- [20] **Özkan B.**, "Mekatronik Sistemlerde Uygulanan Belli Başlı Kontrol Yöntemleri", TÜBAV Bilim Dergisi ,2009, cilt:2 , sayı:3, sayfa:302-316
- [21] **Çelik, T.**, 2014, Dynamic Modeling and Control of a Hybrid Fin Actuation System for an Air-to-Air Missile, METU
- [22] Thermal Imaging Lenses Catalog,2018, Ophir
- [23] **Ogata, K.** , Modern Control Engineering, Beşinci Baskı, Prentice-Hall Inc., ABD (1997).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Ebru GENÇ

Uyruğu: T.C.

Doğum Yeri ve Tarihi: ELAZIĞ - 1993

e-mail: ebru.genc@tubitak.gov.tr

EĞİTİM

2007-2011: Mehmet Koloğlu A.L.

2011-2015: Fırat üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü (Lisans)

2015-2018: Fırat üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği (Yüksek Lisans)

İŞ TECRÜBESİ

OTOKAR Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş. (Stajyer Mühendis / 2013)

ASELSAN Elektronik San. ve Tic. A.Ş. (Stajyer Mühendis / Ağustos 2014)

TÜBİTAK SAGE, Araştırmacı Mühendis (2016 – devam ediyor)

PROJELER

Lisans bitirme projesi TÜBİTAK BİDEB 2209-Üniversite Öğrencileri Yurt İçi/Yurt Dışı Araştırma Projeleri Destekleme Programı - A (2014-2) tarafından desteklenmiştir.

Lisans Bitirme Projesinin Adı: Havada ve Karada Gidebilen Mini Quadrotor Tasarımı ve Kontrolü