



**KULE SİSTEMLERİNDE YÜKSELİŞ EKSEN SÜRÜŞ HATTINDAKİ
DENGESİZLİK MOMENTİNİN AZALTILMASI**

Gökhan AYDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gökhan AYDOĞAN

09/07/2021

KULE SİSTEMLERİNDE YÜKSELİŞ EKSEN SÜRÜŞ HATTINDAKİ DENGESİZLİK MOMENTİNİN AZALTILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Gökhan AYDOĞAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2021

ÖZET

Geçmişten günümüze askeri sistemler devamlı gelişim göstermektedir. Askeri sistemlerin daha hafif, daha ucuz ve daha etkin olabilmesi için devamlı bir çaba içerisine girilmiştir. Silah kule sistemleri de çok yaygın kullanılan askeri sistemlerdir. Kule sistemlerinde kullanılan silahların düşey yönde maksimum açıları tarayabilmesi ve minimum hacme yerleştirilmesi ile silah dengesizliği sürüş hattında artmıştır. Yüksek dengesizlik sürüş hattı performansını (Stabilizasyon, hedef takibi, yönlenme hızı ve ivmesini) olumsuz yönde etkilemiştir. Buradaki performans düşüklüğünü gidermek için daha yüksek kapasiteli servo motorları ve sürüş için gerekli daha yüksek kapasiteli ara yüzlerin kullanılmasını ortaya çıkmıştır. Bunun yerine daha etkin bir yöntem olan yükseliş eksen sürüş hattı servo motoruna destekleyici olması için dengeleyici (Ön yükleme değiştirilebilir) tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada yükseliş eksen sürüş hattındaki dengesizlik momenti azaltılırken kule sistemi gereksinimleri karşılayabilecek ve sürüş hattı performans gereklerini sağlayacak dengeleyici tasarımı yapılmış ve üretilmiştir. Yaylı, pnömatik ve hidropnömatik dengeleyici tipleri incelenerek çekme tipi yaylı dengeleyici seçilmiştir. Yaylı dengeleyicinin seçilmesinde basitlik, güvenilirlik, bakım süresi, maliyet, hızlı üretim gibi kriterler ön plana çıkmıştır. Öncelikli prototip çalışmalarda kullanılacak dengesiz kütlelerin dengesizlik momenti hesaplanmıştır. Hesaplanan dengesizlik momentine ve kullanılacak servo motora göre dengesizliği azaltacak yay tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan yayın prototip üretimleri yaptırılarak dengesizliğin olduğu sistemde testleri yapılmıştır. Testlerle dengeleyicinin tasarım kriterlerini sağlayıp sağlamadığı değerlendirilmiştir. Sonrasında yapılan testlerde elde edilen gerçek verilerle teorik hesaplamalar karşılaştırılarak tasarım iyileştirilmiştir.

Bilim Kodu : 91432

Anahtar Kelimeler : Taret, Silah kule sistemi, Dengeleyici, Yaylı dengeleyici

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Osman Selim TÜRKBAS

REDUCING THE UNBALANCE MOMENT IN THE ELEVATION AXIS IN THE DRIVE LINE OF TOWER SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Gökhan AYDOĞAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2021

ABSTRACT

The military systems have been constantly improved until now. Importance has been given to show to get lighter, cheaper and more effective military systems. Weapon tower systems which have been used commonly are also a part of military systems. Observed imbalance in the guns has increased in the driving line as the guns used in the turret systems can scan maximum angles in the vertical direction and are placed in the minimum volume. High imbalance adversely affected the driving line performance in terms of stabilization, target tracking, steering speed and acceleration. In order to eliminate its performance degradation to use servo motors and interfaces that have higher capacity required for driving come to the fore. Instead of this, a compensator (its preload may be changed) was designed to support the ascent axis driving line servo motor, which is a more efficient method. In this study, while reducing the unbalance moment in the elevation axis of the driving line, the balancer design that can meet the requirements of the tower system and provide the driving line performance requirements has been made and manufactured. By examining spring, pneumatic and hydropneumatic balancer types, the spring balancer which is a pull type has been selected. Criteria such as simplicity, reliability, maintenance time, cost, and fast production have come to the stage in the selection of the spring balancer. Firstly, the moment of unbalance of the unbalanced mass to be used in the prototype studies was calculated. Based on the calculated imbalance moment and the servo motor to be used, a spring design has been made to reduce that imbalance. The designed prototype of the spring has been manufactured and tested in the system where the imbalance occurs. With these tests, it was evaluated whether the balancer meets the criteria of its design or not. In the following tests, the design was improved by comparing the obtained real data with the theoretical calculations.

Science Code : 91432

Key Words : Turret, Gun turret system, Equilibrator, Spring equilibrator

Page Number : 77

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Osman Selim TÜRKBAS

TEŞEKKÜR

Proje boyunca beni yönlendiren, tavsiyeleriyle çalışmama katkıda bulunan değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Osman Selim TÜRKBAS’a, Aselsan’a ve desteklerini esirgemeyen Aselsan çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Beni bugünlere getiren, hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, çalışmalarım boyunca bana sabırla destek olan aileme ve manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan arkadaşlarıma teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI	7
3. Dengeleyiciler Hakkında	11
3.1. Dengeleyici.....	11
3.2. Dengeleyici Tipleri.....	12
3.2.1. Yaylı dengeleyiciler	15
3.2.2. Pnömatik dengeleyiciler.....	17
3.2.3. Hidropnömatik dengeleyiciler.....	19
3.2.4. Yaylı hidrolik dengeleyiciler.....	21
3.3. Dengeleyici Seçim Kriterleri	21
3.4. Dengeleyici Tasarımı.....	22
3.4.1. Dengeleyici tasarımını etkileyen faktörler	22
3.4.2. Basit dengeleyici hesaplamaları	26
3.5. Yay Tasarımı ve Kriterleri	39
3.5.1. Yayların sınıflandırılması.....	40

	Sayfa
3.5.2. Temel Kavramlar	42
3.5.3. Yayların boyutlandırılması.....	47
4. TEORİK HESAPLAMALAR VE TEST SONUÇLARI	53
4.1. Dengeleyici Seçimi.....	53
4.2. Teorik Hesaplamalar	54
4.2.1. Teorik dengesizlik kütlelerinin hesaplanması.....	54
4.2.2. Teorik yay hesaplamaları	56
4.3. Dengeleyici Test Sonuçları	58
4.4. Dengesizlik Sonuçlarını Etkileyen Faktörler ve Verileri.....	63
4.4.1. Yay farklılığı	63
4.4.2. Motor ayarı etkisi	64
4.4.3. Conta etkisi.....	67
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dengede ve dengede olmayan sistemlerin performans karşılaştırması.....	7
Çizelge 3.1. Dengeleyicilerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi	21
Çizelge 3.2. Teorik gerekli kuvvet değerleri.....	38
Çizelge 4.1. Motor ayarı sonrası alçalma sürtünme ortalama değerleri.....	66
Çizelge 4.2. Motor ayarı sonrası yükselme sürtünme ortalama değerleri.....	66
Çizelge 4.3. Conta durumuna göre alçalma sürtünme ortalama değerleri	69
Çizelge 4.4. Conta durumuna göre yükselme sürtünme ortalama değerleri	69
Çizelge 4.5. Farklı ön yüklemeli conta durumunda alçalma sürtünme ortalama değerleri	71
Çizelge 4.6. Farklı ön yüklemeli conta durumunda yükselme sürtünme ortalama değerleri	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tank kulesi yan ve yükseliş eksenleri ve hareketleri.....	2
Şekil 1.2. Silah yerleşimi 1	5
Şekil 1.3. Silah yerleşimi 2	5
Şekil 1.4. MRAAS araç dinamiği modeli	6
Şekil 2.1. Dengeleme ve pozisyonlama eş hareketi için EHS sistemi	8
Şekil 2.2. Dengeleyici tasarımı	8
Şekil 2.3. MRAAS çalışma konseptleri	9
Şekil 2.4. MRAAS yükseliş eksen sürüş hattı motor gücü gereksinimleri.....	9
Şekil 3.1. Dengeleyici	12
Şekil 3.2. Kuvvet uygulama yönlerine göre dengeleyiciler	12
Şekil 3.3. Çekme tipi yaylı dengeleyici	13
Şekil 3.4. İtme tipi yaylı dengeleyici	14
Şekil 3.5. İtme tipi yaylı dengeleyici	14
Şekil 3.6. Kuvvet üretme yöntemlerine göre dengeleyiciler.....	15
Şekil 3.7. Helezon yaylı dengeleyici.....	16
Şekil 3.8. Burulma çubuklu dengeleyici.....	16
Şekil 3.9. Zemberek yaylı dengeleyici.....	17
Şekil 3.10. Pnömatik dengeleyici.....	18
Şekil 3.11. Pnömatik dengeleyici.....	18
Şekil 3.12. Hidropnömatik dengeleyici	19
Şekil 3.13. Hidropnömatik dengeleyici	20
Şekil 3.14. Hidropnömatik dengeleyici	20
Şekil 3.15. Dengesiz parçaların ağırlık momenti geometrisi	23

Şekil	Sayfa
Şekil 3.16. Bileşenlerin gösterildiği dengeleyici geometrisi	23
Şekil 3.17. Piston sızdırmazlık montajı basınç dağılımı ve uygulanan yükler	25
Şekil 3.18. Muylu altında gösterilen dengeleyici geometrisi.....	28
Şekil 3.19. Muylu üstünde gösterilen dengeleyici geometrisi	29
Şekil 3.20. Yayın kuvvet yer değiştirme eğrisi.....	33
Şekil 3.21. Eşdeğer toplam enerjinin eğilim eğrisi	36
Şekil 3.22. Dengeleyici kuvvet eğrisi	39
Şekil 3.23. Helisel bası yayı tanımı	41
Şekil 3.24. Çeşitli yay karakteristikleri.....	42
Şekil 3.25. Yay kuvvet-yer değiştirme grafiği.....	43
Şekil 3.26. Yay işi ve iç sönümlenme.....	44
Şekil 3.27. Helisel yay kesitine gelen kuvvetler	47
Şekil 3.28. Gerilme düzeltme faktörü	50
Şekil 3.29. Uzun bası yaylarında burkulma	52
Şekil 4.1. Dengesiz parçaların ağırlık momenti geometrisi	54
Şekil 4.2. Şematik bir silah sistemi.....	55
Şekil 4.3. Bir silah kulesinin şematik gösterimi	55
Şekil 4.4. Teorik dengesizlik momenti	56
Şekil 4.5. Yayın verdiği teorik dengeleyici momenti	56
Şekil 4.6. Momenti-yükseliş eksen grafiği	57
Şekil 4.7. Yükseliş eksen sürüş grafikleri.....	59
Şekil 4.8. Yükseliş eksen dengesizlik grafiği	59
Şekil 4.9. Yükseliş eksen yükselme sürtünme grafiği	60
Şekil 4.10. Yükseliş eksen alçalma sürtünme grafiği	60

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. Yükseliş eksen sürüş grafikleri	61
Şekil 4.12. Yükseliş eksen dengesizlik grafiği	61
Şekil 4.13. Yükseliş eksen yükselme sürtünme grafiği	62
Şekil 4.14. Yükseliş eksen alçalma sürtünme grafiği	62
Şekil 4.15. Yay02'ye ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği.....	63
Şekil 4.16. Yay03'e ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği.....	64
Şekil 4.17. Motor ayarı ayar01'e ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği....	65
Şekil 4.18. Motor ayarı ayar02'ye ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği..	65
Şekil 4.19. Motor ayarı ayar03'e ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği....	66
Şekil 4.20. Contalı durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği.....	67
Şekil 4.21. Contasız durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği	68
Şekil 4.22. Yağlama yapılmış-contasız durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği.....	68
Şekil 4.23. Farklı ön yüklemeli-contalı durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği.....	70
Şekil 4.24. Farklı ön yüklemeli-contasız durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği.....	70

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. ZM Tarnów firmasına ait hava aracına takılan ZSW-12.7 taret	2
Resim 1.2. Aselsan Firmasına ait deniz aracına takılan Muhafız Tareti ve Fransız Destroyuna takılı taret	3
Resim 1.3. FNSS Firmasına ait lastik tekerlekli kara aracına takılan Saber Tareti	3
Resim 1.4. Rheinmetall firmasına ait hava savunma sistemi.....	4
Resim 1.5. FNSS firmasına ait paletli araca takılan Sharpshooter kule sistemi.....	4
Resim 3.1. Boran 105 mm Obüs.....	13
Resim 3.2. Helisel bası yayı, helisel çeki yayı, spiral yay, eğilme yayı, burulma yayı, disk yay ve yaprak yay	41
Resim 3.3. Aşırı devirli bir motorda valf yayı arızası	45

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Hz	Hertz
mm	Milimetre
mrاد	Miliradyan
Nm	Newton metre
N/mm	Newton/Milimetre
Nmm/rad	Newton Milimetre/Radyan
rad	Radyan
rms	Ortalama Karekök
s	Saniye
o	Derece
μ	Mikron

Kısaltmalar

Açıklamalar

EHS	Elektro Hidrolik Servo
MRAAS	Çok Rollü Silah ve Mühimmat Sistemi

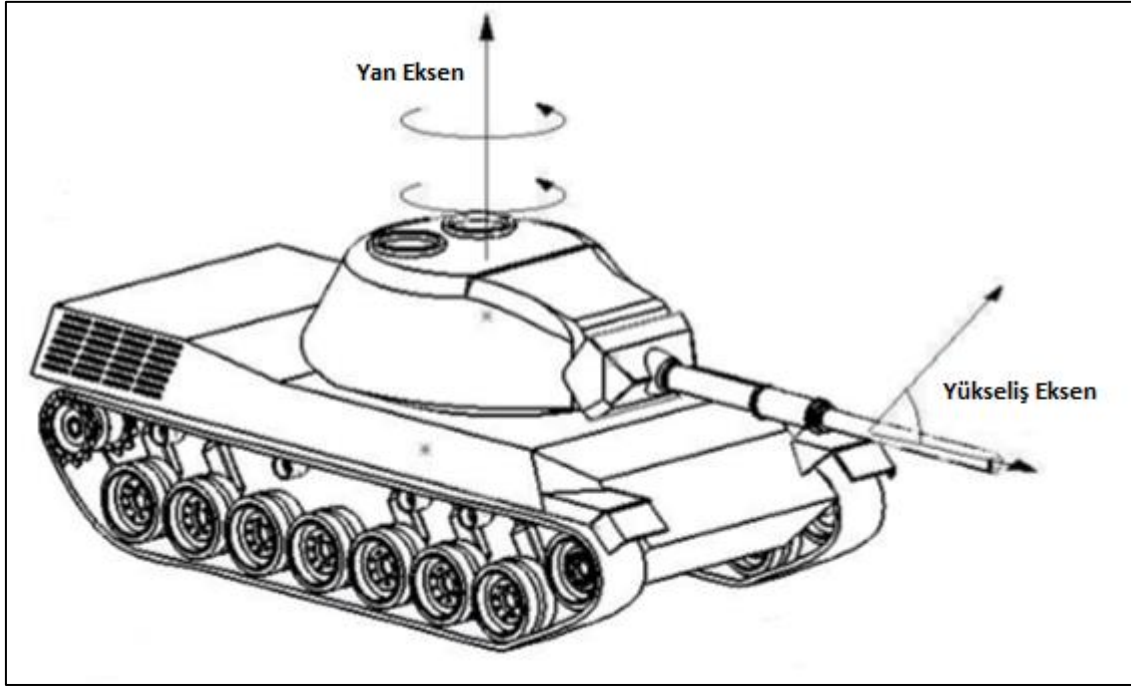
1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze askeri sistemler devamlı gelişim göstermektedir. Ülkeler de gelişen askeri sistemlere karşılık verebilmek için daha gelişmiş sistemler elde etme çabasına girmiştir. Bu gelişim sürecinde ise tasarımsal sorunların ortaya çıkması kaçınılmaz olmuştur. Bu nedenle ülkelerin savunma sanayileri devamlı yeni teknolojilere yönelmektedir ve ortaya çıkan tasarımsal sorunların çözümüne yönelik çalışmalar yapmaktadır.

Silah kule sistemleri de çok yaygın kullanılan askeri sistemlerdir. Silah kule sistemlerin kabiliyetleri de gün geçtikçe artmaktadır ve daha da arttırılma yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu kabiliyetlerden bir de kule sistemlerinde kullanılan silahların düşey yönde maksimum açıları tarayabilmesi ve minimum hacme yerleştirilmesidir. Geçmişten günümüze gelişim gösteren bu özellik ile beraberinde başka tasarımsal sorunlarda ortaya çıkmıştır. Silahların düşey yönde maksimum açıları tarayabilmesi ve minimum hacme yerleştirilmesi çabası ile silah dengesizliği sürüş hattında artmıştır. Bunun sonucu olarak da yüksek dengesizlik sürüş hattı performansını olumsuz yönde etkilemiştir.

Tez çalışması motor tahriki ile yükseliş eksenini hareket ettirilen kule (Taret) sistemlerinde oluşan dengesizlik momentinin azaltılması çalışmasını içermektedir.

Kule (Taret) bir aracın silahlarını taşıyan ve şasiye göre yan ve yükseliş eksenlerinde dönerek belirli derecelerde atış alanına sahip sistemleri tanımlamaktadır. Kule sistemleri manuel (İnsan gücü) ya da bir sürücü (Motor, piston v.b.) yardımı ile yan ve yükseliş eksenlerinde hareket ettirilebilir. Şekil 1.1'de kuleye ait yan ve yükseliş hareketleri gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Tank kulesi yan ve yükseliş eksenleri ve hareketleri [1]

Kule sistemleri lastik tekerlekli araçlardan gemi sistemlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Resim 1.1’de hava aracı olan helikoptere takılan taret, Resim 1.2’de de deniz aracına takılan sistemler görülmektedir.



Resim 1.1. ZM Tarnów firmasına ait hava aracına takılan ZSW-12.7 taret [2]



Resim 1.2. Aselsan Firmasına ait deniz aracına takılan Muhafız Tareti [3] ve Fransız Destroyuna takılı taret [4]

Resim 1.3, Resim 1.4 ve Resim 1.5 de ise kara aracı ve platformlarında kullanılan sistemler görülmektedir. Sırasıyla lastik tekerlekli araca takılmış kule, sabit platform olarak kullanıla kule ve paletli kara aracına takılmış kule sistemi görülmektedir.



Resim 1.3. FNSS Firmasına ait lastik tekerlekli kara aracına takılan Saber Tareti [5]



Resim 1.4. Rheinmetall firmasına ait hava savunma sistemi [6]



Resim 1.5. FNSS firmasına ait paletli araca takılan Sharpshooter kule sistemi [7]

Problem

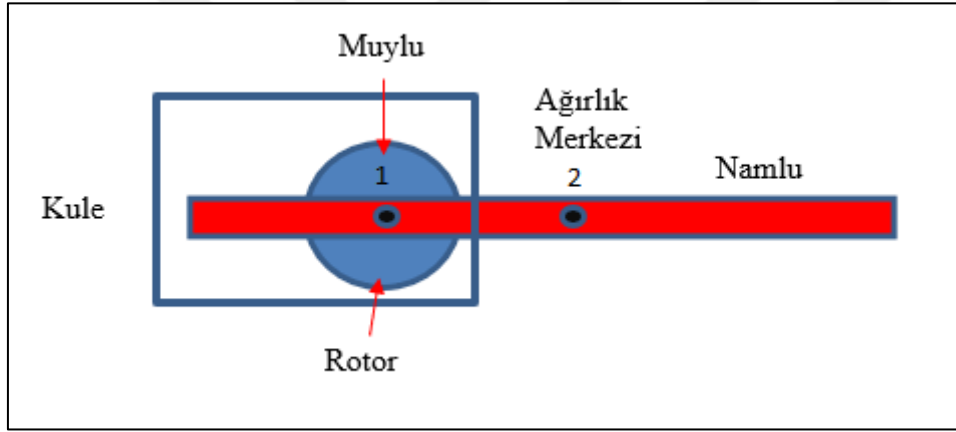
Yukarıda da görüleceği gibi her alanda kule sistemleri kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına göre farklı tasarım kriterleri de beraberinde ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak taretlerin hava sistemlerinde hafif olması, kara ve gemi sistemlerinde maksimum açığı tarayarak maksimum atış etki alanına sahip olması gibi kriterler ortaya çıkmaktadır.

Taretlerde yan ve yükseliş eksenlerindeki hareket sürücülerle (Servo motorlar) sağlanmaktadır.

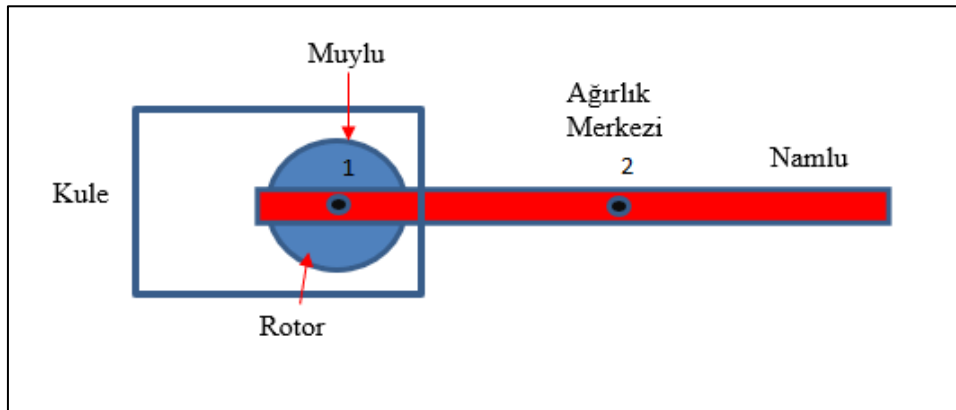
Yükseliş eksen sürüşünü etkileyen tasarım kriterlerini sıralamak gerekirse:

- Minimum siluet
- Maksimum yükseliş eksen açılarına sahip olmak

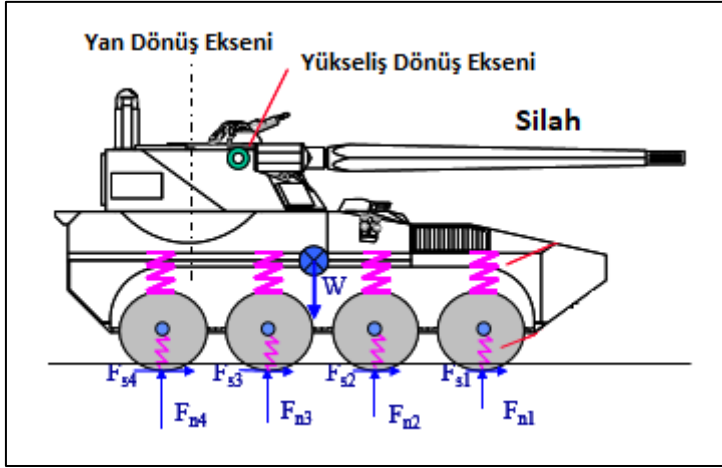
Minimum siluet ve maksimum yükseliş eksen tarama açılarına sahip bir tasarımı sağlayabilmek için ise silah dönme merkezini olabildiğince silahın arka kısmına çekerek sürüş sırasında maksimum tarama açısını minimum alanda sağlayabilmek amaçlanmaktadır (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Silah yerleşimi 1



Şekil 1.3. Silah yerleşimi 2



Şekil 1.4. MRAAS araç dinamiği modeli [8]

Yükseliş eksenindeki problem, tasarım gerekleri nedeniyle yüksek değerlerde dengesizliklerin ortaya çıkmasıdır. Yükseliş eksen sürüş hattını istenilen performans gerekleri ile sürebilmek için yüksek kapasiteli sürücüler (Servo motorlar) ve sürücü ara birimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 1.4 de yükseliş dönüş eksenine göre dengesizlik momenti oluşturacak silah görülmektedir.

Kule sistemleri yükseliş eksenleri birden fazla silah ve silah sistemlerini ve farklı bileşenlerini bir arada barındırabilir.

Dengeleyici ile kara kule sistemlerinde yükseliş eksen dengesizliği azaltılarak sürüş sistemine yardımcı yapı oluşturmaktır. Bu şekilde daha küçük motor kullanılarak hem boyutları düşürmek hem de maliyeti azaltmak amaçlanmıştır. Yapılan çalışma ile farklı dengesizliklere sahip sistemlerdeki dengesizliği alabilecek tek tip dengeleyici tasarımı amaçlanmıştır. Ayrıca yüksek çalışma sıcaklık aralığına sahip ve belirli askeri gerekleri karşılayabilecek kapasite de dengeleyici olması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

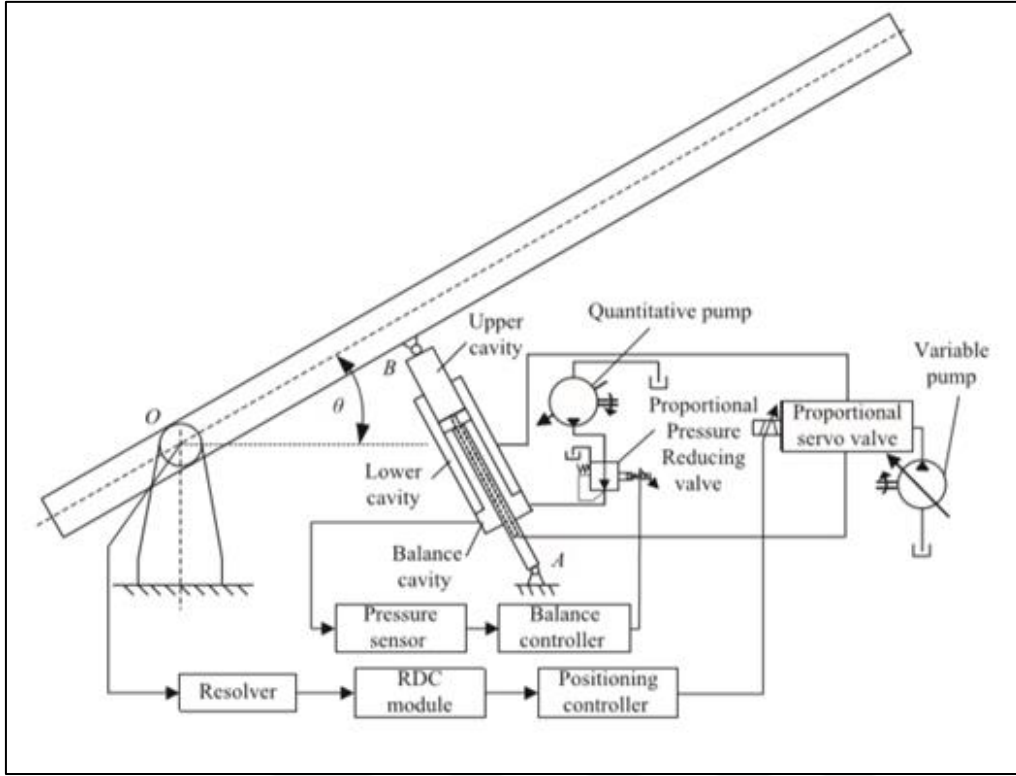
David J. Purdy, dengeli ve dengesiz yükseliş eksen sürüş hattına sahip ana muhabere taklalarının karşılaştırmasını yapmıştır. Makalede biri dengeli biri de dengesiz silah kontrol sistemleri için yükselme eksenlerindeki stabilizasyon kalitesi karşılaştırmıştır [9]. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler:

Çizelge 2.1. Dengede ve dengede olmayan sistemlerin performans karşılaştırması [9]

Dengede ve dengede olmayan sistemlerin performans karşılaştırması			
Parametre	rms		% Artış
	Dengeli	Dengede Olmayan	
Yükseliş açısı[mrad]	1,14	1,27	11,4
Komut Sinyali[v]	1,94	2,59	33,5
Motor Torku[Nm]	10,55	14,09	33,5
Güç[W]	44,0	51,0	15,9

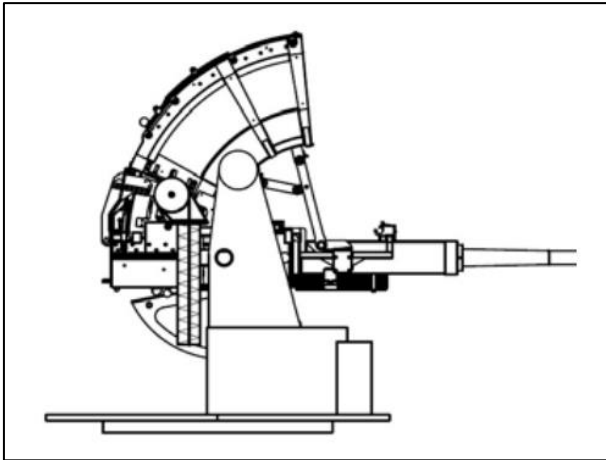
Sonuçlarda yükseliş eksen stabilizasyon performansında %11,4'lük bir azalma görülmüştür. Ayrıca dengede olmayan bir sistem için de dengeli bir sisteme göre %33,5 daha fazla motor torkuna ihtiyaç duyulduğunu gösterilmiştir [9].

Qiang Gao ve arkadaşları, elektro-hidrolik servo (EHS) sistemi ile hem dengeleme hem de konumlandırmayı amaçlayan bir çalışma yapmışlardır [10].



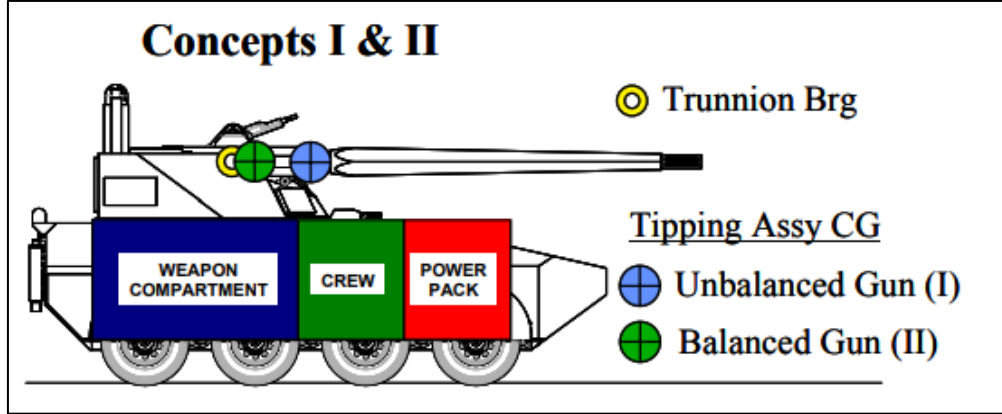
Şekil 2.1. Dengeleme ve pozisyonlama eş hareketi için EHS sistemi [10]

Nikola Zelenović ve arkadaşları, Bofors 40 mm L/70 uçaksavar silahının takıldığı taret sisteminde yükseliş eksen kütle dengesi optimizasyon çalışması yapmışlardır. Kullanım sırasında yükseliş eksenin daha rahat hareket ettirilebilmesi için farklı 3 tip tasarım yapılmıştır. Çalışmalarında dinamik dengeleme olarak yaylı dengeleyici kullanılmıştır [11].

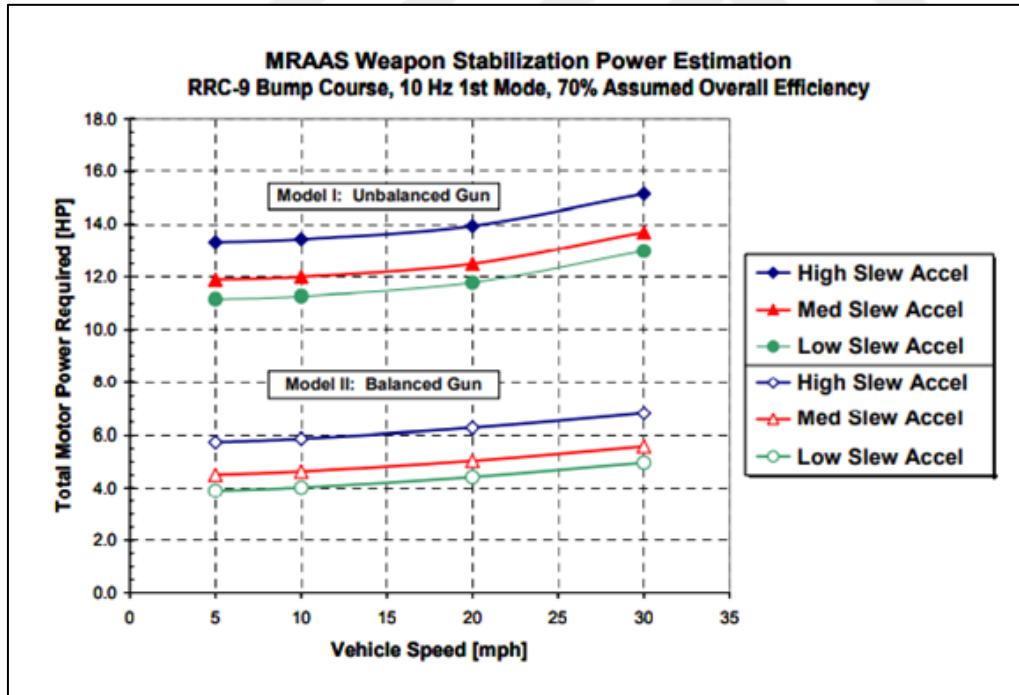


Şekil 2.2. Dengeleyici tasarımı [11]

Gregory Johnson ve arkadaşları, 105 mm topunun lastik tekerli bir araca (Multi-Role Armament and Ammunition System (MRAAS)-Çok Rollü Silah ve Mühimmat Sistemi) monte edilerek sanal prototipleme ile stabilizasyon performansı, yapısal tasarım ve top tahrik gücünü incelemişlerdir [8].



Şekil 2.3. MRAAS çalışma konseptleri [8]



Şekil 2.4. MRAAS yükseliş eksen sürüş hattı motor gücü gereksinimleri [8]

Çalışmada yükseliş eksen sürüş hattının dengelenmesi için gereken motor gücü dengeli model de dengesiz modele göre %50 den daha fazla azalmıştır [8].

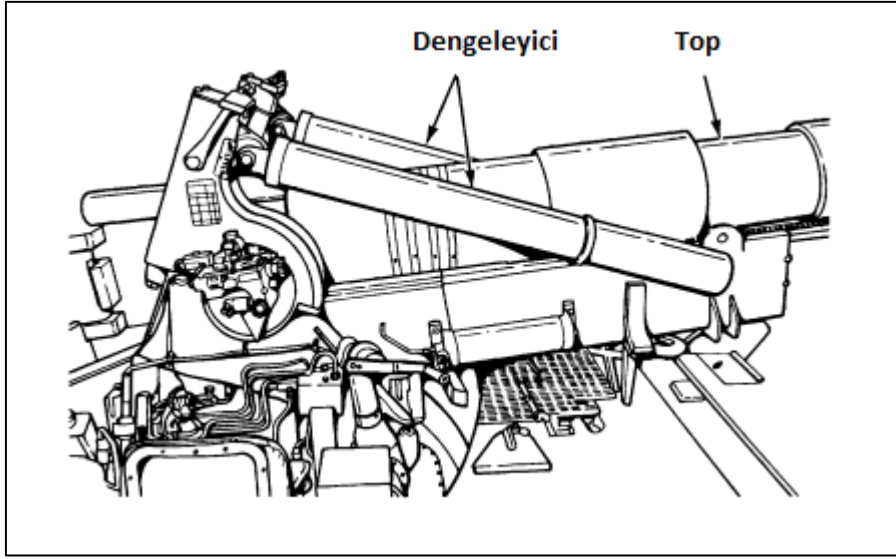


3. DENGELİYİCİLER HAKKINDA

3.1. Dengeleyici

Hareketli ağır silah sistemleri alçak silüete sahip olmalarıyla beraber alçak ve yüksek açılarda atış yapma kabiliyetinde olmak zorundadırlar. Yükseliş açısının fazla olduğu durumlarda silah sisteminin gövde içine girişimini en aza indirmek ve geri tepmeye yer sağlamak için silahın muylu noktası ağırlık merkezinin uzağında konumlandırılır. Bu durum yükseliş ekseninde dönen parçaların ağırlık merkezinin muyludan uzakta olması dolayısıyla dengesizlik momentine neden olur. Oluşan bu dengesizlik momenti yükseliş eksenini hareket ettiren dişlilere yüksek kuvvet getirir ve yükseliş ekseninin hareketi için daha fazla çaba gösterilmesine sebep olur. Bu nedenle yükseliş eksenindeki dengesizlik karşı ağırlıklı ya da bazı mekanik sistemlerle azaltılarak en aza indirilmesi amaçlanır. Karşı ağırlığın sebep olduğu fazladan ağırlıktan, alandan ve ataletten tasarruf etmek için bir mekanik cihaz kullanılır [12].

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı oluşan dengesizlik momenti, servo motor ile sürülen sistemlerde, namluyu hareket ettirmek için gerekli olan motor torku ihtiyacını artırmaktadır. Bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için yükseliş ekseninde dönen parçaların oluşturmuş olduğu ağırlık momenti en aza indirilmelidir. Bu işlem ağır silahlarda "Dengeleyici" adı verilen mekanizmalarla gerçekleştirilir. Dengeleyiciler karşı moment kuvveti yaratarak dengesizlik momentini en aza indirmektedir. Şekil 3.1'de tipik bir dengeleyici sistemi gösterilmiştir. Bu sistemde iki adet dengeleyici kullanılmış dengeleyicinin bir ucu beşiğe bağlanırken diğer ucu taşıyıcıya bağlanmıştır.

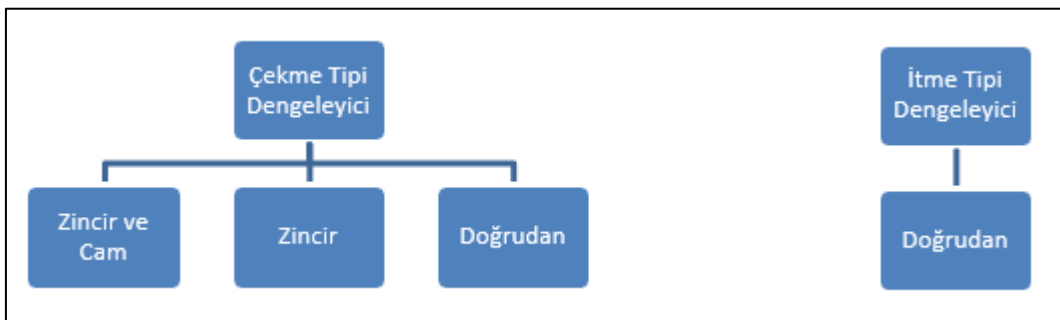


Şekil 3.1. Dengeleyici [13]

3.2. Dengeleyici Tipleri

Ağır silah sistemlerinde hali hazırda kullanılmakta olan birçok dengeleyici çeşidi mevcuttur. Dengeleyiciler uyguladıkları kuvvetin yönüne göre çekme tipi ve itme tipi olarak ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca kuvvet üretme yöntemlerine göre de yaylı, pnömatik, yaylı hidrolik ve hidropnömatik olarak sınıflandırılabilirler.

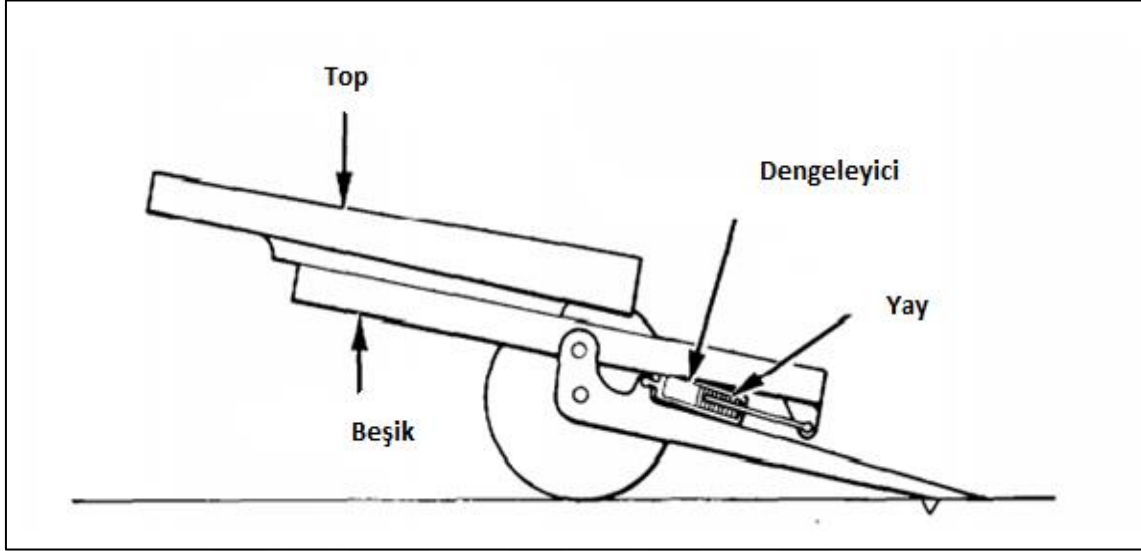
Kuvvet uygulama yönlerine göre dengeleyiciler:



Şekil 3.2. Kuvvet uygulama yönlerine göre dengeleyiciler

Şekil 3.3'te çekme tipi yaylı dengeleyici gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi dengeleyicinin beşiğe bağlandığı nokta muylumun sağ tarafı yani dönen parçaların ağırlık merkezinin bulunduğu yerin ters tarafıdır. Bu nedenle dengeleme kolu çekme

vaziyetindedir ve beşiği çekerek dengelemeye çalışır ki bu durum dengeleyicinin çekme tipi olarak sınıflandırılmasının nedenidir [13].



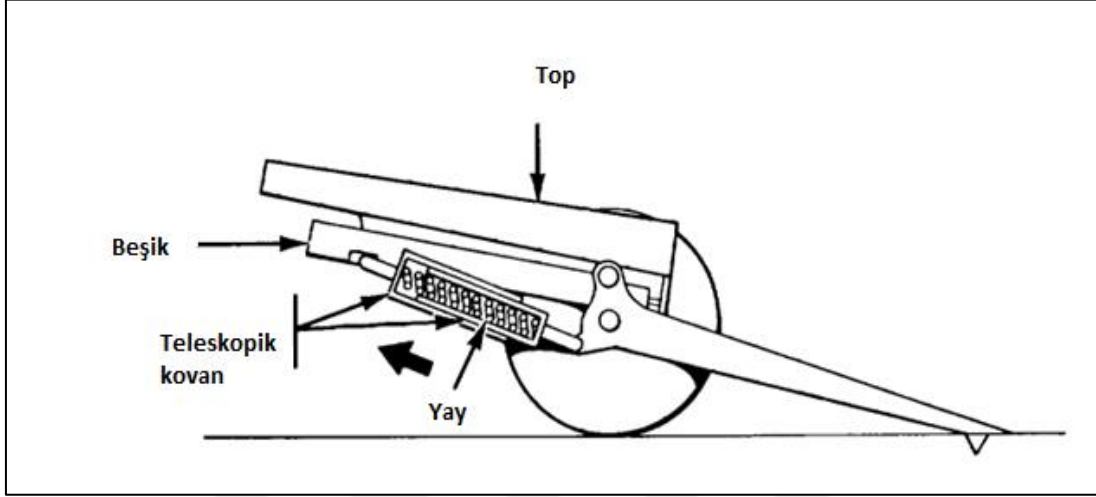
Şekil 3.3. Çekme tipi yaylı dengeleyici [13]

Resim 3.1’de görüldüğü gibi dengeleyicinin beşiğe bağlandığı nokta muylunun ön tarafı yani dengesizlik momenti ile aynı yöndedir. Ama dengesizlik momentini çeki kuvveti ile dengeleyebilmek için konumu beşiği çeki kuvveti uygulama yönünde yukarıda konumlandırılmıştır. Yukarıda bahsedilen çekme tipi dengeleyicinin tersine dengeleyici dengesizlik momentinin olduğu tarafta konumlandırılmıştır. Aynı çalışma prensibinde olan dengeleyiciler farklı tip konumlandırmalarda da kullanılabilirler.

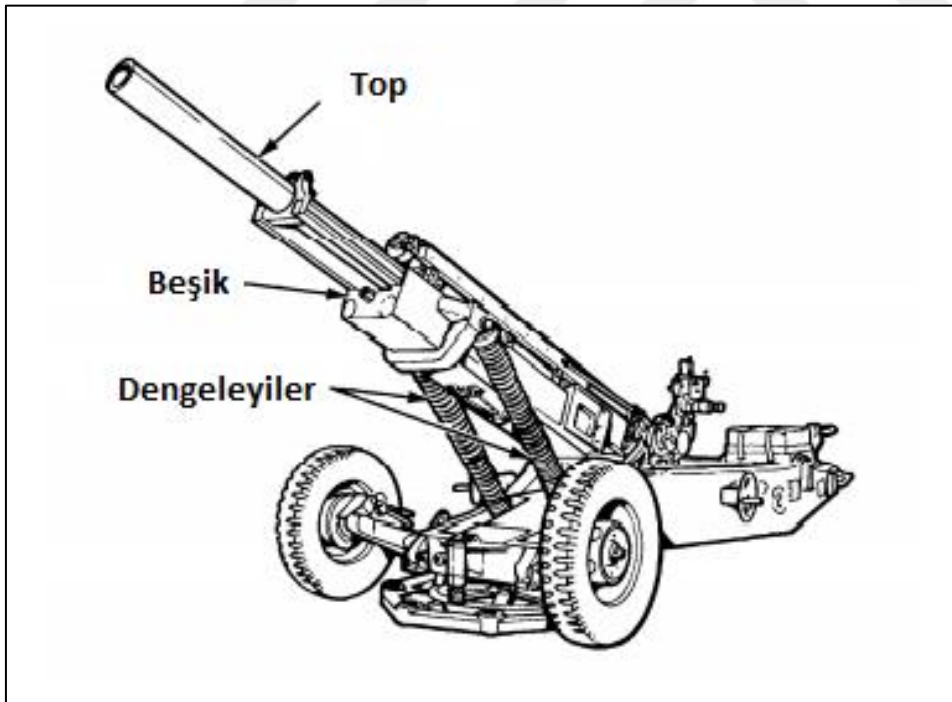


Resim 3.1. Boran 105 mm obüs [7]

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterilen itme tipi dengeleyicilerde ise piston kolu sıkışma vaziyetindedir. Bu dengeleyicilerin donen parçalara bağlandığı nokta ağırlık merkezinin olduğu taraftadır. Bu nedenle dengeleme kuvveti itme şeklinde gerçekleşir [13].



Şekil 3.4. İtme tipi yaylı dengeleyici [13]



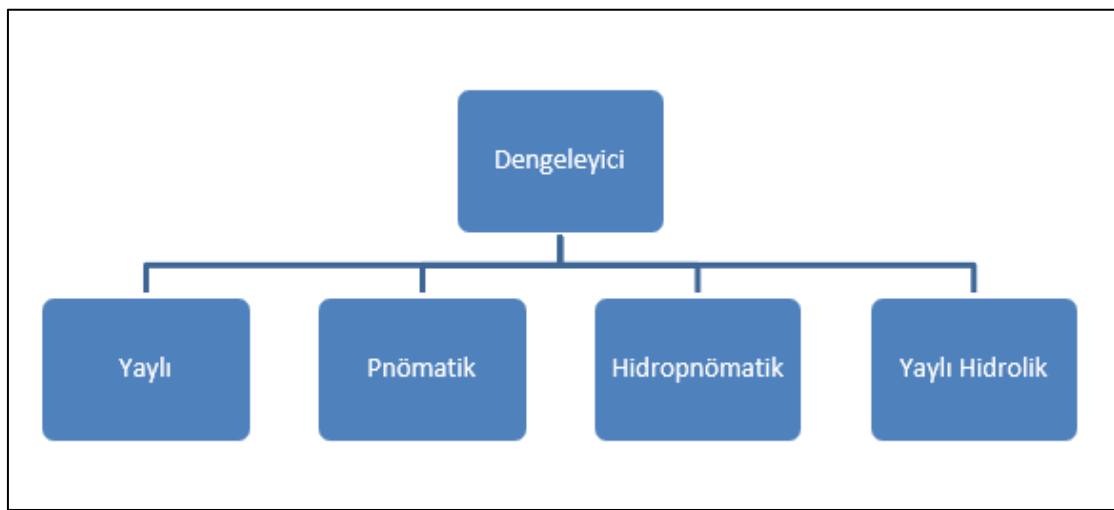
Şekil 3.5. İtme tipi yaylı dengeleyici [13]

Sistemin itme tipi mi yoksa çekme tipi mi olacağına karar vermek için en önemli kriterler dengeleyici için var olan alan ve dengeleyicinin dönen parçalara bağlanacağı uygun yerin konumudur.

Bunların dışında dengeleme kuvvetlerinin büyüklüğü ihtiyaç duyulan strok miktarı da dengeleyici tipinin seçimi sırasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Kuvvet üretme yöntemlerine göre dengeleyiciler:

Kuvvet üretme yöntemine göre dengeleyiciler Şekil 3.6'da da verildiği gibi, yaylı, pnömomatik, hidropnömomatik ve yaylı hidrolik olabilmektedir.



Şekil 3.6. Kuvvet üretme yöntemlerine göre dengeleyiciler

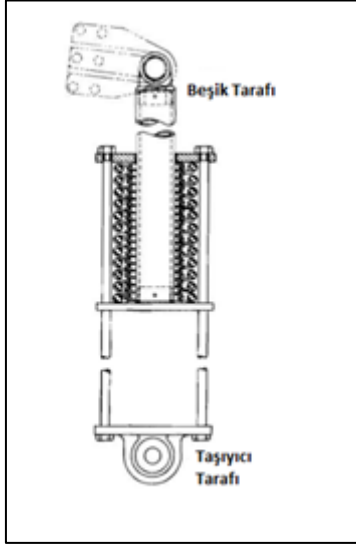
3.2.1. Yaylı dengeleyiciler

Üç çeşit yaylı dengeleyici mevcuttur:

- Helezon Yaylı
- Burulma Çubuklu
- Zemberek Yaylı

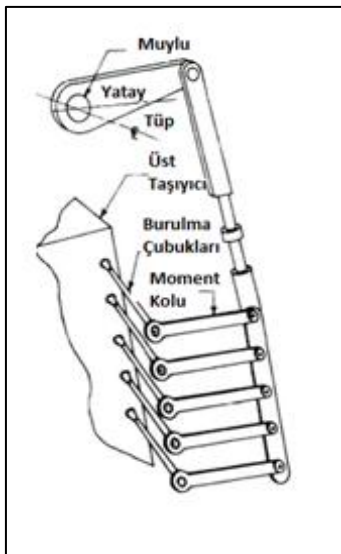
Helezon yaylı dengeleyici Şekil 3.7'te gösterilmiştir. Piston çubuğu beşik vasıtası ile yükseliş ekseninde dönen parçalara bağlanırken piston silindiri taşıyıcıya bağlanmaktadır. Şekilden de anlaşılabacağı gibi bu dengeleyici aynı zamanda çekme tipi dengeleyiciler sınıfına girmektedir. Maksimum yay sıkışması minimum yükseklikte gerçekleşmektedir. Dönen parçaların muylu ekseninde yükselmesi ağırlık momentinde azalmaya neden

olmakta aynı zamanda da yayın uzayıp dengeleme kuvvetini azaltmasını sağlamaktadır [12].



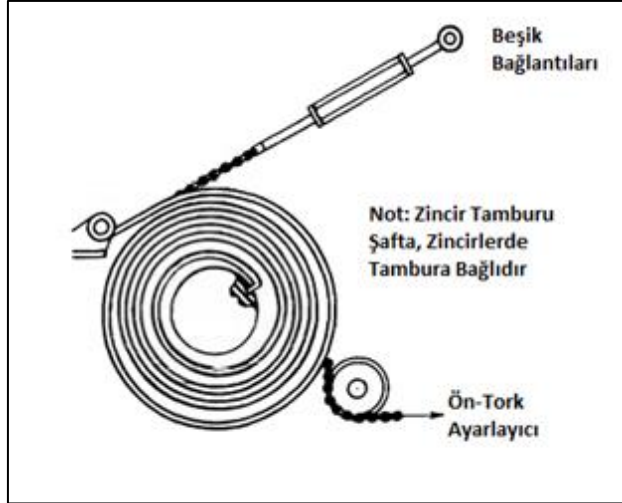
Şekil 3.7. Helezon yaylı dengeleyici [12]

Burulma çubuklu dengeleyicilerde (Şekil 3.8) helezon yaylar yerine bir ya da daha fazla burulma çubukları kullanılmaktadır. Çubuğu en uç noktası üst taşıyıcıya sıkıca bağlanmakta, serbest ucu ise moment koluna tutturulmaktadır. Moment koluna tutturulan uç, silah sisteminin yukarı hareketinde alçalmakta ve uygulanan denge kuvvetini azaltmakta, silah sisteminin aşağı hareketinde ise sıkışmakta ve kuvveti artırarak ağırlık momentindeki artışı dengelemektedir [12].



Şekil 3.8. Burulma çubuklu dengeleyici [12].

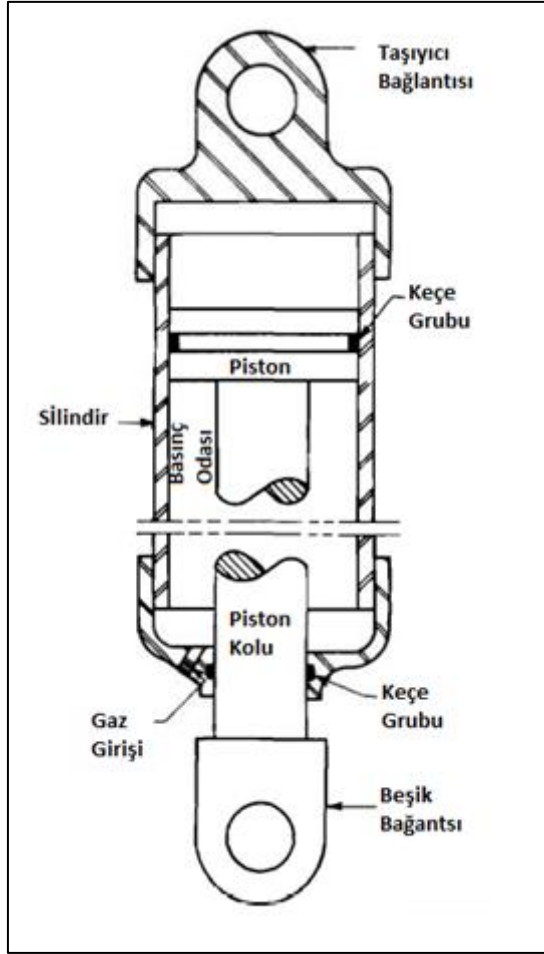
Şekil 3.9’de gösterilen zemberek yayı dengeleyiciler düz spiral yaylardan oluşmaktadır. Çalışma prensipleri burulma çubuklu dengeleyicilerle aynıdır. Ağırlık momentinin arttığı durumlarda zemberek yay sıkışarak denge kuvvetini artırmakta azaldığında ise gevşeyerek uyguladığı kuvveti azaltmaktadır [12].



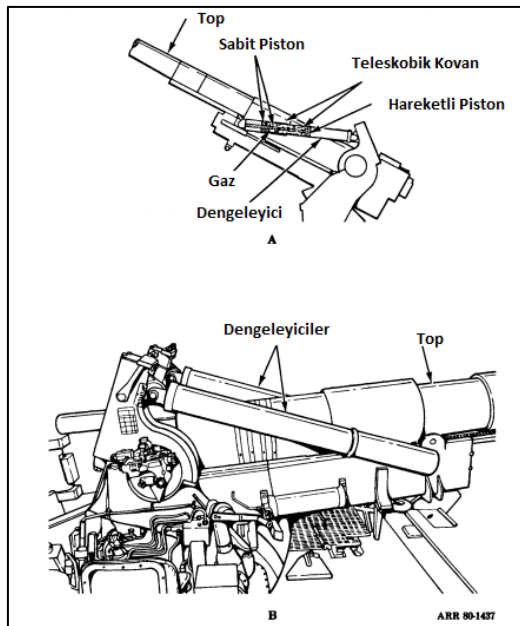
Şekil 3.9. Zemberek yaylı dengeleyici [12]

3.2.2. Pnömatik dengeleyiciler

Pnömatik dengeleyici, bir silindir ve bir pistondan oluşur (Şekil 3.10). Çalışma prensibi olarak yaylı dengeleyicilere benzese de kuvvet iletmek için kullanılan elastik madde helezon yay yerine sıkıştırılmış gazdır. Maksimum gaz basıncı namlunun en alçakta olduğu durumda gerçekleşir. Namlunun yükselmesi basınç odasının hacminin artmasına bu da gazın basıncının azalarak uygulanan dengeleyici kuvvetinin azalmasına yol açmaktadır [12].



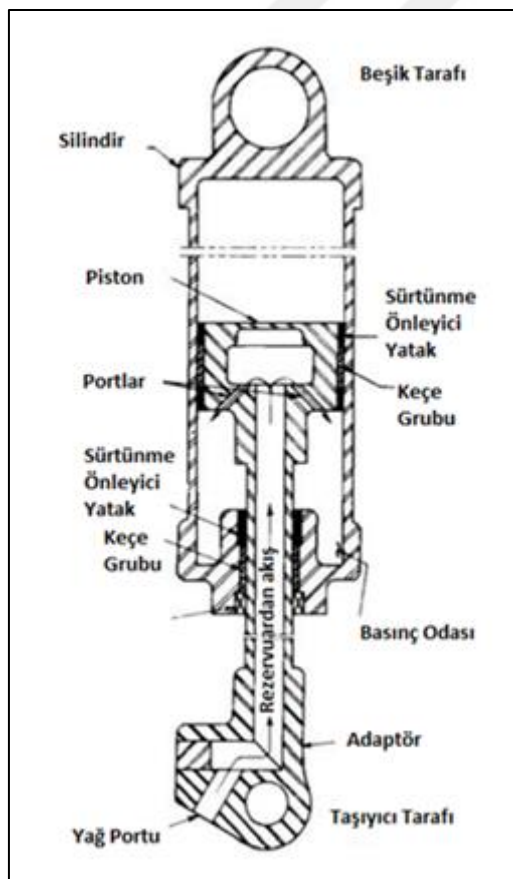
Şekil 3.10. Pnömatik dengeleyici [12]

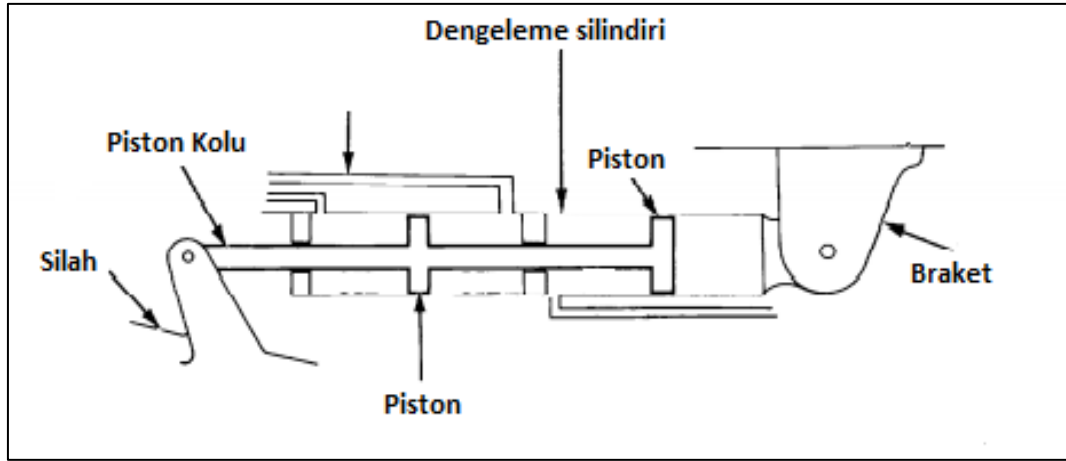


Şekil 3.11. Pnömatik dengeleyici [13]

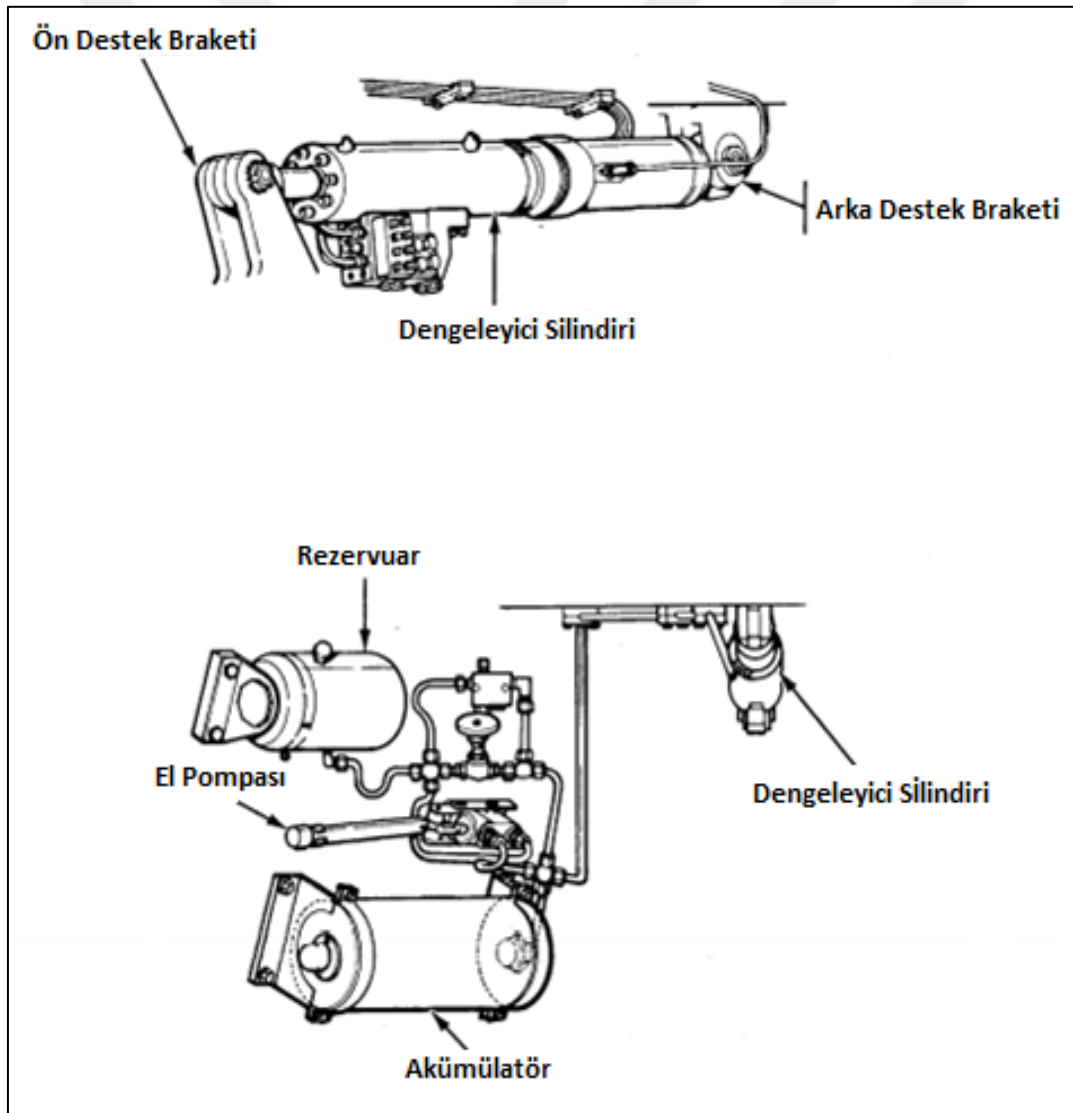
3.2.3. Hidropnömatik dengeleyiciler

Hidropnömatik dengeleyicide (Şekil 3.12), elastik madde sıkıştırılmış gazdır. Sistem bir hidrolik silindir, piston ve çubuk, hazne ve esnek bağlantı çubuklarından oluşur. Basınç odasının içi, rezervuar borularının tamamı ve rezervuarın bir kısmı hidrolik sıvı ile doludur. Rezervuarın geri kalanı basınç altındaki gazla doldurulur. Diğer dengeleyicilerde olduğu gibi maksimum basınç minimum yükseltide gerçekleşir. Basınç odasının hacminin silah sisteminin yükselişi ile artması, basınç altındaki sıvının rezervuardan bağlantı boruları, adaptör, piston mili ve portlar kanalı ile basınç odasına akması sağlanır. Bu durum rezervuar içindeki sıvı ve gaz hacimlerinde değişikliğe yol açıp basınç düşmesine böylece dengeleyici kuvvetinin azalmasına yol açar. Rezervuarlar ihtiyaca göre tekli ya da çoklu olabilirler. Hidropnömatik sistemler genellikle ağırlık momentinin fazla olduğu silah sistemlerinde kullanılırlar. Bu tip dengeleyicilerde sıkıştırılmış gaz ana sistemden uzakta bir yerde muhafaza edilebileceğinden yer kazanımı sağlanabilir [12].





Şekil 3.13. Hidro-pnömatik dengeleyici [13]



Şekil 3.14. Hidro-pnömatik dengeleyici [13]

3.2.4. Yaylı hidrolik dengeleyiciler

Yay-hidrolik dengeleyici, helezon yay mekanizması ile hidrolik basınç sistemini birleştirmektedir. Bu tip dengeleyiciler füze rampalarında olduğu gibi ağırlık momentindeki ani değişkenlikleri telafi etmek için özel olarak tasarlanmıştır [12].

3.3. Dengeleyici Seçim Kriterleri

Çizelge 3.1’de göre, dört genel dengeleyici tipini arzu edilen özelliklerine göre değerlendirir. Rakam ne kadar düşükse, derecelendirme o kadar yüksek olur [12].

Çizelge 3.1. Dengeleyicilerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi [12]

	Yay	Pnömatik	Hidropnömatik	Yaylı Hidrolik
Basitlik	1	2	3	4
Yer Kaplama	3	1	2	4
Strok Boyu	4	3	1	?
Minimum Ağırlık	3	1	2	4
Güvenilirlik	1	3	2	?
Bakım Kolaylığı	1	2	2	?
Operasyon Esnekliği	2	1	1	?
Değişkenlik	2	1	1	1
Minimum Maliyet	1	2	3	4
Sağlamlık	1	3	2	?

Yer kaplama kriterinde hidropnömatik dengeleyici genel olarak diğerlerine göre daha fazla hacim kaplayabilir ama gaz rezervuarı bu alanın dışındadır. Ayrıca sağlamlık satırı çizelgeye kaynak [14]’den eklenmiştir.

Mekanik yayların kullanıldığı yerlerde, boyutlardaki küçük farklılıklar (Üretim toleransları gibi) yay oranını etkiler. Diğer yandan bu oran çalışma hızından veya atmosferik sıcaklıklardan etkilenmez [12].

Dengeleyici seçimi karşılaşılan sorunlara bağlı olarak belirlenir. Yaylı dengeleyici basitliği nedeniyle en çok tercih edilen dengeleyici türüdür. Bununla birlikte tasarımcı, alan, strok uzunluğu, gerekli kuvvet veya diğer faktörler nedeniyle diğer dengeleyicilerden birini kullanma gereği duyabilir [12].

3.4. Dengeleyici Tasarımı

Dengeleyici tasarımı altında dengeleyici tasarımını etkileyen faktörler ve basit dengeleyici hesaplamaları anlatılmıştır. Anlatımda kullanılan denklemler için [12] numaralı kaynakçadan yararlanılmıştır.

3.4.1. Dengeleyici tasarımını etkileyen faktörler

Dengesiz parçaların ağırlık momenti

Dengesiz parçaların momenti dengesiz parçalarının ağırlığının muylu ekseninden ağırlık merkezi ile yatay mesafesi ile çarpımıdır. Dengesiz tüm parçalar muylu tarafından desteklenen parçalarıdır [14].

Muylu merkezine göre dengesiz parçaların ağırlık momenti M_w :

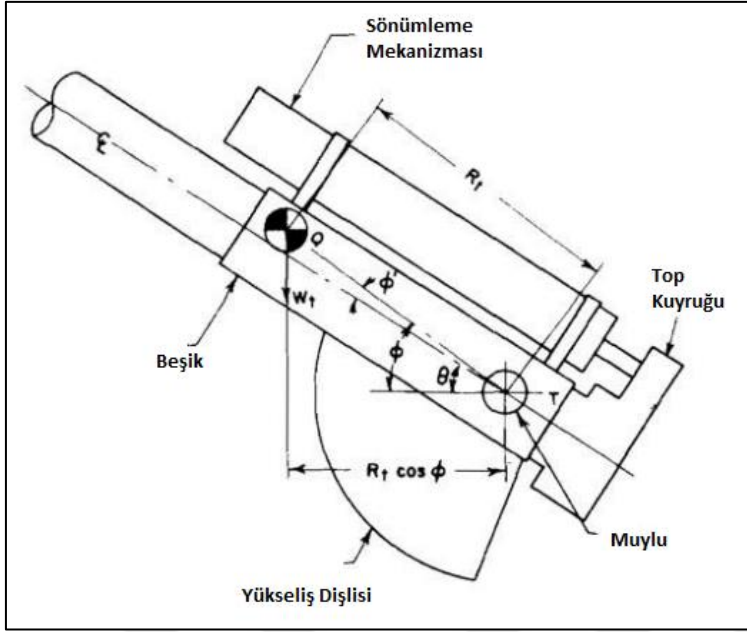
$$M_w = W_t R_t \cos \emptyset \quad (3.1)$$

W_t : Dengesiz parçaların ağırlığı, N

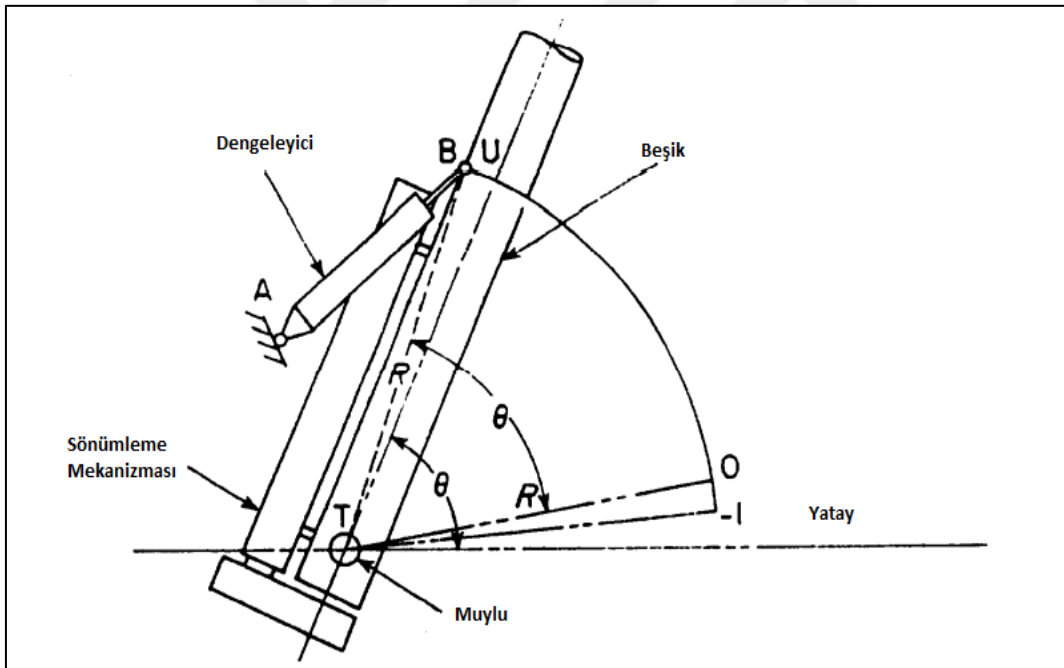
R_t : Muylu ile dengesiz parçaların ağırlık merkezi arasındaki mesafe, m

$\emptyset$: Yatay eksen çizgisi ile OT arasındaki açı (Şekil 3.15), rad.

Dengeleme kuvvetini veya moment kolunu ya da her ikisini de açıya göre değişiklik gösterecek şekilde manipüle ederek teorik olarak herhangi bir yükseliş açısı için mükemmel bir denge elde etmek mümkündür. Bu özellikle sabit yay oranlarına sahip dengeleyiciler için geçerlidir. Diğerlerinde yakın bir yaklaşım kabul edilmesi olağandır. Sürtünme gibi diğer faktörler hassasiyeti bozacaktır [14].



Şekil 3.15. Dengesiz parçaların ağırlık momenti geometrisi [12]



Şekil 3.16. Bileşenlerin gösterildiği dengeleyici geometrisi [14]

- A: Dengeleyicinin taşıyıcıya bağlantı noktası
- B: Dengeleyicinin beşiğe bağlantı noktası
- O: B'nin sıfır yükseklik açısındaki konumu
- I: B'nin negatif yükseklik açısındaki konumu
- U: B'nin maksimum yükseklik açısındaki konumu

Sürtünme

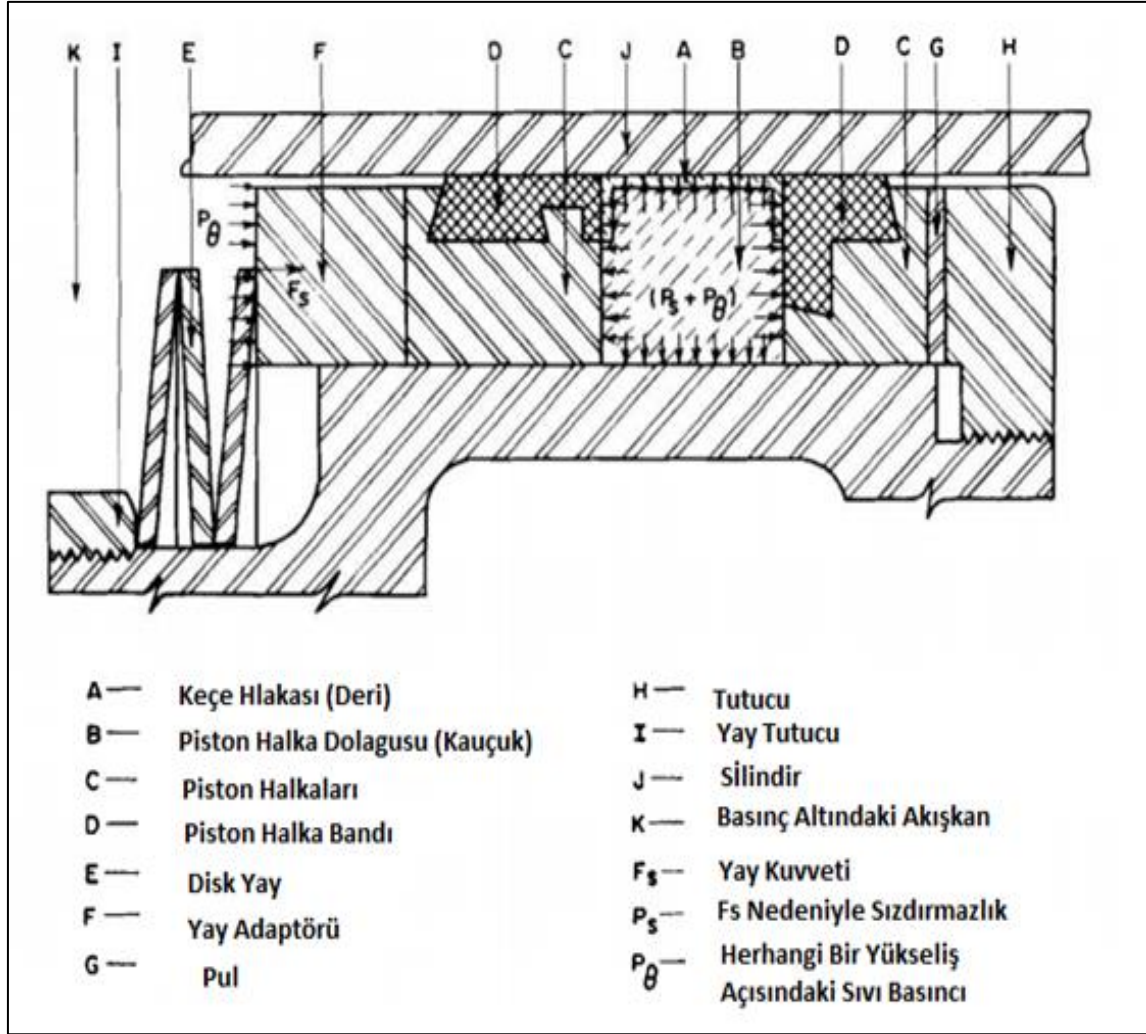
Dengeleyici sistemdeki sürtünme, gerekli girdi kuvvetlerini artırır ve performansı düşürür; bu nedenle sürtünme kuvveti hesaplanmalıdır. Sürtünme kuvvetleri dengeleyici tarafından telafi edilemez çünkü sürtünme kuvvetleri yükselme ve alçalma ile yön değiştirir. Muylu yataklarında, taşıyıcı ve beşik bağlantılarda ve keçelerde de sürtünme meydana gelir. Beşik muylu sürtünmesi, düşük sürtünmeli rulmanlar kullanıldığında ihmal edilebilir [14].

Keçe sürtünmesi

Pnömatik ve hidropnömatik dengeleyicilerde, sıvı veya gaz tüplerindeki keçelerin sürtünmesi dikkate alınmalıdır. Keçeler, pistonlar ve piston rotaları gibi hareketli parçalardan sızıntıyı önler ve sızdırmazlık sağlarlar. Keçeler hem sıvı basıncı hem de yaylar tarafından hareketli yüzeylere sıkıca bastırılır [12].

Keçe malzemesinin hidrositatik durumu nedeniyle eksenel basınç neredeyse sızdırmazlık için gerekli olan radyal basınca eşittir. Radyal basıncın uygulanan eksenel basınca oranı keçe malzemesinin bir özelliğidir ve "basınç faktörü" olarak adlandırılır. Poisson oranına biraz benzemektedir [12].

Pozitif sızdırmazlığı sağlamak için, radyal basınç maksimum sıvı basıncından daha büyük olmalıdır. Bu, disk yayların uyguladığı kuvvet nedeniyle mümkündür. Radyal basıncın maksimum sıvı basıncına oranı "sızıntı faktörü" olarak bilinir ve genellikle en az 1,0'dır. Bazen yağlama için az miktarda sızıntı istenir, bu tür zamanlarda sızıntı faktörü 1,0'dan azdır [12].



Şekil 3.17. Piston sızdırmazlık montajı basınç dağılımı ve uygulanan yükler [12]

Keçe sürtünme kuvveti, keçe tarafından uygulanan toplam radyal kuvvet ile sürtünme katsayısının çarpımıdır [12].

$$f_p = \mu F_p \quad (3.2)$$

f_p : Keçe sürtünmesi

F_p : Keçe ile uygulanan radyal kuvvet

μ : Sürtünme katsayısı

Deri için $\mu=0.05$, gümüş için $\mu=0.09$ (Kaynak: R. Eksergian, Theory and Design of Recoil Systems and Gun Carriages; Ordnance Department Document No. 2035-A.)

3.4.2. Basit dengeleyici hesaplamaları

Dengeleyici kuvvet, ağırlık momentini dengelemek için muylulara eksantrik olan dengesiz parçalara uygulanır. Dengesiz parçalar yükseldikçe ağırlık momenti azalır. Bazen tüm yükseklik açılarında mükemmel denge için çaba sarf etmek pratik değildir, ancak dengesizliği çok küçük tutmak mümkündür. Müsaade edilebilir dengesizliğin ölçütü, yükseliş el çarkı ile kolaylıkla üstesinden gelinmesi gerekliliğidir. Silahın, güç kaynağı ile yükseliş eksen sürüşüne sahip olsa bile, güç kesintisi durumunda kolaylıkla elle sürülebilmesi gereklidir [12].

Modern silah sistemlerinde genellikle manuel el çarkı bulunmamaktadır. Sürüş için servo motorlar kullanılmaktadır. Dengesizlik el çarkı kullanımında el çarkına gelen kuvveti azaltmaktadır. Ama modern sistemlerde de daha küçük servo motorlar kullanılabilmesi için de dengeleyicilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Dengeleyici yerleşimi

Dengeleyicinin yatak üzerindeki konumu kritik bir tasarım özelliğidir. Tüm yükseliş açılarında mevcut alanı göstermek için ilk tasarım aşamasında silah taşıyıcısının bir yerleşimi yapılmalıdır. Ondan sonra, uygun dönüş yarıçapı dahil olmak üzere en etkili geometri belirlenir, böylece dengeleyici, muylular etrafındaki gerekli torku sağlayabilir. Geometri, mükemmel dengelenmiş bir sistem için önce belirlenir. Geometri hala mevcut alanla uyumlu değilse, ancak ideal sisteme yakın olduğu ölçüde değiştirilir. Bu, bir deneme yanılma yaklaşımı gerektirir, bu nedenle, tekniğe ilişkin önceki deneyim veya aşinalıklar şüphesiz bir kazanç haline gelir [12].

Dengeleyicilerin mekaniği

Bir yaylı dengeleyicinin mükemmel bir denge elde etmesi için gerekli geometrik özellikleri belirlemek için bir yöntem oluşturulmuştur. Sabit yay oranlarına sahip olmayan diğer dengeleyici tiplerin yerleşim amacı için de kullanılabilir, ancak bunlarda bir miktar dengesizlik var olacaktır. Bir dengeleyicinin ihtiyaç duyduğu kuvvet, mevcut moment koluna ve strokuna bağlıdır. (Şekil 3.18 ve Şekil 3.19) Dönüş yarıçapı R , beşiğin boyutlarının izin verdiği kadar büyük olmalıdır. C / R oranı yayın verimini belirler;

optimum 1,0'dır, ancak 3,0'a kadar verimsiz değildir. Dengeleyici L_θ 'nin herhangi bir θ yükseliş açısındaki uzunluğu, kosinüs yasası ile bulunabilir; Böylece, [12]

$$L_\theta^2 = c^2 + R^2 \cos \psi \quad (3.3)$$

$$\text{Sinüs yasasına göre: } \frac{R}{\sin \epsilon} = \frac{L_\theta}{\sin \psi} , \quad (3.4)$$

$$\text{Ama: } \frac{r}{c} = \sin \epsilon ; \quad (3.5)$$

Bu nedenle, dengeleyici moment kolu

$$r = \frac{cR}{L_\theta} \sin \psi, \quad (3.6)$$

$$\text{ve strok } \Delta L = L_0 - L_\theta, \quad (3.7)$$

burada L_0 , ϕ sıfıra eşit olduğunda dengeleyicinin uzunluğudur. Geometri korunursa, dengesizlik parçalarındaki dengeleyici pim bağlantısının, muylu T noktası ile B noktası arasındaki daire üzerinde herhangi bir noktada yer alabileceği unutulmamalıdır [12].

Dengeleyici sistemin mekaniği analiz edilerek mükemmel denge sağlanabilir. Şekil 3.18 ve Şekil 3.19 kullanılabilir. Mükemmel denge için dengeleyici momenti, tüm yükseliş açılarındaki ağırlık momentine eşittir [12].

$$M_w = W_t R_t \cos \phi, \text{ ağırlık momenti} \quad (3.8)$$

$$\phi = 0, M_{w_0} = M_w = W_t R_t , \text{ olduğunda} \quad (3.9)$$

$$M_e = rF , \text{ dengeleyici momenti,} \quad (3.10)$$

$$M_e = M_w = M_{w_0} \cos \phi . \quad (3.11)$$

Eş. 3.8 ve Eş. 3.10'dan,

$$F_r = W_t R_t \cos \phi . \quad (3.12)$$

$$\text{Ama, } r = \frac{cR}{L\theta} \sin \psi, \quad (3.13)$$

Şekil 3.18'ya göre,

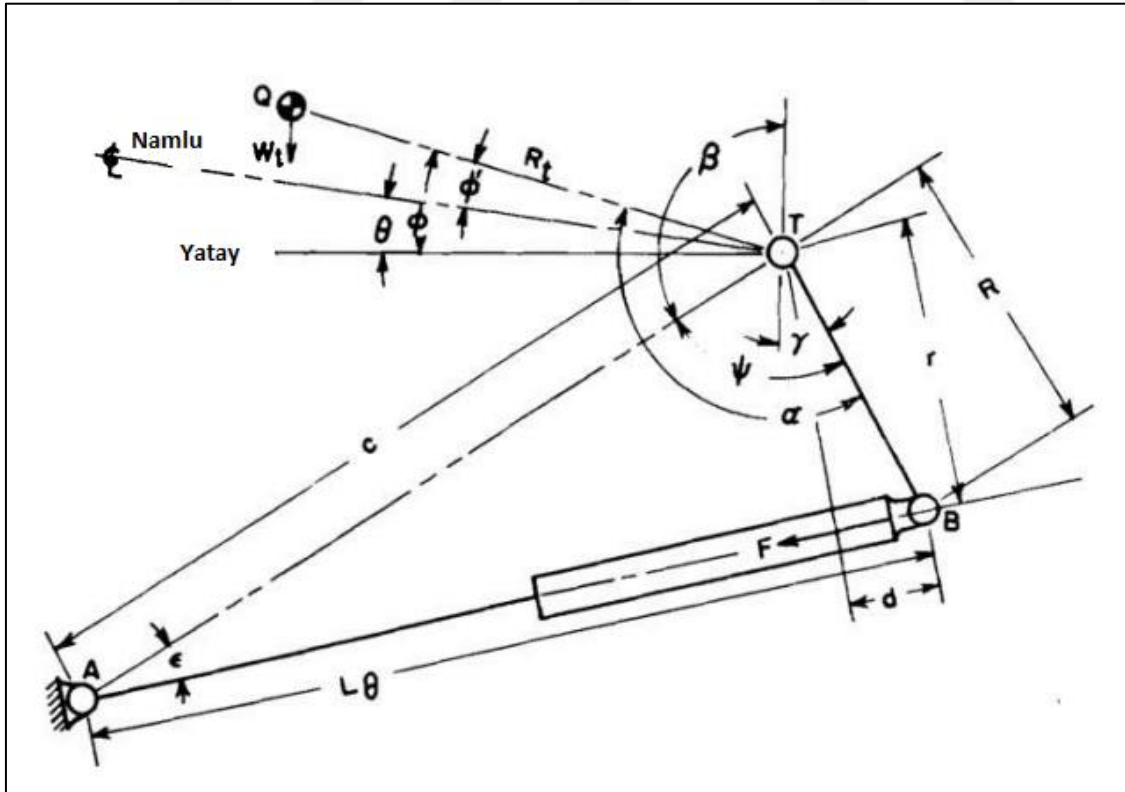
$$\psi = \alpha - \phi - (\beta - 90) = 90 - (\phi - \alpha + \beta) ; \quad (3.14)$$

veya Şekil 3.19'ye göre,

$$\psi = 90 - \phi - \alpha + \beta = 90 - (\phi + \alpha - \beta) ; \quad (3.15)$$

$$\alpha = \beta, \psi = 90^\circ - \phi ; \text{ olduğunda} \quad (3.16)$$

$$\text{Bu nedenle, } \sin \psi = \cos \phi. \quad (3.17)$$



Şekil 3.18. Mıyılı altında gösterilen dengeleyici geometrisi [12]

Eş. 3.12’de Eş. 3.6 ve Eş. 3.17 kullanılırsa,

$$F \frac{cR}{L_\theta} \cos \phi = W_t R_t \cos \phi, \quad (3.18)$$

$$\text{ve } F = \frac{W_t R_t}{cR} L_\theta \quad (3.19)$$

burada F dengeleyici yay kuvvetidir. A ve B arasındaki doğrusal mesafe veya dengeleyicinin uzunluğu ile doğru orantılıdır. Böylece herhangi bir pozisyondaki yay kuvveti,

$$F = K_s L_\theta, \quad (3.20)$$

$$\text{Buradan } K_s = \frac{W_t R_t}{cR}.$$

Dengeleyicinin konumu $\phi = 0$ olduğu zaman. Genel denklem,

$$\psi = \psi_0 - \phi, \quad (3.21)$$

$$\psi = \psi_0 \text{ olur,} \quad (3.22)$$

$$\phi = 0 \text{ olduğunda } r, r_0 = \frac{cR}{L_0} \sin \psi_0 \text{ olur.} \quad (3.23)$$

$$\text{Aynı şekilde, } M_{w_0} = M_{e_0} = r_0 F_0 = W_t R_t, \quad (3.24)$$

$$\text{ve } F_0 = \frac{M_{e_0}}{r_0}. \quad (3.25)$$

Herhangi bir ϕ açısında yay kuvveti,

$$F = F_0 + K_s \Delta L, \quad (3.26)$$

Burada K_s yay sabiti.

Eş. 3.25 ve Eş. 3.6, Eş. 3.26'da kullanılırsa,

$$F = \frac{M_{e_0}}{r_0} + K_s(L_\theta - L_0) ; \quad (3.27)$$

M_{e_0} ve r_0 yerine yazılırsa,

$$F = \frac{M_{w_0}L_0}{cR \sin \psi_0} + K_s(L_\theta - L_0). \quad (3.28)$$

Eş. 3.28'in her iki tarafını r ile çarpıp, Eş. 3.1'deki Fr değeri, Eş. 3.6'dan r değeri, Eş. 3.21'den ψ değeri alınarak:

$$M_{w_0} \cos \phi = \frac{cR}{L_\theta} \sin(\psi_0 - \phi) \left[\frac{M_{w_0}L_0}{cR \sin \psi_0} + K_s(L_\theta - L_0) \right] \quad (3.29)$$

Eş. 3.29 yeniden düzenlenirse,

$$M_{w_0} \left[\frac{L_\theta \cos \phi}{\sin(\psi_0 - \phi)} - \frac{L_0}{\sin \psi_0} \right] = cRK_s(L_\theta - L_0) \quad (3.30)$$

Bu genel denge denklemidir. Denklemi değişken ϕ açısından bağımsız kılacak ψ_0 değeri 90° 'dir. Eş. 3.30'da yerine yazılırsa,

$$M_{w_0} \left[\frac{L_\theta \cos \phi}{\sin(90 - \phi)} - \frac{L_0}{\sin 90} \right] = cRK_s(L_\theta - L_0). \quad (3.31)$$

Eş. 3.31'e $\sin(90 - \phi) = \cos \phi$ yazılırsa,

$$M_{w_0} = cRK_s . \quad (3.32)$$

Yaylı dengeleyicilerin çalışma aralığı boyunca mükemmel denge elde etmek için gerekli iki koşul, geometri tarafından kontrol edilir. Bunlar,

$$\psi_0 = 90^\circ \quad (3.33)$$

ve $K_s = \frac{M_{w0}}{cR}$, yay katsayısı. (3.34)

Yay katsayısının iki bağımsız değişkeni vardır. c ve R ölçüleridir (Şekil 3.18 ve Şekil 3.19). Dönüş yarı çapı R yapının geri kalanına göre seçilir. Yayın verimliği üzerine c için pratik uzunluğunun nasıl bulunacağı anlatılır. Şekil 3.20’de yayın Kuvvet-Çökme (Yer Değiştirme) eğrisi gösterilmektedir. Eş. 3.25’de M_{e0} ve r_0 yerine yazılırsa:

$$F_0 = \frac{M_{w0}L_0}{cR\sin\psi_0}. \quad (3.35)$$

Ama $\psi_0 = 90^\circ$ Eş. 3.33 ; bu yüzden,

$$F_0 = \frac{M_{w0}L_0}{cR} = K_s L_0, \quad (3.36)$$

L_0 , $\phi = 0$ olduğunda yay yer değiştirmesine eşittir. Maksimum yayın yer değiştirmesi S_m , L_0 ’ın L_m , ϕ ’nin ϕ_D olduğu maksimum yer değiştirme açısında meydana gelir. Maksimum yer değiştirme S_m , maksimum kuvvet F_m ve yay katsayısı K_s cinsinden yazılırsa,

$$S_m = \frac{F_m}{K_s}. \quad (3.37)$$

Eğrinin altında kalan alan (Şekil 3.20) toplam yay enerjisini temsil eder.

$$E_t = \frac{S_m F_m}{2} = \frac{F_m^2}{2K_s}. \quad (3.38)$$

Eş. 3.26 ve Eş. 3.28’den,

$$F_m = F_0 + K_s(L_m - L_0). \quad (3.39)$$

F_0 için Eş. 3.36 Eş. 3.39’a yazılırsa,

$$F_m = K_s L_m. \quad (3.40)$$

S_m ve L_m değerlerinin aynı olduğu unutulmamalıdır. Eş. 3.38'de F_m , Eş. 3.34'den de K_s yazılırsa toplam enerji,

$$E_t = \frac{K_s^2 L_m^2}{2K_s} = \frac{M_{w0} L_m^2}{2cR} . \quad (3.41)$$

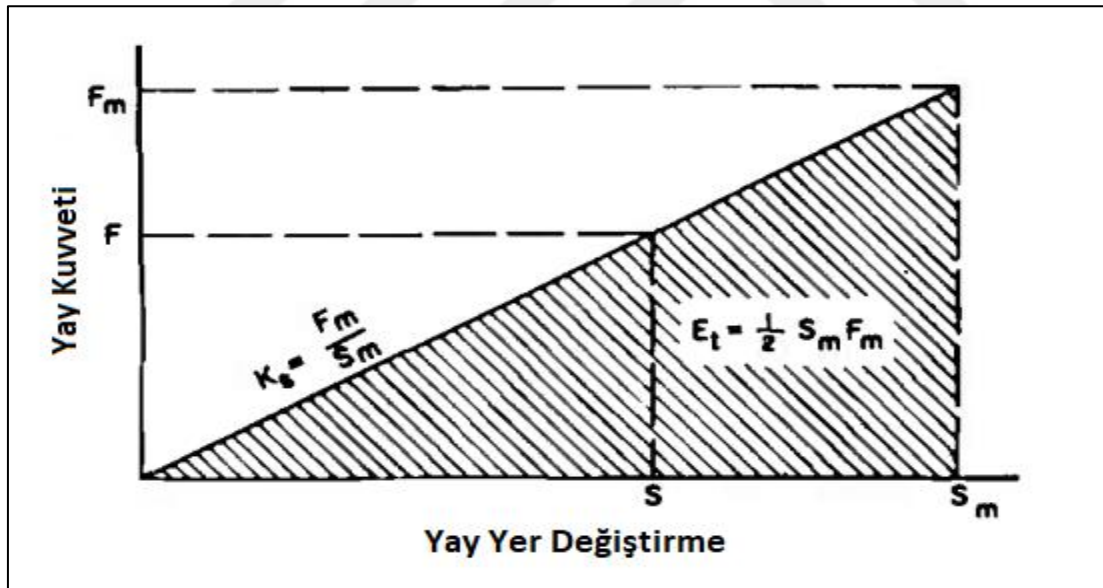
Eş. 3.3'den

$$L_m^2 = c^2 + R^2 - 2cR \cos \psi , \quad (3.42)$$

Eş. 3.21'de $\psi = \psi_0 - \phi_D$

Eş. 3.33'te $\psi_0 = 90^\circ$

ve $\cos(\psi_0 - \phi_D) = \sin \phi_D$.



Şekil 3.20. Yayın kuvvet yer değiştirme eğrisi [12]

ϕ = Şekil 3.18 ve 3.19'de tanımlanan açı

$\phi_D = \phi$ çökmenin maksimum olduğu açı

E_t = Toplam yay enerjisi

F = ϕ 'deki yay kuvveti

F_m = ϕ_D 'deki yay kuvveti

K_s = Yay katsayısı

S = Yay yer değiştirmesi

S_m = Maksimum yay yer değiştirmesi (ϕ_D)

Eř. 3.41'de L_m^2 yerine yazılırsa,

$$E_t = M_{w_0} \frac{c^2 + R^2 - 2cR \sin \phi_D}{2cR} . \quad (3.43)$$

Düzenlendięinde,

$$E_t = \frac{M_{w_0}}{2} \left(\frac{c}{R} + \frac{R}{c} - 2 \sin \phi_D \right) . \quad (3.44)$$

ϕ_D negatif olabilir.

Bu gerekli toplam yay enerjisi için genel denklemdir. Dengeleyici yayının toplam enerjisinin M_{w_0} bağlı olduğu, ağırlık momenti $\phi = 0$ olduğunda, yer değiştirme açısının maksimum olduğu ϕ_D ve tek değişken c ve R de;

$$K = \frac{c}{R} \quad (3.45)$$

Eř. 3.45, Eř. 3.44'de yerine yazılırsa,

$$E_t = \frac{M_{w_0}}{2} \left(K + \frac{1}{K} - 2 \sin \phi_D \right) . \quad (3.46)$$

K 'ya göre E_t 'nin ilk türevi,

$$\frac{dE_t}{dK} = \frac{M_{w_0}}{2} \left(1 - \frac{1}{K^2} \right) . \quad (3.47)$$

İlk türevi sıfıra eşitleyip K çözümlürse,

$$\frac{M_{w_0}}{2} \left(1 - \frac{1}{K^2} \right) = 0 \quad (3.48)$$

$$K^2 = 1 \text{ (20b) ve } K = \pm 1 . \quad (3.49)$$

c ve R her zaman pozitif oldukları için K 'nın negatif değerinin fiziksel bir önemi yoktur. K 'ya göre E_t 'nin ikinci türevi alınır,

$$\frac{d^2 E_t}{dK^2} = M_{w_0} \left(\frac{1}{K^3} \right) \quad (3.50)$$

$K = 1$ olduğunda ikinci türev sıfırdan büyük bir değere sahiptir. Bu $K = 1$ minimum ve $c=R$ eşit olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, bir dengeleyici yayının toplam enerji gereksinimi (E_t), c ve R mesafesinin eşit olduğunda minimumdur.

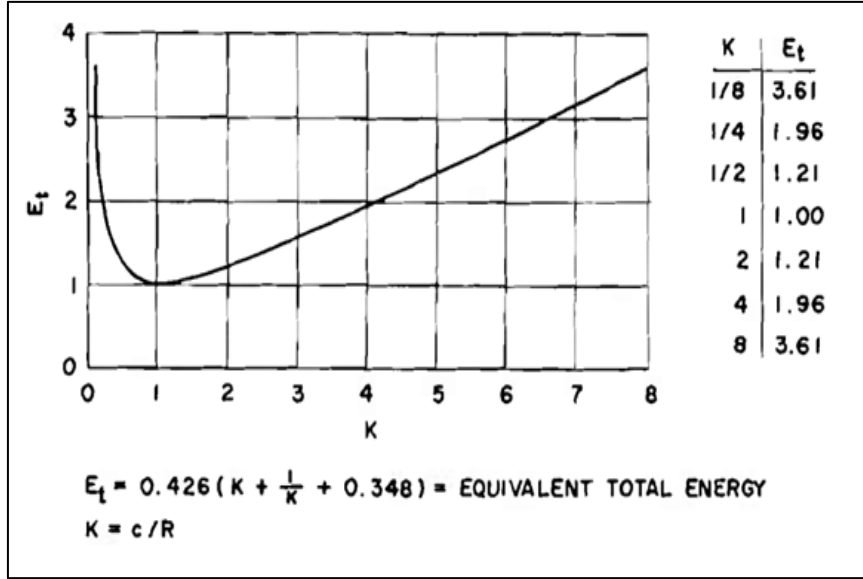
Birinden farklı bir c/R oranının etkisi, Şekil 3.21'te gösterilmektedir, burada K 'ye ve karşılık gelen E_t değerleri çizilmiştir. Hesaplamaları basitleştirmek için, $K = 1$ olduğunda $E_t = 1$ olan M_{m_0} 'ye bir değer atanır. Bu, K değiştikçe eğrideki eğilimi göstermek için yeterlidir. Eş. 3.46'da,

$$M_{m_0} = 0,852,$$

Ve $\emptyset_D = 10^0$, böylece

$$E_t = 0,426 \left(K + \frac{1}{K} + 0,348 \right) . \quad (3.51)$$

Şekil 3.21'de minimum E_t değeri, $K = 1$ olduğunda oluştuğu görülmektedir. Minimum oranda bir dengeleyici tasarlamak her zaman mümkün değildir, ancak sakıncalı da değildir. K oranı, yüzde 50'den biraz daha fazla ek yay enerjisi gerekli olacak şekilde 3,0'a yükseltilebilir. Bazı modern silahların dengeleyicileri bu özelliğe sahiptir (M2A2 105 mm Obüstür.)



Şekil 3.21. Eşdeğer toplam enerjinin eğilim eğrisi [12]

Yaklaşık dengeli sistemlerin mekaniği

Mükemmel bir dengeleyici, geometrisini sınırlayan engeller nedeniyle mümkün olmadığında, mühendis, mükemmel sisteme çok yakın olan diğer yöntemlere başvurmalıdır. Uygun bir geometri oluşturmaya yönelik ilk girişimlerde mükemmel denge sistemi geometrisi denenmeli ve mevcut alana uyacak şekilde değiştirilmelidir. Çeşitli yükseliş açılarındaki dengelenecek ağırlık momentleri, dengeleyicinin muylu etrafında karşılık gelen moment kollarına bölünerek teorik olarak gerekli kuvvetler belirlenir. Teorik olarak belirlen bu kuvvetler düz bir çizgi halinde olmayacaktır (Şekil 3.22).

Dengeleyicinin yay sabitini ve başlangıç kuvvetini belirlemek için aşağıdaki üç yöntem mevcuttur:

Metot 1: İki yükseliş açısında ağırlık ve dengeleyici momentleri dengeleyecek şekilde kuvvetleri hesaplayın; biri çok düşük, diğeri çok yüksek. Genellikle, yükselme aralığının geri kalanı boyunca ortaya çıkan dengesizlik, kabul edilebilir seviyede olacak kadar küçüktür. Normalde, düşük açı sıfırda seçilir. Yüksek açı, maksimum yükseklikten 5 ila 10 derece daha azdır. Örneğin, seçilen iki açının $\theta = 0$ ve $\theta = u$ olduğunu varsayalım. Bu açılardaki ağırlık momentleri M_{w_0} ve M_{w_u} , karşılık gelen dengeleyici moment kolları r_0 ve r_u ,

$$0^\circ \text{ derecede dengeleyici kuvveti, } F_0 = \frac{M_{w0}}{r_0} \quad (3.52)$$

$$u^\circ \text{ derecede dengeleyici kuvveti, } F_u = \frac{M_{wu}}{r_u} \quad (3.53)$$

$$\text{Yay katsayısı, } K_s = \frac{F_0 - F_u}{\Delta L} \quad (3.54)$$

Buradaki ΔL , 0° ve u° derece arasındaki dengeleyici stroğudur. Yay oranı bilindiği zaman herhangi bir yükseliş açısındaki dengeleyici kuvveti bulunabilir.

Metot 2: Teorik kuvvete karşı yükseliş eğrisine en çok uyan düz bir çizgi çizin (Şekil 3.22). Başlangıç kuvveti F_0 , doğrudan eğriden okunur ve düz çizginin eğimi yay sabitini belirler.

Metot 3: En doğru yöntem, en küçük kareler teorisini, yükseliş eksenin tüm açılarında ağırlık momentlerini dengelemek için gerekli olan dengeleyici üzerindeki kuvvetlere uygulamaktır.

F = Dengeleyici kuvveti, lb,

F_0 = Başlangıç dengeleyici kuvveti, lb,

K_s = Dengeleyici yay sabiti, lb/in

ΔL = Dengeleyici hareketi, in

$$F = F_0 - K_s \Delta L . \quad (3.55)$$

Özetle tüm hareket artışlarındaki kuvvetler,

$$\Sigma F = N F_0 - \Sigma K_s \Delta L . \quad (3.56)$$

Özetle sıfır noktasından itibaren artan tüm moment kuvvetleri (Şekil 3.22):

$$\Sigma F \Delta L = F_0 \Sigma \Delta L - K_s \Sigma \Delta L^2 \quad (3.57)$$

Eş. 3.56 ve Eş. 3.57 eş zamanlı çözerek, K_s ve F_0 değerleri elde edilir. Örnek olarak, Şekil 3.22.'te verilen teorik gerekli kuvvetler için dengeleyicinin yay oranını ve başlangıç kuvvetini belirleyin. ΔL , toplam 12 inçlik bir mesafede bir inçlik artışlarla alınır, terimler aşağıdaki gibi tablo haline getirilebilir:

ΣF ve $\Sigma F\Delta L$ denklemlerde yerlerine yazılırsa K_s ,

$$11770 = 13F_0 - 78K_s,$$

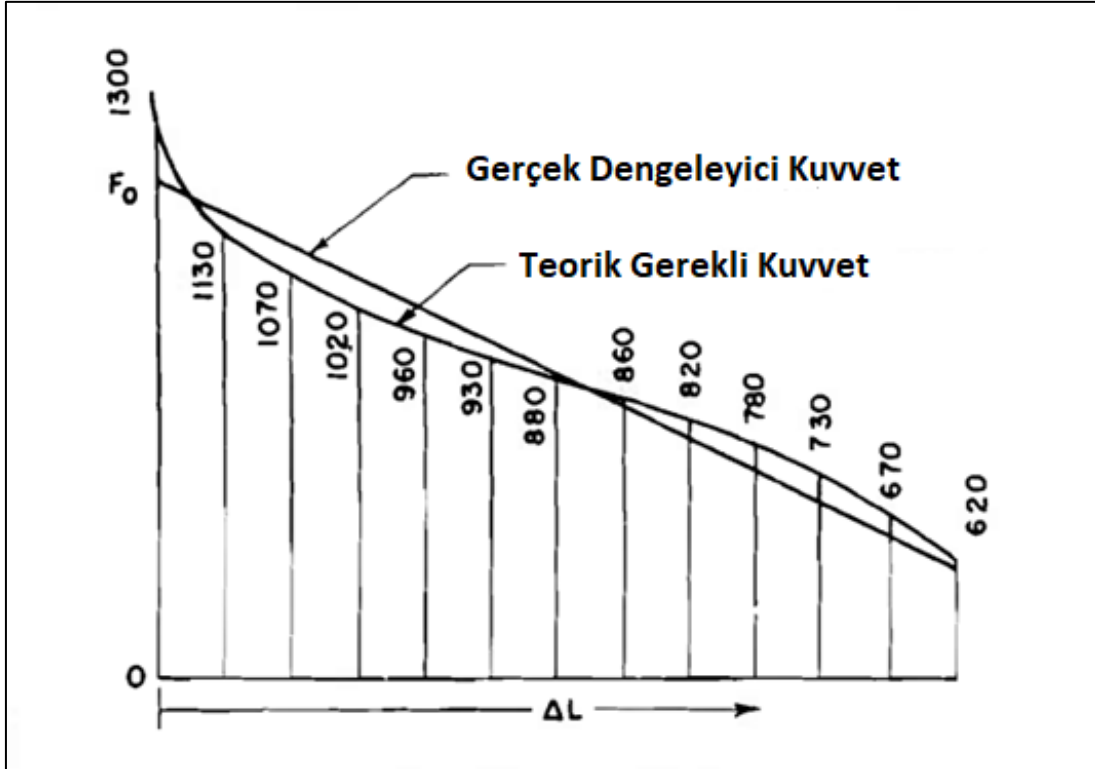
$$61810 = 78F_0 - 650K_s,$$

Buradan $K_s = 48,406$ = dengeleyici yay sabiti, lb/in

ve ilk kuvvet $F_0 = 1196$ lb

Çizelge 3.2. Teorik gerekli kuvvet değerleri [12]

N	ΔL	ΔL^2	F	$F\Delta L$
1	0	0	1300	0
2	1	1	1130	1130
3	2	4	1070	2140
4	3	9	1020	3060
5	4	16	960	3840
6	5	25	930	4650
7	6	36	880	5280
8	7	49	860	6020
9	8	64	820	6560
10	9	81	780	7020
11	10	100	730	7300
12	11	121	670	7370
13	12	144	620	7440
Σ	78	650	11770	61810



Şekil 3.22. Dengeleyici kuvvet eğrisi [12]

Yukarıda bahsedilen yöntemlerden ilki en basitidir ve tatmin edicidir. Diğer yöntemler, mükemmel dengelemeye sahip olmayan yaylı dengeleyiciler için yüksek doğruluğun gerekli olduğu durumlarda önerilir.

3.5. Yay Tasarımı ve Kriterleri

Silah kule sistemlerinde kullanılan yaylı dengeleyicilerde en kritik parça yaydır. Bu bölümde yay tasarımı ve sistem kısıtlarından dolayı tasarımı etkilen kriterlerin teorisi anlatılacaktır.

Yay, bir kuvvet veya momentin etkisi altında bulunduğu elastik şekil değiştirebilme özelliği gösterebilen mühendislik malzemelerinden üretilmiş, bu şekil değiştirme sırasında enerjiyi (Şekil değiştirme enerjisi) depolayabilen, sonrasında kendisine etkiyen kuvvet ya da momentin etkisi ortadan kalktığında şeklini kısmen veya tamamen geri alabilen ve aynı anda da depolamış olduğu enerjinin belli bir kısmını geri verebilen, makine elemanıdır [15].

3.5.1. Yayların sınıflandırılması

Yaylar ile ilgili net bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Görünüşlerine ve zorlanma türlerine göre sınıflandırılabilirler. Resim 3.2’de farklı tip yaylara ait görseller görülmektedir.

Görünüşlerine göre:

- Helisel Yaylar
- Konik Yaylar
- Yaprak Yaylar
- Çubuk Yaylar
- Spiral Yaylar
- Kangal Yaylar
- Disk Yaylar
- Kauçuk Yaylar

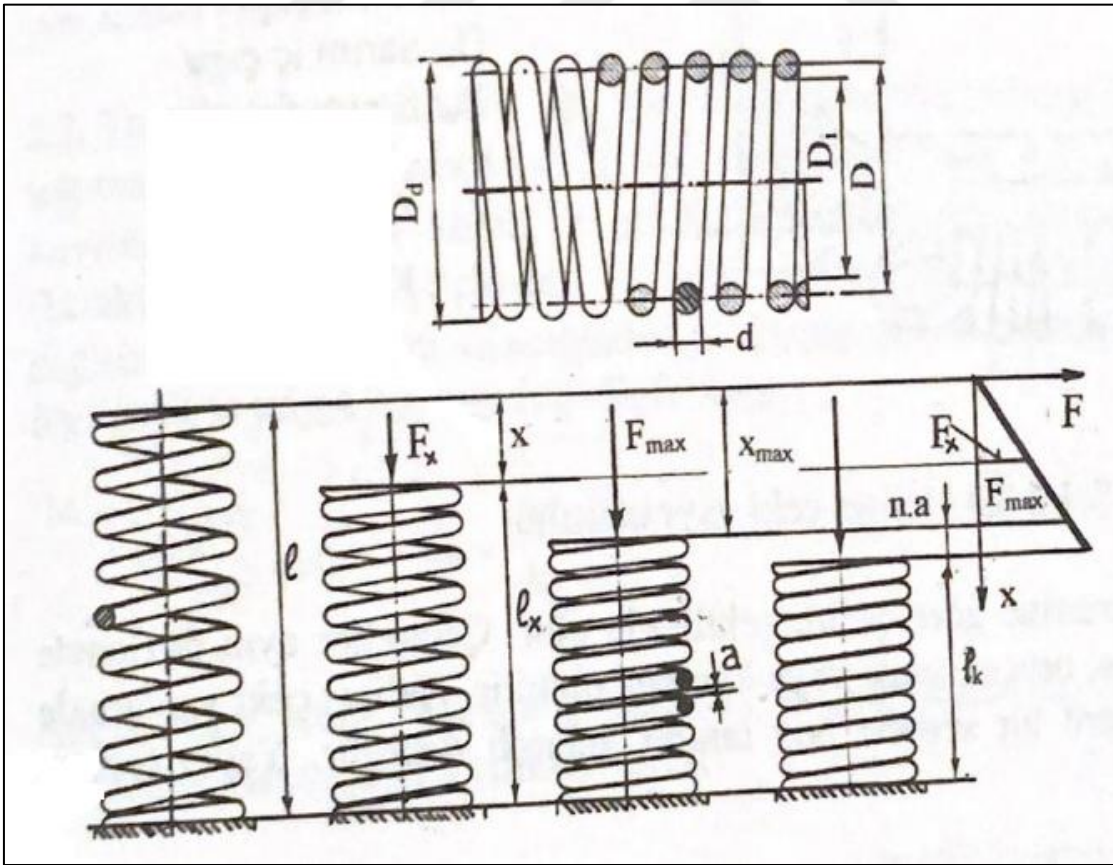
Zorlanma türlerine göre ise:

- Çeki Yaylar
- Bası Yayları
- Eğilme Yayları
- Burulma Yayları

Bazı örnek yay görselleri:



Resim 3.2. Helisel bası yayı, helisel çeki yayı, spiral yay, eğilme yayı, burulma yayı, disk yay ve yaprak yay [16]



Şekil 3.23. Helisel bası yayı tanımı [17]

l : Serbest boy

x_{max} : Maksimum çökme

a : İki sarım arası gerekli boşluk

d : Tel çapı

D : Yay (sarım) çapı

l_k : Katılaşmış (Rijit) boy

Helisel bası yaylarında serbest boy yani maksimum boy; boydaki değişim miktarı (x), yay sarımları arası toplam boşluk (na) ve rijitleşmiş yani katılaşmış boy (l_k)'un toplamına eşittir [17].

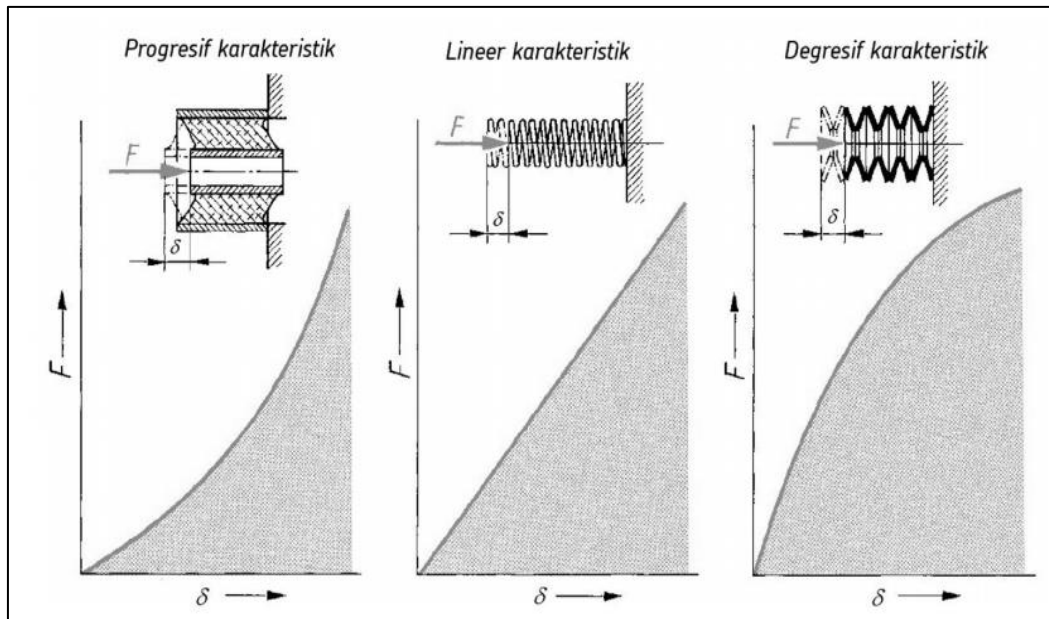
$$l = x + na + l_k ; \quad l_k = (n + 1)d \quad (3.58)$$

Burada n tam sarım sayısı olarak alınmıştır.

3.5.2. Temel Kavramlar

Yay karakteristiği

Yaya etkiyen kuvvet ve momentlere karşı yayda ortaya çıkan boy ve şekil değişimi arasındaki ilişkiye yay karakteristiği denir.



Şekil 3.24. Çeşitli yay karakteristikleri [18]

Yay katsayısı

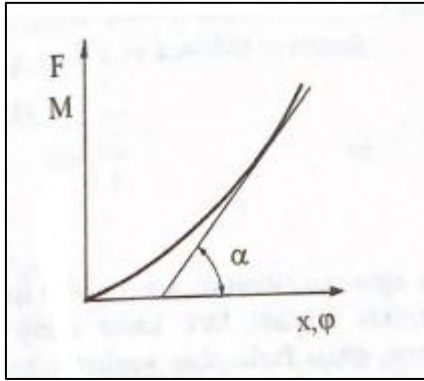
Farklı tip iki yayın karakteristiklerinin (Eğrisel karakteristiklerde teğetlerinin) yatayla yaptıkları açı (α) farklı olur (Şekil 3.24). Rijit yani sert yaylarda büyük F kuvvetlerine karşılık olarak küçük x şekil yer değişimleri olacağından α büyük (karakteristik dik), yumuşak yaylarda ise daha küçük kuvvetlere karşılık büyük boy değişimleri söz konusu olacağından α küçük (karakteristik yatık) olacaktır [17].

İşte bu özellik farkı yayın katılığı (rijitliği) olup [17],

$$k = \frac{dF}{dx} \text{ veya } k_{\varphi} = \frac{dM}{d\varphi} \quad (3.59)$$

şeklinde ifade edilir. Burada k veya k_{φ} 'ye yay katsayısı veya yay katılığı denir [17].

$k = \frac{dF}{dx} = \tan \alpha$, $k_{\varphi} = \frac{dM}{d\varphi} = \tan \alpha$ şeklinde yazılabilir. Burada α yay karakteristiğinin eğim açısıdır ve $\tan \alpha$ ise eğimidir [17].



Şekil 3.25. Yay kuvvet-yer değiştirme grafiği [17]

Doğrusal karakteristikli yaylarda ise,

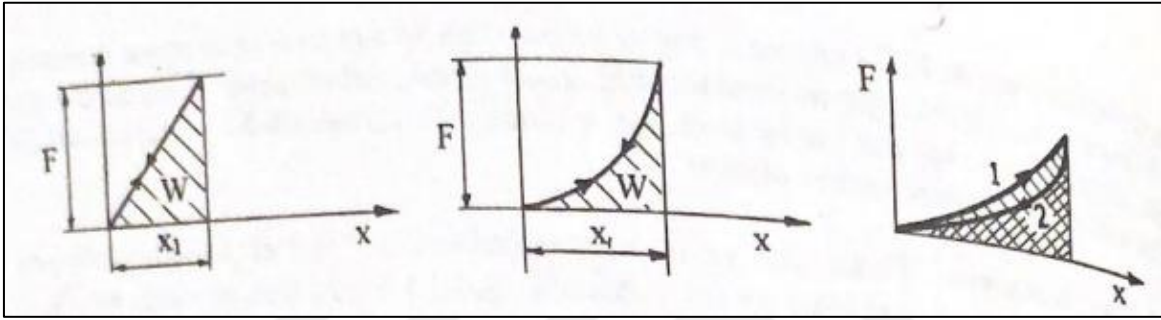
$$k = \frac{F}{x} = \tan \alpha \text{ , N/mm}$$

$$k_{\varphi} = \frac{M}{\varphi} = \tan \alpha \text{ , Nmm/rad}$$

Görüldüğü üzere yay katsayısı birim şekil değişimi için yaya etkimesi gereken birim kuvvet ya da momenttir [17].

Yay işi

Yaya kuvvet ya da moment uygulanarak yüklendiği zaman yükleme karakteristiğinin altında kalan alan yüklemede yaya verilen işi ve boşaltma karakteristiğinin altındaki alanda yaydan geri alınan işi gösterir [17].



Şekil 3.26. Yay işi ve iç sönümleme [17]

Sürtünme ve buna benzer kayıplar eğer yoksa yükleme ve boşaltma karakteristiği üst üste düşer [17].

$$W = \int_0^{x_1} F dx, W = \int_0^{\varphi_1} M d\varphi \quad (3.60)$$

Doğrusal karakteristikli yaylarda ise,

$$W = \int kx dx = \frac{kx^2}{2} = \frac{F^2}{2k} \text{ bulunur.}$$

İç sönümleme

Yayın depoladığı enerji (Yükleme eğrisinin altındaki alan) alınan işten (Boşaltma eğrisinin altındaki alandan) daha büyükse aradaki fark kadar enerji iç sönümlerle ısıya dönüşmüş olur. İç sönümleme etkisi fazla olan yaylarda (Şekil 3.26) genellikle yükleme (1) ve boşaltma (2) karakteristikleri farklıdır. Her ikisinin altındaki alanlar arasındaki fark ısıya dönüşen sönümleme enerjisini belirler [17].

$$W_s = W_1 - W_2,$$

Yayın iç sönüm yüzdesi ise,

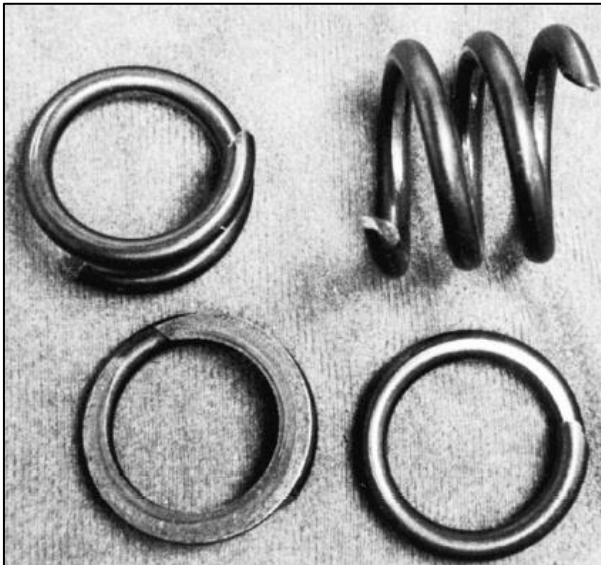
$$s = \%100(W_1 - W_2)/W_1 \quad (3.61)$$

Şeklinde ifade edilir. İç sönümleme yüzdesi çelik yaylarda $\%0.06 - 0.3$, kauçuk yaylarda $\%6 - 30$ aralığında olmaktadır [17].

Kritik frekans

Bir yüzme havuzunun bir ucundaki bir bozulma nedeniyle bir dalga yaratılırsa, bu dalga havuz boyunca ilerleyecek, uzak uça geri yansıyacak ve sonunda sönümlenen kadar bu ileri geri hareketine devam edecektir. Aynı etki helisel yaylarda da meydana gelir ve buna yay dalgalanması denir. Bir bası yayının bir ucu düz bir yüzeye tutulursa ve diğer ucu bozulursa, tıpkı yüzme havuzu dalgası gibi bir uçtan diğerine ileri geri hareket eden bir bası dalgası oluşur [19].

Yay üreticileri, otomotiv valf yayı dalgalanmasının ağır çekim filmlerini çekti. Bu çekimler çok şiddetli bir dalgalanmayı gösteriyor ve yay aslında uç plakalarla temas etmiyor. Resim 3.3, bu tür bir dalgalanmanın neden olduğu bir kırılmanın fotoğrafıdır [19].



Resim 3.3. Aşırı devirli bir motorda valf yayı arızası [19]

Kırılma, saf burulma yüklemesi ile ilişkili 45° maksimum asal gerilim çizgisi boyuncadır [19].

Hızlı ileri geri hareket gerektiren uygulamalarda helisel yaylar kullanıldığında, tasarımcı, yayın fiziksel boyutlarının, uygulanan kuvvetin frekansına yakın doğal bir titreşim frekansı oluşturacak şekilde olmadığından emin olmalıdır; aksi takdirde, yay malzemelerinin iç sönümlenmesi oldukça düşük olduğu için, rezonans meydana gelebilir ve bu da hasar verici gerilmelere neden olur [19].

Yönetim denklemi dalga denklemidir;

$$\frac{\partial^2 u}{\partial^2 x^2} = \frac{W}{kgl^2} \frac{\partial^2 u}{\partial^2 t^2} \quad (3.62)$$

Burada;

k : Yay sabiti

g : Yerçekimi ivmesi

l : Yay boyu

W : Yay Ağırlığı

x : Yay uzunluğu boyunca koordinat

u : x mesafesindeki herhangi bir parçacığın hareketi

Bu denklemin çözümü harmoniktir ve verilen fiziksel özelliklere ve yayın son koşullarına bağlıdır. İki düz ve paralel plaka arasına yerleştirilen bir yayın radyan/saniye cinsinden harmonik, doğal frekansları [19],

$$\omega = m\pi \sqrt{\frac{kg}{W}} \quad m = 1, 2, 3 \dots$$

$m = 1$ için doğal frekans, $m = 2$ harmonik frekans bulunur. Genellikle saniyedeki döngü cinsinden frekans ile ilgileniyoruz, $\omega = 2\pi f$ olduğundan, yay uçlarının her zaman plakalarla temas halinde olduğunu varsayarsak, hertz (Hz) cinsinden doğal frekans [19],

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{kg}{W}} \quad (3.63)$$

yayın bir ucunun düz bir plakaya karşı olduğu ve diğer ucunun serbest olduğu durumda

$$f = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{kg}{W}} \quad (3.64)$$

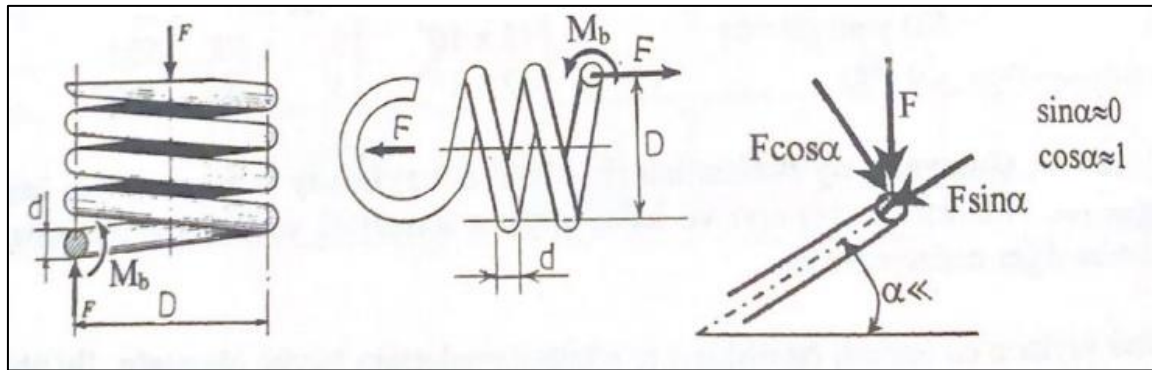
Bir helisel yayın ağırlığı,

$$W = AL\gamma = \frac{\pi d^2}{4} (\pi D N_a) (\gamma) = \frac{\pi d^2 D N_a \gamma}{4}$$

γ :Özgül ağırlık

Harmonik harekette rezonansı önlemek için temel kritik frekans, yayın kuvvetinin veya yay hareketinin frekansının 15 ila 20 katından büyük olmalıdır. Frekans yeterince yüksek değilse, yayın k değerini artırmak veya W değerini azaltmak için yeniden tasarlanmalıdır [19].

3.5.3. Yayların boyutlandırılması



Şekil 3.27. Helisel yay kesitine gelen kuvvetler [17]

Eksen doğrultusunda etki eden F kuvveti altında basıya çalışan (sıkıştırılan) bir helisel yayın yine eksenel bir düzlem tarafından kesilmiş tek kesitine gelen kuvvet ve momentleri göz önüne alındığında. Şekil 3.27 yay her iki taraftan F kuvveti ile sıkıştırıldığında sarımlar birbirine yaklaştırmaya yani α helis açısı küçülmeye zorlanacaktır. Bu herhangi bir noktada tel kesitinin dönme yapmaya, yani burulmaya zorlanması demektir. Helis yaylarda

temel zorlanma tarzı burulmadır. Ancak buna ilave olarak $F \cos \alpha$, kuvveti tarafından kesmeye, $F \sin \alpha \frac{D}{2}$ kuvveti tarafından eğilmeye ve $F \sin \alpha$ kuvveti tarafından da basıya zorlanırlar. Pratikte helis açısı α küçük olduğundan $\sin \alpha \approx 0$ ve $\cos \alpha \approx 1$ alınarak son iki zorlanma türü ihmal edilmekte, sadece burulma ve kesme etkisi göz önüne alınmaktadır. Buna göre tel kesitini zorlayan burulma momenti [17],

$$M_b = F \frac{D}{2} \quad (3.65)$$

bu momentten doğan burulma gerilmesi ise,

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (3.66)$$

ve F kuvvetinin doğrudan kesme etkisinden doğan kesme gerilmesi ise,

$$\tau_k = \frac{F}{A} \quad (3.67)$$

Kesite etkiyen toplam gerilme ise,

$$\tau = \tau_{max} \tau_b + \tau_k = \frac{M_b}{W_b} + \frac{F}{A} \quad (3.68)$$

olur. Gerek imalattan dolayı ve gerekse mukavemetsel üstünlüğü sağlandığından yay telleri genellikle dairesel kesitli olur [17]. Tel dairesel kesitli ise,

$$W_b = \frac{\pi d^3}{16}, A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\tau = \frac{8FD}{\pi d^3} \left(1 + \frac{1}{2D/d}\right) \quad (3.69)$$

Burada D/d oranına yay indeksi denilmektedir. Yay indeksi ne kadar küçük olursa F kuvvetinden doğan kesme gerilmesi de o ölçüde önemli olmaktadır. Bu gerilme değeri ideal şartlar içindir. Gerçekte ise çok daha karmaşıktır. Yayın helisel yapısından ötürü tel kesitinde gerilme dağılımı düzgün değildir. Yayın iç tarafında gerilmeler dış tarafa oranla

daha büyük olur. Bu durum yay mukavemetini azaltır. Bir nevi çentik etkisi gibi rol oynayan bu gerilme büyümesinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Uygulamada hem iç taraftaki gerilme maksimumunu hem de denklemdaki τ_k kesme gerilmesini göz önüne alan, yani bu iki etkinin toplamına denk olan bir K gerilme düzeltme faktörü (Wahl faktörü) kullanılarak toplam gerilme [17],

$$\tau = K \frac{8FD}{\pi d^3} \quad (3.70)$$

şeklinde yazılabilir. Wahl'a göre,

$$K = \frac{4(D/d)-1}{4(D/d)-4} + \frac{0.615}{D/d} \quad (3.71)$$

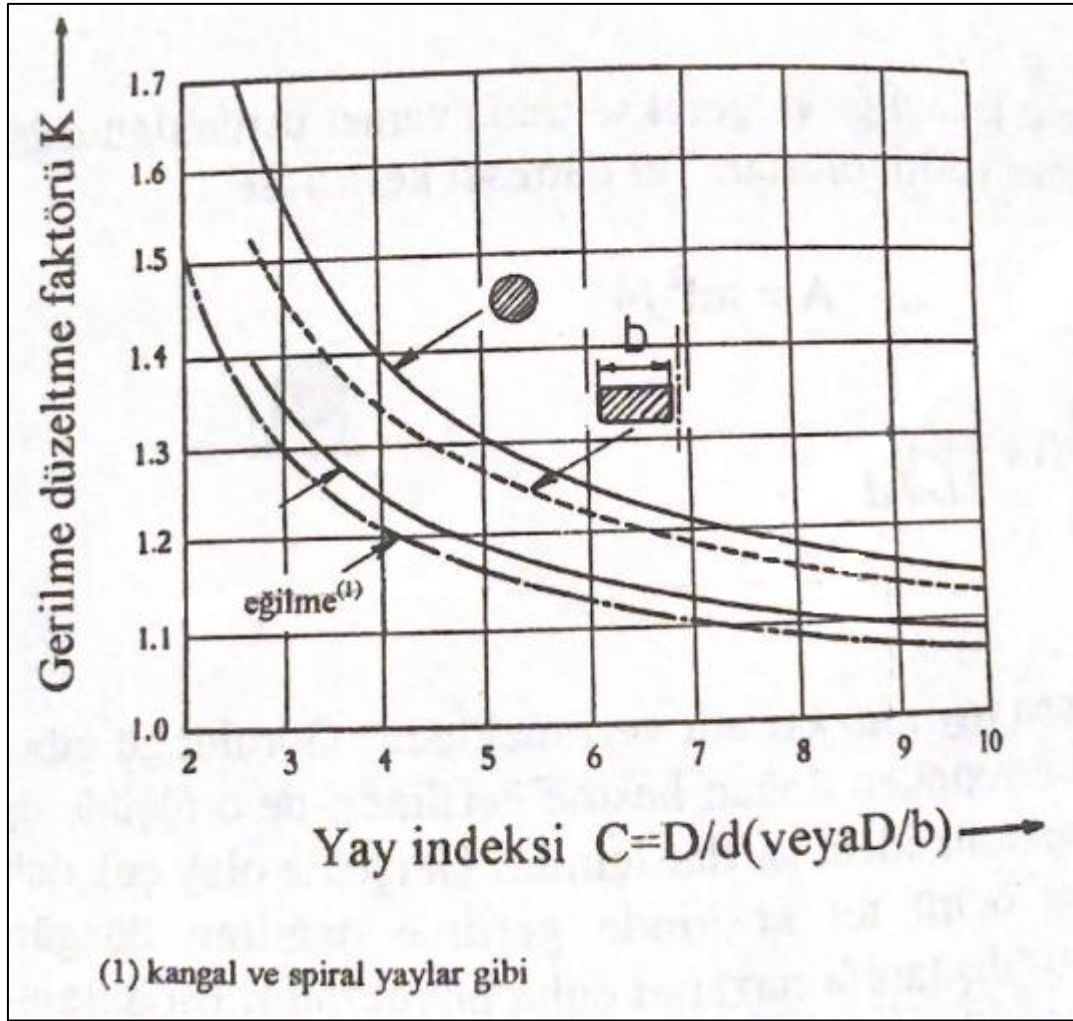
dır. Gerilme düzeltme faktör K yay indeksine (D/d) bağlı olarak Şekil 3.28'daki diyagramdan da seçilebilir. Emniyetli bir boyutlandırma için tel kesitine gelen toplam gerilme [17],

$$\tau = \frac{K8FD}{(\pi d^3)} \leq \tau_{em}$$

olmalıdır. $\tau = \tau_{em}$ alınarak gerekli tel çapı,

$$d = \sqrt[3]{K8FD/(\pi\tau_{em})}$$

denkleminde bulunabilir.



Şekil 3.28. Gerilme düzeltme faktörü [17]

Çökme değişimi

Helisel yayın sıkışması sonucu eksenel yönde boy değişimi (Çökmesi) olacaktır. Çökme x , burulma açısı φ , tel boyu l , kesitin polar atalet momenti $I_p = 2W_p$, yay malzemesi için kayma modülü G , sarım sayısı n ise [17],

$$I_p = \pi d^4 / 32, x = \varphi D / 2, \varphi = M_b l / G I_p, l = \pi D n$$

Yazılarak ve $x = \varphi D / 2$ olması gerektiği düşünülerek

$$x = \frac{8Fn}{Gd} \left(\frac{D}{d}\right)^3 \quad (3.72)$$

Bulunur. Yay katılığı (Yay katsayısı) ise,

$$k = \frac{F}{x} = \frac{Gd}{8n} \frac{1}{(D/d)^3} \quad (3.73),$$

İmalatlarının zorluğu ve malzemeden yararlanma derecelerinin küçüklüğüne rağmen zorunlu hallerde kare veya dikdörtgen kesitli yay telleri de kullanılabilir [17].

Tel kare kesitli ise: $W_b = b^3/3$, $A = b^2$ olduğu dikkate alınarak ve gerilme dağılımındaki düzensizliğin daha büyük olduğu düşünülerek toplam gerileme [17],

$$\tau = K \frac{2,4FD}{b^3} \quad (3.74)$$

Çökme ise,

$$x = \frac{5,8Fn}{Gb} \left(\frac{D}{b}\right)^3 \quad (3.75)$$

olur. Tel dikdörtgen kesitli ise $W_b = \frac{1}{6}(b\delta^2 + b^3)$, $A = b\delta$ olup toplam gerilme,

$$\tau = K \frac{FD(3b+1,8\delta)}{2b^2\delta^2} \quad (3.76)$$

$$\text{Çökme } x = \frac{2,45FD^3n}{G\delta^3(b-0,5\delta)} \quad (3.77)$$

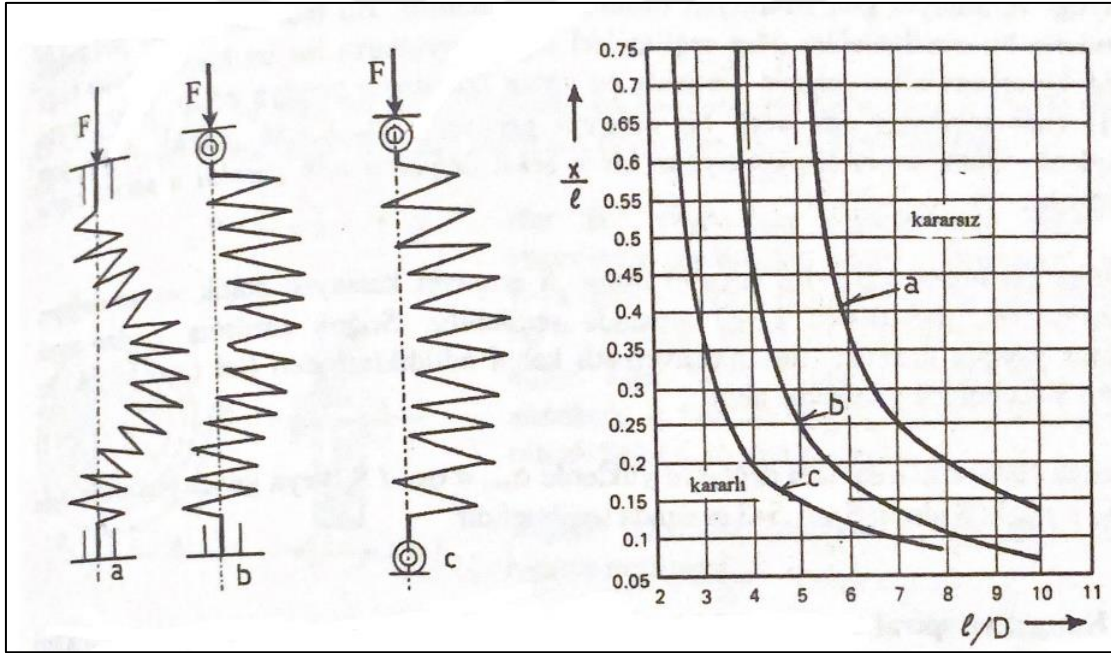
olur. Burada K gerilme düzeltme kat sayısı D/δ oranına göre dikdörtgen kesitli yaylar için Şekil 3.28'den seçilir [17].

Burkulma kontrolü

Serbest boyu (l) fazla uzun olup da basıya çalışan yayların burkulma yönünden kontrol edilmeleri gerekmektedir. Kaba bir yaklaşımla serbest boyu (l) ortalama sarım çapının (D) dört katından daha büyükse ($l \geq 4D$ ise) bu kontrol zorunludur. Bu amaçla Şekil 3.29.'deki

diyagram kullanılabilir. Diyagram serbest/sarım çapı (l/D) oranına bağlı olarak kritik çökme/serbest boy (x/l) değerlerini göstermektedir [17].

Eğrilerden (a) her iki ucundan rijit ve birbirine paralel düzlemlere oturtulmuş, fakat gerektiği gibi kılavuzlanmamış yaylar için, (b) bir ucu aynı şekilde tesbit edilmiş diğer ucu mafsallı yaylar için, (c) her iki ucu da mafsallı (dönme serbestisine sahip) tablalara oturtulmuş yaylar için kritik çökme oranlarını göstermektedir. Söz konusu yayın (l/D) oranına karşılık gelen x/l oranı diyagramdaki değerden büyükse burkulma beklenir. Yani eğrilerin üstünde ve sağında yer alan noktalar burkulma açısından tehlikeli olur. Böyle durumlarda yay tasarımını yeniden yapmak (tel ve sarım çapını büyütmek, iyi malzeme kullanmak) veya yayı tercihen içten veya dıştan uygun şekilde yataklamak yani kılavuzlamak gerekir [17].



Şekil 3.29. Uzun bası yaylarında burkulma [17]

4. TEORİK HESAPLAMALAR VE TEST SONUÇLARI

4.1. Dengeleyici Seçimi

İlk bölümlerde de belirtildiği gibi kule yükseliş eksenlerinde oluşan yüksek dengesizlik momentlerini dengeleyicilerle azaltılarak daha küçük servo motorlar ve bileşenleri kullanılması amaçlanmıştır. Böylelikle hem maliyet tasarruf edilmiştir hem de daha küçük siluetli kuleler elde edilmesi sağlanmıştır. Dengesizliğin azaltılması süreçleri aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Öncelikle kule tasarımında kullanılacak dengeleyici tipine karar verilmesi gerekmektedir. Bölüm 3'teki dengeleyici seçim kriterlerine göre yükseliş eksen sürüş hattındaki dengesizlik momentinin azaltılmasında çekme tipi yaylı dengeleyici kullanılmasına karar verilmiştir.

Seçim kriterlerinde dikkat edilen hususlar:

- Ucuz olması
- Sıcak ve soğuk çevre koşullarında mekanik özelliklerini dikkate alınmayacak kadar az kaybetmesi
- Kısa sürede üretilebilmesi
- Yükseliş eksen sürüş dinamikleri açısından kararlı olması.
- Az yer kaplaması

Bölüm 3'teki kriterlerde yaylı dengeleyicinin en fazla yer kaplayan dengeleyici olduğunu belirtilmiştir. Tasarım gereği yaylı dengeleyicinin istenilen yere konulabilmesinden dolayı bu madde sorun teşkil etmemektedir.

Dengeleyici seçimine karar verildikten sonra sırasıyla:

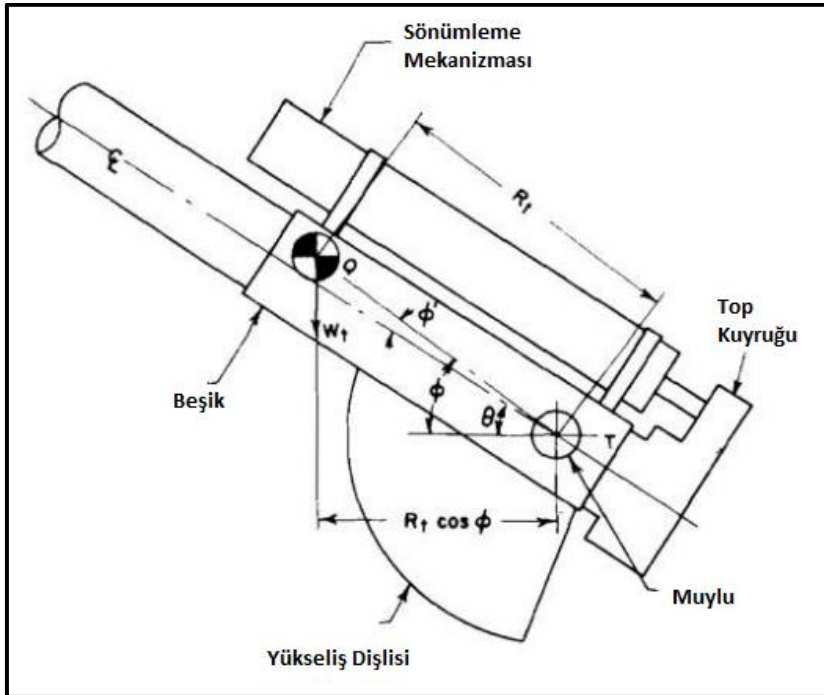
- Örnek test kulesinin dengesizlik momentinin teorik olarak hesaplanması
- Çıkan teorik dengesizlik momentine göre dengesizlik momentini alacak yay tasarımının teorik hesaplamalarının yapılması
- Teorik hesaplamaları yapılan dengeleyicinin üretiminin yapılması
- Test sistemine dengeleyicinin takılarak ölçülerin alınması.

- Sonuçlara göre iyileştirmelerin yapılması

adımları izlenmiştir.

4.2. Teorik Hesaplamalar

4.2.1. Teorik dengesizlik kütlelerinin hesaplanması

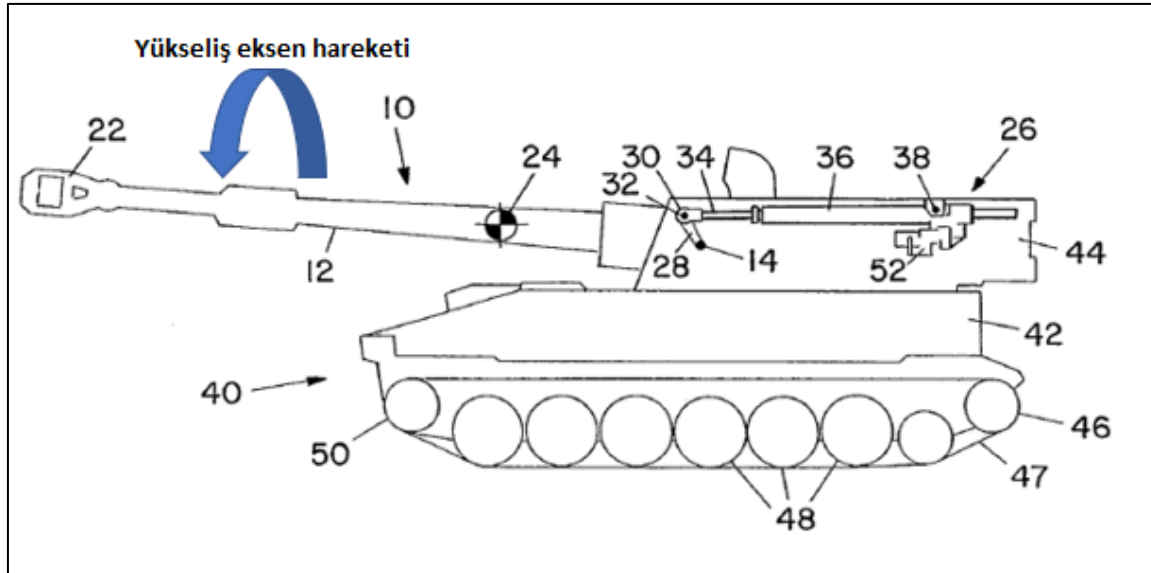


Şekil 4.1. Dengesiz parçaların ağırlık momenti geometrisi [12]

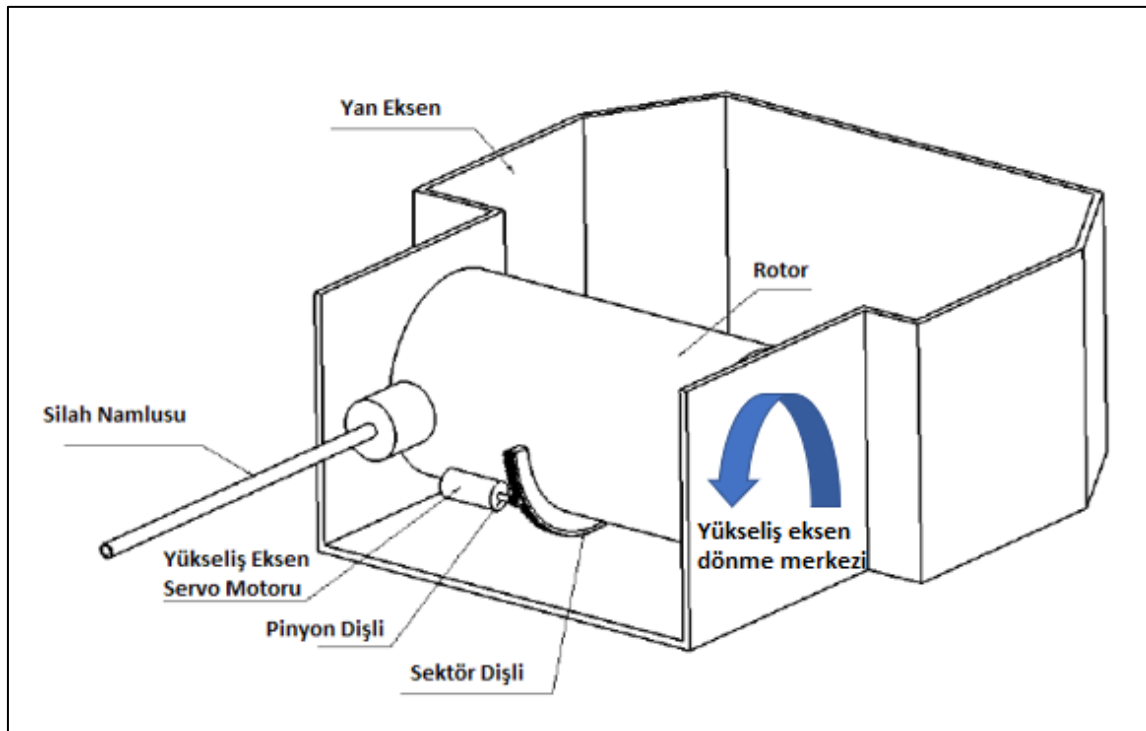
Öncelikle sisteme ait yükseliş eksen dengesizlik momenti hesaplaması yapılır. Şekil 4.1’de de görüldüğü üzere muylu etrafında bulunan bütün parçaların oluşturduğu dengesizlik momenti dönme merkezi olan T noktasına göre hesaplanır.

Şekil 4.2’de de şematik olarak bütün silah sistemi görülmektedir. 10 numara ile gösterilen kısım yükseliş eksen kısmıdır ve düşey ekseninde 14 numaralı nokta (Muylu merkezi) etrafında hareket etmektedir. Şekil 4.3’te de görüldüğü üzere hareket eden kısım bir rotor (Yükseliş ekseninde bulunması gereken (Silahlar ve diğer birimler) yapıların bulunduğu kısımdır.) etrafında konumlandırılmıştır ve servo motora ait olan pinyon dişlinin rotora ait olan sektör dişliyi sürmesi ile rotor merkezi etrafında hareket etmektedir. Yan eksenin üzeri rotor kısmı görülmesi için açık bırakılmıştır.

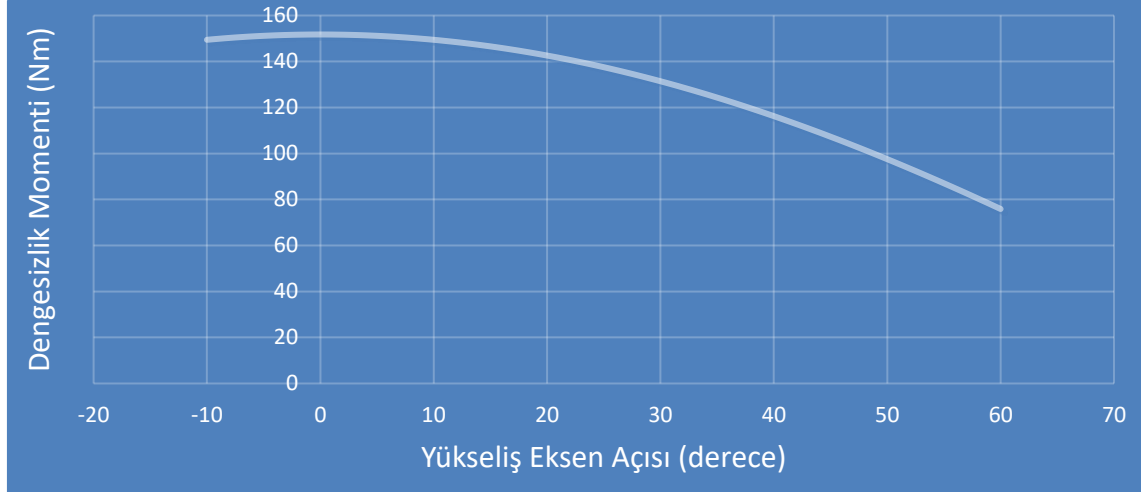
4 numaralı ‘‘TEORİK HESAPLAMALAR VE TEST SONUÇLARI’’ ana başlığın altında bulunan bütün grafiklerdeki düşey eksenin (Moment eksenlerinin) birimi Nm’dir ve oransaldır (Sürüş hattındaki servo motor kapasitesi ve aktarım oranları ile değişmektedir). Ayrıca yatay eksenin (Yükseliş eksen açısı) birimi derecedir.



Şekil 4.2. Şematik bir silah sistemi [20]



Şekil 4.3. Bir silah kulesinin şematik gösterimi [21]



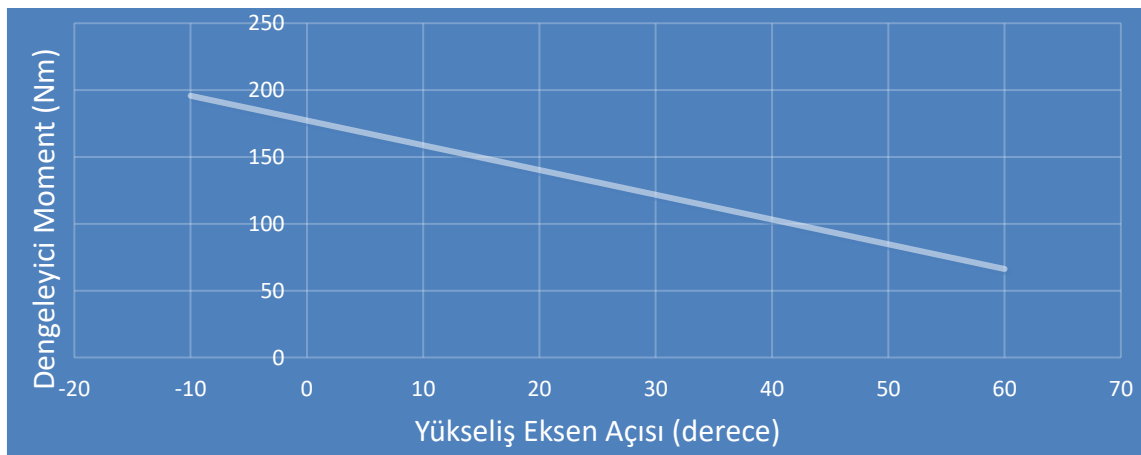
Şekil 4.4. Teorik dengesizlik momenti

Teorik dengesizlik momenti bölüm 3.4.1'deki Eş. 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$M_w = W_t R_t \cos \theta \quad (3.1)$$

Dengesizlik teorik olarak kulenin yükseliş eksenin hareket ettiği $-10^\circ/60^\circ$ açı aralığı için hesaplanmıştır (0° silah namlusunun yatay ile olan konumunun paralel olduğu konum alınmıştır). Dengesizliğin maksimum olduğu değer -5° 'dir ve yaklaşık 156 birimdir. Minimum olduğu değer ise kulenin yükseliş eksen de ulaştığı maksimum açıdır ve yaklaşık 75 birimdir. Yükseliş eksenin -5° den -10° dereceye hareketinde ve -5° den 60° dereceye hareketinde ise dengesizlik azalma eğilimindedir (Şekil 4.4).

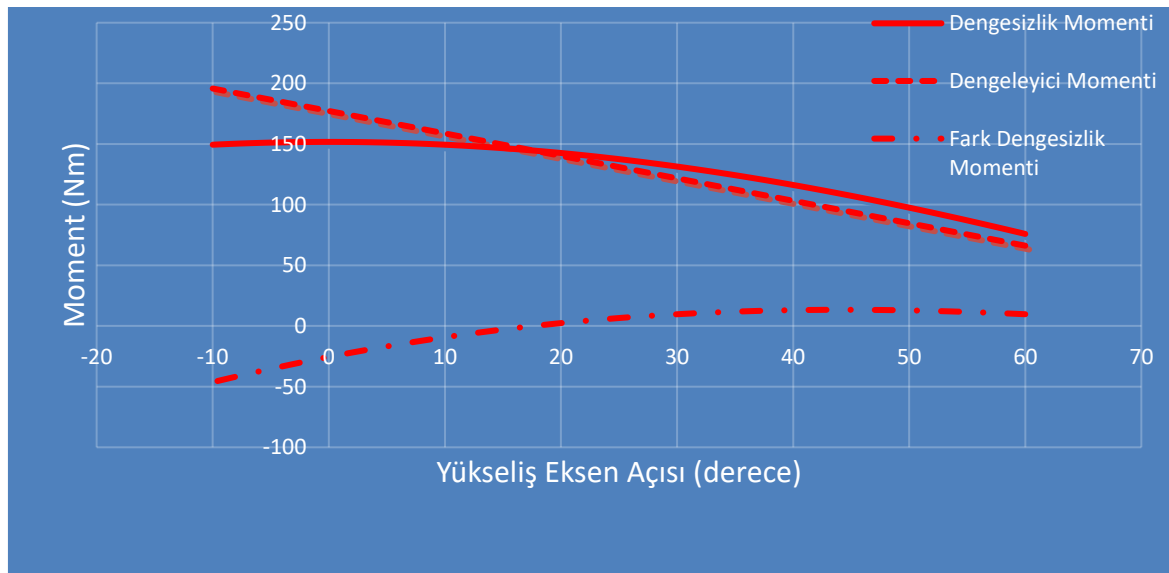
4.2.2. Teorik yay hesaplamaları



Şekil 4.5. Yayın verdiği teorik dengeleyici momenti

Prototip sistem için hesaplanan teorik dengesizlik momenti 60° de minimum (Şekil 4.4) değerdedir. Dengeleyici kuvveti de buradaki minimum değer göz önüne alınarak ilk başlangıç yay dengelemesi de bu açıdan başlatılarak yapılmıştır. Yaya ön yükleme verilerek 60° de kurma işlemi yapılarak yay ön yüklemenin üzerine ilk hareket değerine 60° de başlayıp -10° ye doğru basma yönünde çalışmıştır. Böylelikle maksimum yay dengeleme kuvveti -10° de alınmıştır (Şekil 4.5).

Teorik olarak hesaplanan dengesizlik kuvvetinin yaylı dengeleyici ile dengelendikten sonra servo motora kalan dengesizlik momenti Şekil 4.6'da çıkartılacak olursa.



Şekil 4.6. Moment-yükseliş eksen grafiği

Şekil 4.6 da yaylı dengeleyici ile dengelenen yükseliş eksenden dengesizlik momenti olarak geriye fark dengesizlik momenti kalmıştır. Burada kalan dengesizlik servo motor yardımı ile dengelenecektir. Kalan dengesizliği incelediğimizde -10° yaklaşık olarak -40/50 birimdir. 15° - 20° arasında da dengesiz kütlenin dengesizliği yön değiştirmiştir. Namlunun öne düşmesinden şahlanması durumuna geçmiştir. 15° - 20° 'den sonra (Yön değiştirmeden sonra) ise 25 birim dengesizlikte değeri bulunmaktadır.

Yukarıdaki hesaplamalar teorik hesaplamalardır. Teorik hesaplamalar yapıldıktan sonra dengesizliğin maksimum olduğu durumdan yaklaşık %75 azaltılabileceği görülmüştür. Teorik hesaplamalardan sonra dengeleyici mekanizma üretimi yapıp test amaçlı

kullanılacak olan prototip sisteme montajı yapıp gerçek değerlerin elde edilmesi aşamasına geçilmiştir.

Yay üretim dikkat edilmesi gerekenler:

- Çökelme Giderme
- Shot-Pening
- Yataklanması (Buckling önleme)

Yay katsayısını etkilen faktörler:

- Üretim Kaynaklı Faktörler
- Çalışma Sıcaklığı

4.3. Dengeleyici Test Sonuçları

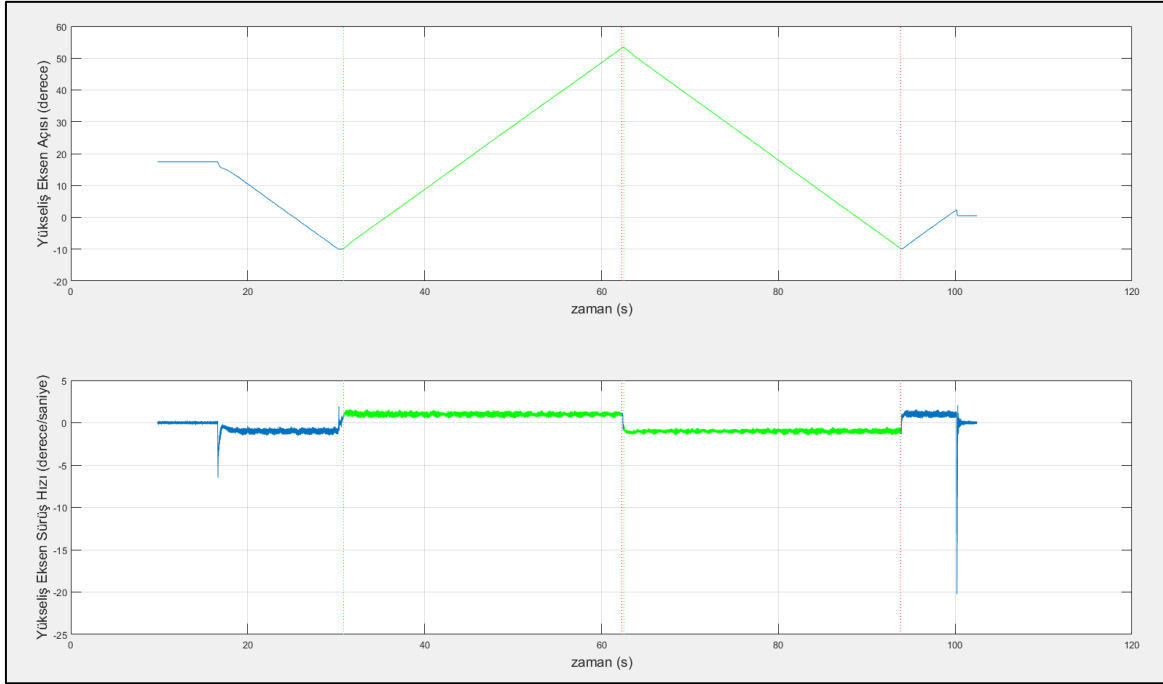
Yukarıda da belirtildiği üzere teorik hesaplamaları yapılan kuleye ait gerçek verilerin elde edilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Gerçek sisteme ait ölçümler aşağıdaki sıraya göre yapılmıştır.

1. Dengeleyicinin olmadığı durumda test kulesine ait dengesizlik verileri ölçülmüştür.
2. Dengeleyici takıldıktan sonra kalan dengesizlik verileri ölçülmüştür.

Yükseliş ekseninin sürtünme ve dengesizlik momentinin ölçülmesi için, yükseliş eksenini 1 %s gibi düşük bir hızda, sabit hızla iki yöne hareket ettirilir. Düşük hız kullanılmasının nedeni, ölçüm sırasında ataletsel etkilerin görülmemeye çalışılmasıdır.

İki yönde ölçülen sürtünme değerinin simetrik kabul edildiği durumda, her konumda iki yönde ölçülen tork değerlerinin toplamının yarısı, o konum için dengesizlik momenti değerini verirken, tork değerlerinin farkının yarısı da sürtünme momenti değerini vermektedir. Elde edilen sürtünme torku değerinin içinde taret yapısından kaynaklanan sürtünme etkisinin yanında motor ve dişli kutusu sürtünme değerleri de vardır.

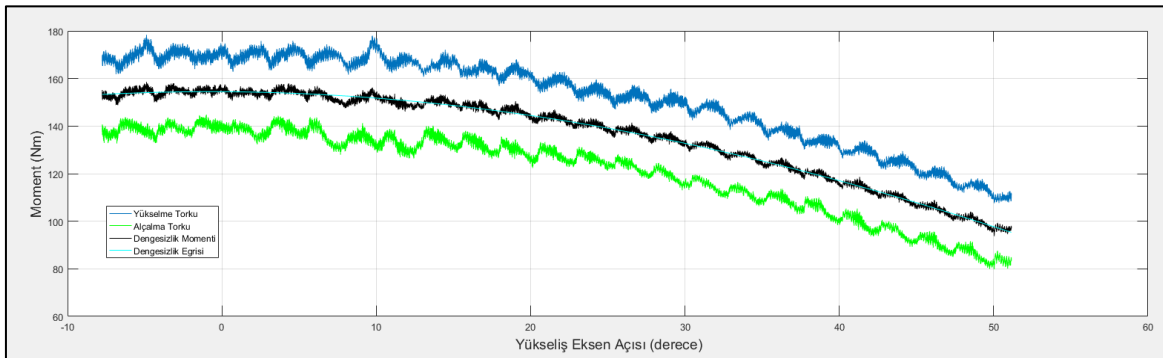
- Test siteminde dengeleyici takılmadan önce sisteme ait dengesizlik momenti ölçümü yapıldı.



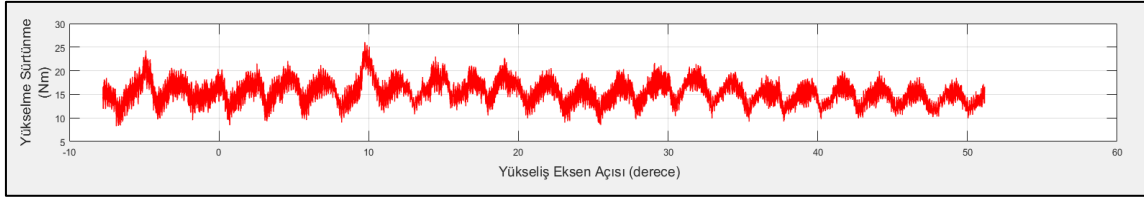
Şekil 4.7. Yükseliş eksen sürüş grafikleri

Şekil 4.7.'de de görüldüğü gibi sisteme ait yükseliş eksen -10° den başlanarak $1^\circ/s$ sürüş hızı ile $+60^\circ$ 'ye kadar sürülmüştür. Sonrasında da aynı şekilde tam tersi hareket ile $+60^\circ$ den başlanarak $1^\circ/s$ sürüş hızı ile -10° 'ye kadar sürülmüştür.

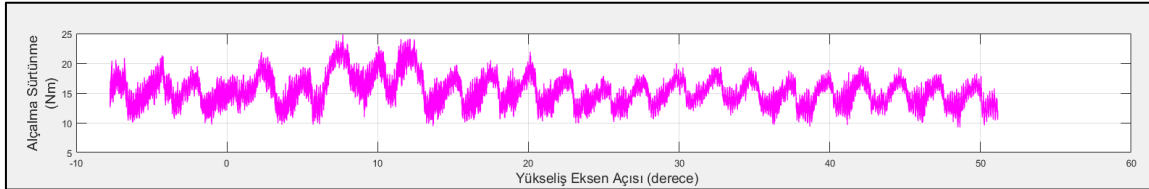
Bundan sonra verilen yükseliş eksen dengesizlik grafikleri ve sürtünme grafikleri $1^\circ/s$ sürüş hızı ile elde edilmiştir. Ayrıca her ölçüm için ayrı ayrı Şekil 4.7'de olduğu gibi sürüş hız değerleri verilmemiştir.



Şekil 4.8. Yükseliş eksen dengesizlik grafiği



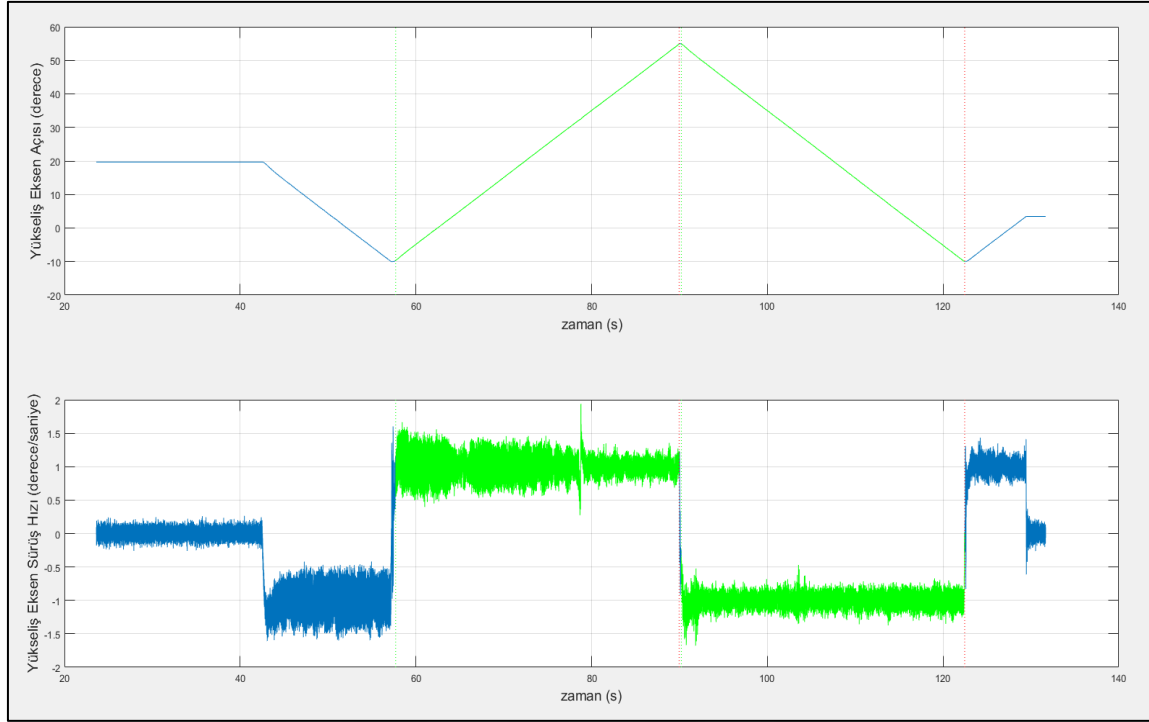
Şekil 4.9. Yükseliş eksen yükselme sürtünme grafiği



Şekil 4.10. Yükseliş eksen alçalma sürtünme grafiği

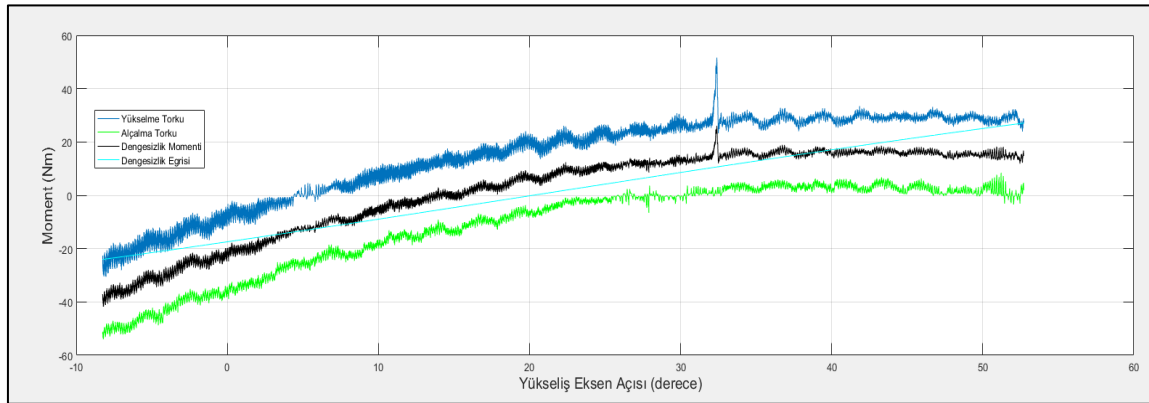
Üretimi yapılmış olan test sistemine ait dengesizlik momenti (Dengeleme yapılmamış hali) kulenin yükseliş eksenin hareket ettiği $-10^{\circ}/60^{\circ}$ açı aralığı için hesaplanmıştır (0° silah namlusunun yatay ile olan konumunun paralel olduğu konum alınmıştır). Dengesizliğin maksimum olduğu değer $-5^{\circ}/-8^{\circ}$ aralığındadır ve yaklaşık 160 birimdir. Minimum olduğu değer ise kulenin yükseliş eksen de ulaştığı maksimum açıdır ve yaklaşık 80-85 birimdir. Yükseliş eksenin -5° den -10° dereceye hareketinde ve -5° den 60° dereceye hareketinde ise dengesizlik azalma eğilimindedir. Şekil 4.8’de de görüldüğü üzere gerçek sistem ile gerçek sisteme ait teorik veriler (Şekil 4.4) birbiri ile uyumludur. Ufak sapmaların nedenleri ise teorik olarak öngörülemeyen üretim toleransları, sürtünme değerlerin etkileri ve ölçüm sırasında değerleri okuyan okuyucuların hassasiyetlerinden kaynaklanmaktadır. Buradaki sapmaların ise tolere edilebileceği değerlendirilmiştir.

- Test sitemine Yay01’in olduğu dengeleyici takıldıktan sonra sisteme ait dengesizlik momenti ölçümü yapıldı.



Şekil 4.11. Yükseliş eksen sürüş grafikleri

Şekil 4.11.'de de görüldüğü gibi sisteme ait yükseliş eksen -10° den başlanarak $1^{\circ}/s$ sürüş hızı ile $+60^{\circ}$ 'ye kadar sürülmüştür. Sonrasında da aynı şekilde tam tersi hareket ile $+60^{\circ}$ den başlanarak $1^{\circ}/s$ sürüş hızı ile -10° 'ye kadar sürülmüştür.



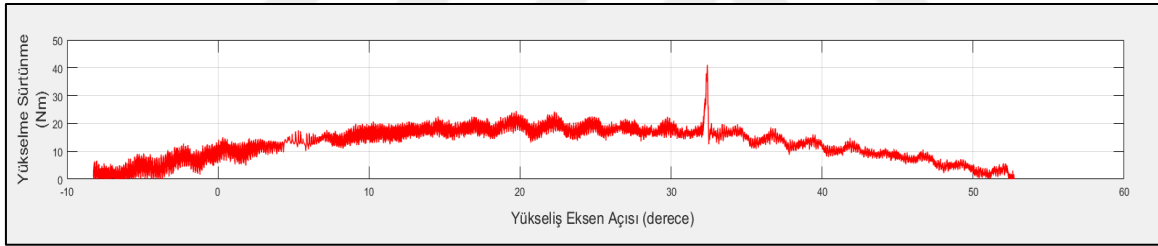
Şekil 4.12. Yükseliş eksen dengesizlik grafiği

Şekil 4.12'da dengesizlik momenti dengeleyici takıldıktan sonra 18-20 derece arasında yön değiştirmektedir. Eksi dengesizlikte yükseliş eksen aşağı düşme eğilimindedir. Artı yönde ise yükseliş eksen şahlanma yönündedir. Burada dengeleyici kuvveti dengesizlik

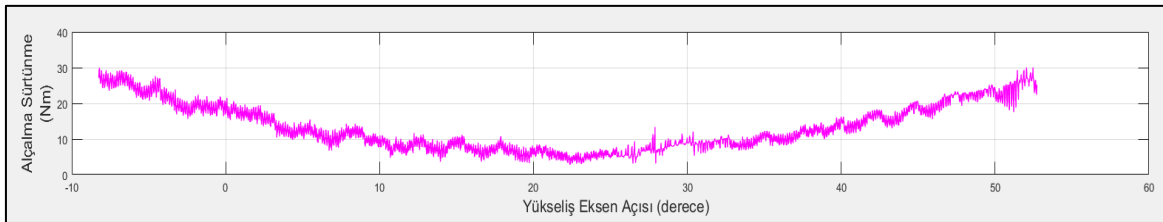
momentinin üzerinde moment oluşturmaktadır ve servo motor tersi yönde tork ile dengeleme yapmaktadır.

Kule sistemine takılan yaylı dengeleyici ile dengelenen yükseliş ekseninden dengesizlik momenti olarak geriye fark dengesizlik momenti (Şekil 4.12) kalmıştır. Burada kalan dengesizlik servo motor yardımı ile dengelenecektir. Kalan dengesizliği incelediğimizde - 8° - 10° arasında yaklaşık olarak -40 birimdir. 18° / 20° arasında da dengesiz kütlenin dengesizliği yön değiştirmiştir. Namlunun öne düşmesinden şahlanması durumuna geçmiştir. 18° - 20° 'den sonra (Yön değiştirmeden sonra) ise 25/30 birim dengesizlikte bulunmaktadır.

Test edilen kule sistimde üretilen ve kullanılabilen yaylı dengeleyici mekanizma sonrasında dengesizliğin maksimum olduğu durumdan yaklaşık %75 azaltılabileceği görülmüştür. Teorik hesaplamalardan da yaklaşık olarak bu değerde bir azaltı olduğu görülmüştür ve gerçek test sistemi ile doğrulanmıştır.



Şekil 4.13. Yükseliş eksen yükselme sürtünme grafiği



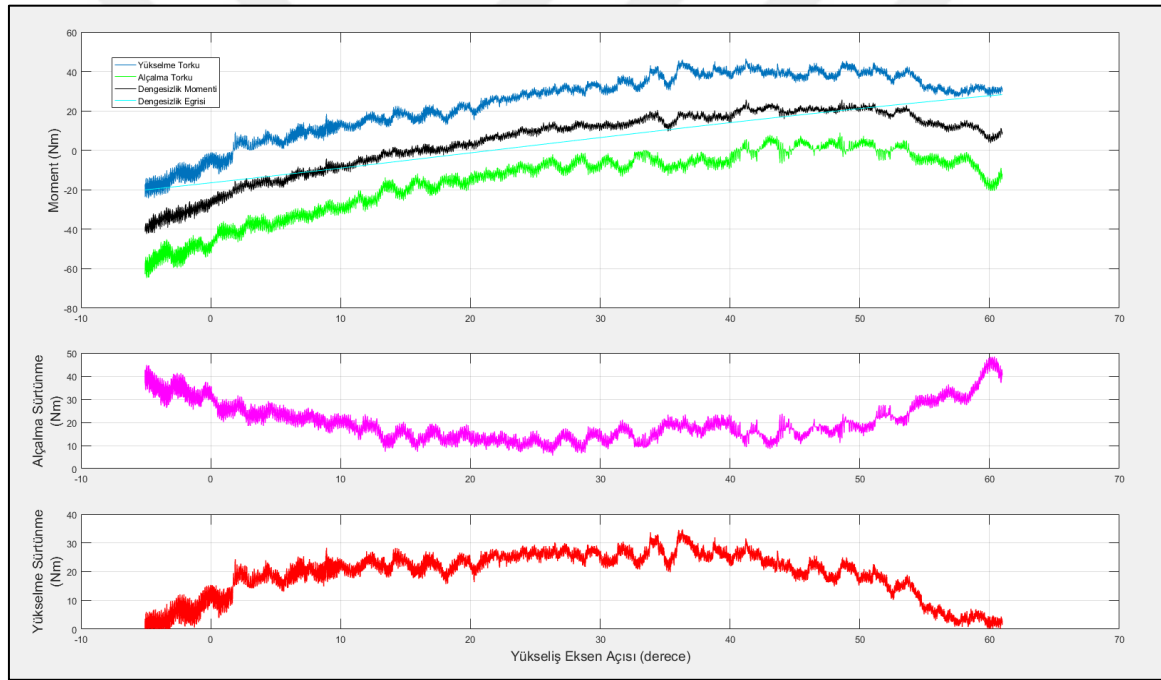
Şekil 4.14. Yükseliş eksen alçalma sürtünme grafiği

Yukarıdaki grafiklerde görülen yaklaşık -32° derecedeki anlık sıçrama üretimsel kaynaklı bir takılmadan kaynaklanmaktadır. Burada anlık yüksek motor torku ihtiyacı oluşmuştur. Anlık olduğu için ihmal edilebilir. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te de kuleye ait sürtünme değerleri görülmektedir.

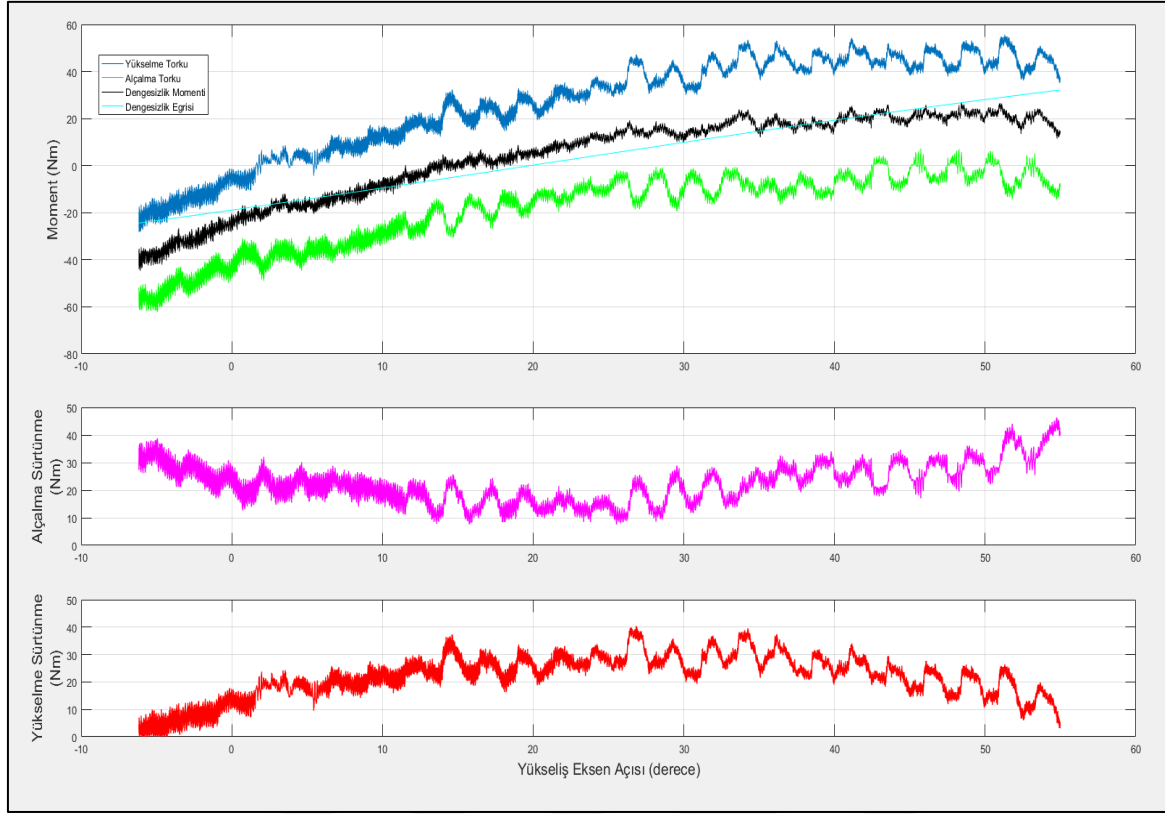
4.4. Dengesizlik Sonuçlarını Etkileyen Faktörler ve Verileri

4.4.1. Yay farklılığı

Test sitemine aynı parametrelere sahip yay takılarak yaylar arası üretim farklılıklarının ne kadar etkili olabileceği Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da gözlemlenmiştir. Dengeleyici yayı takıldıktan sonra sisteme ait dengesizlik momenti ölçümleri aşağıdaki şekilde tekrarlanmıştır. Yay01’e ait yay katsayısı ile Yay02 ve Yay03’e ait yay katsayısı arasında yaklaşık %2-3 oranında üretimden kaynaklı farklılıklar olduğu görülmüştür. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16 ‘da sırasıyla Yay02 ve Yay03’e ait grafikler verilmiştir.



Şekil 4.15. Yay02’ye ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği



Şekil 4.16. Yay03'e ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği

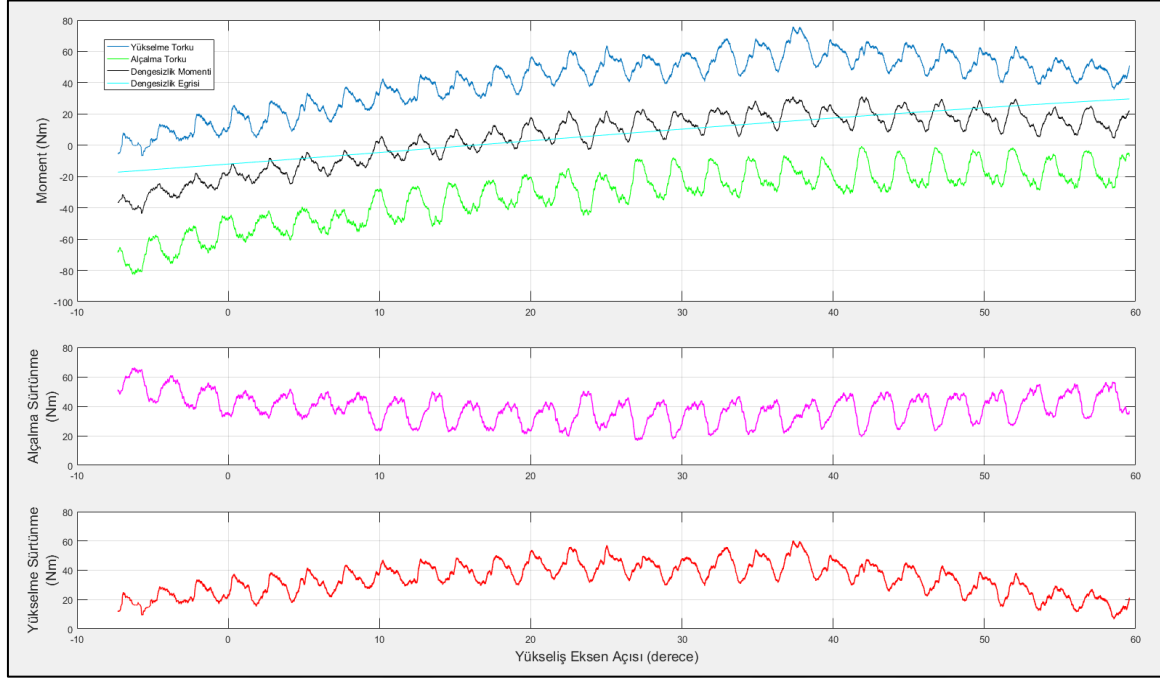
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'daki grafikler ile Şekil 4.12'de kullanılan yaya ait dengesizlik grafiği arasında çok önemli farklılıkların oluşmadığı görülmüştür.

İlk üretilen yay da olduğu gibi, her iki yay için de kalan dengesizliği incelediğimizde $-8^{\circ}/10^{\circ}$ arasında yaklaşık olarak -40 birimdir. $18^{\circ}/20^{\circ}$ arasında da dengesiz kütlenin dengesizliği yön değiştirmiştir. Namlunun öne düşmesinden şahlanması durumuna geçmiştir. $18^{\circ}-20^{\circ}$ 'den sonra (Yön değiştirmeden sonra) ise 25 birim dengesizlik değerleri görülmüştür.

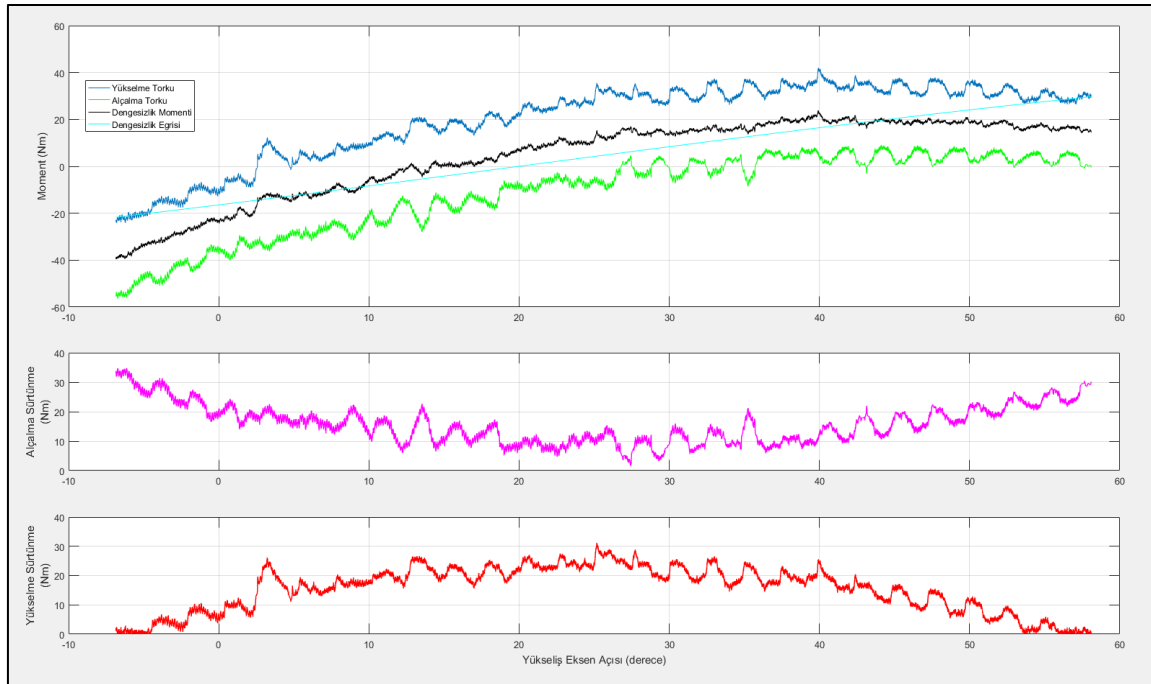
4.4.2. Motor ayarı etkisi

Şekil 4.3'te de görüldüğü üzere yükseliş eksen servo motora ait pinyon dişlinin rotora ait sektör dişliyi sürmesi ile düşey eksen de hareket etmektedir. Burada sürüşü dişliler arasındaki aktarım ile sağlandığı için pinyon dişli ve sektör dişlinin birbirine göre konumu önem kazanmaktadır. Yükseliş eksen motor ayarlarının sürtünme değerine ve dengesizlik sürüşüne etkisini Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'de ki grafiklerden incelersek.

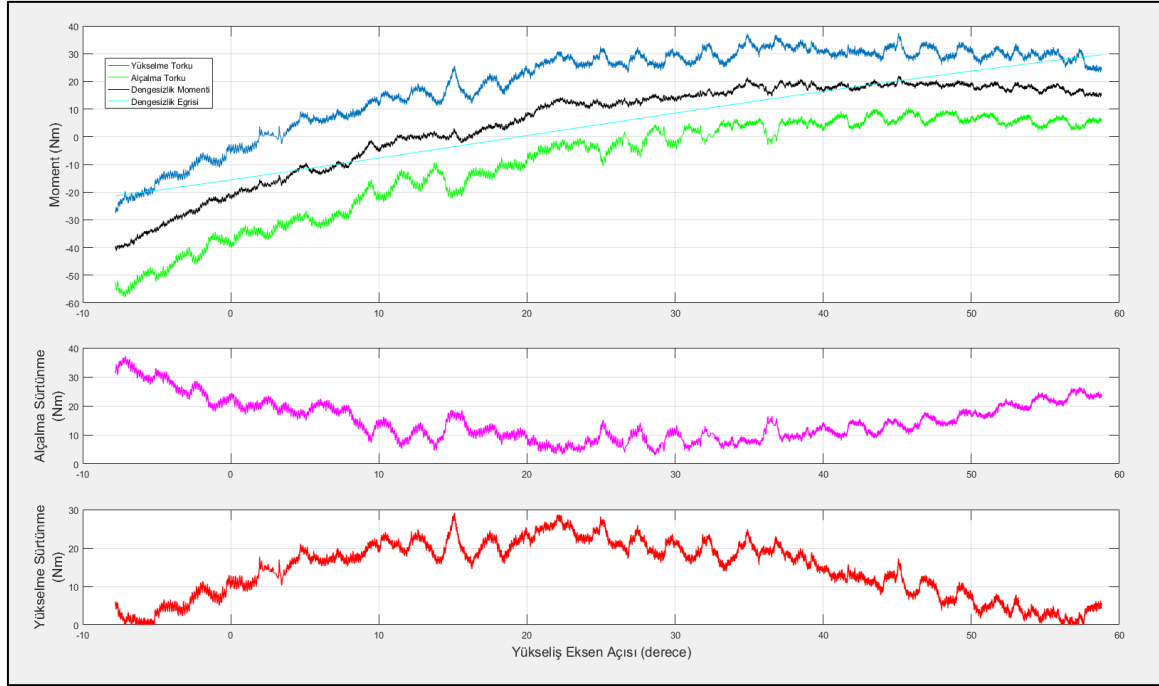
Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da sırasıyla motor ayarı ayar01, ayar02 ve ayar03’e ait grafikler verilmiştir.



Şekil 4.17. Motor ayarı ayar01’e ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği



Şekil 4.18. Motor ayarı ayar02'ye ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği



Şekil 4.19. Motor ayarı ayar03'e ait yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği

Çizelge 4.1. Motor ayarı sonrası alçalma sürtünme ortalama değerleri

Motor Ayarı	Alçalma Sürtünme Ortalaması (Nm)
Ayar01	36,54
Ayar02	15,96
Ayar03	14,91

Çizelge 4.2. Motor ayarı sonrası yükselme sürtünme ortalama değerleri

Motor Ayarı	Yükselme Sürtünme Ortalaması (Nm)
Ayar01	35,88
Ayar02	15,42
Ayar03	14,46

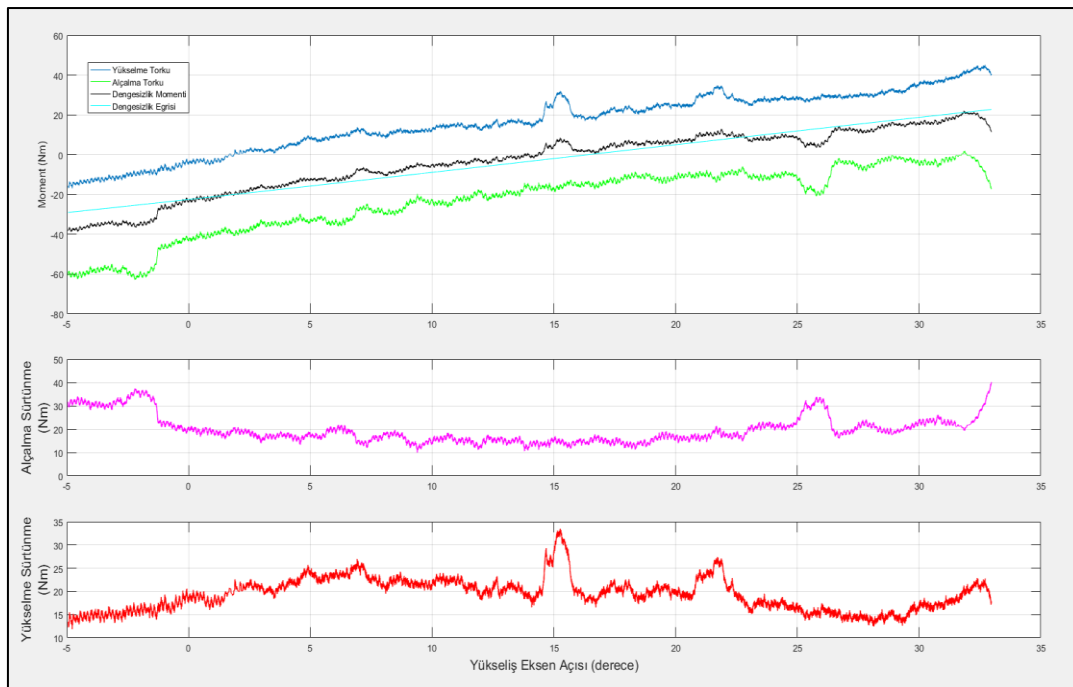
Yukarıda ölçümlerde dengesizlik momentinin motor ayarının etkisi görülmektedir. Bütün motor ayarlarında görüldüğü üzere motor ayarının genel dengesizlik grafiklerine çok fazla etkisi olmamakla birlikte dengesizlik momentinin anlık dalgalanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca sürtünme değerlerinin artmasına neden olarak servo motorun kapasitesinden sürtünmeyi yenmeye gitmesi gereken oran artmaktadır. Dengeleyicinin amacı servo motora gelen dengesizlik momentinin azaltılarak daha küçük kapasiteli motorlar

kullanılmasını sağlamaktır. Burada motor ayarının da ne kadar bir etkisi olduğu görülmüştür. Dengesizlik momentindeki dalgalanmanın servo motorun sürüş bölgesine doğru ayarlarının yapılmadığı durumda ortaya çıkabileceği ve dengeleyici mekanizması ile alakalı olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.17’den başlayarak kademeli olarak daha uygun motor ayarı sırası ile yapılarak Şekil 4.18 ve son halinde de Şekil 4.19’daki motor ayarı ile en düşük sürtünme değeri elde edilmiştir.

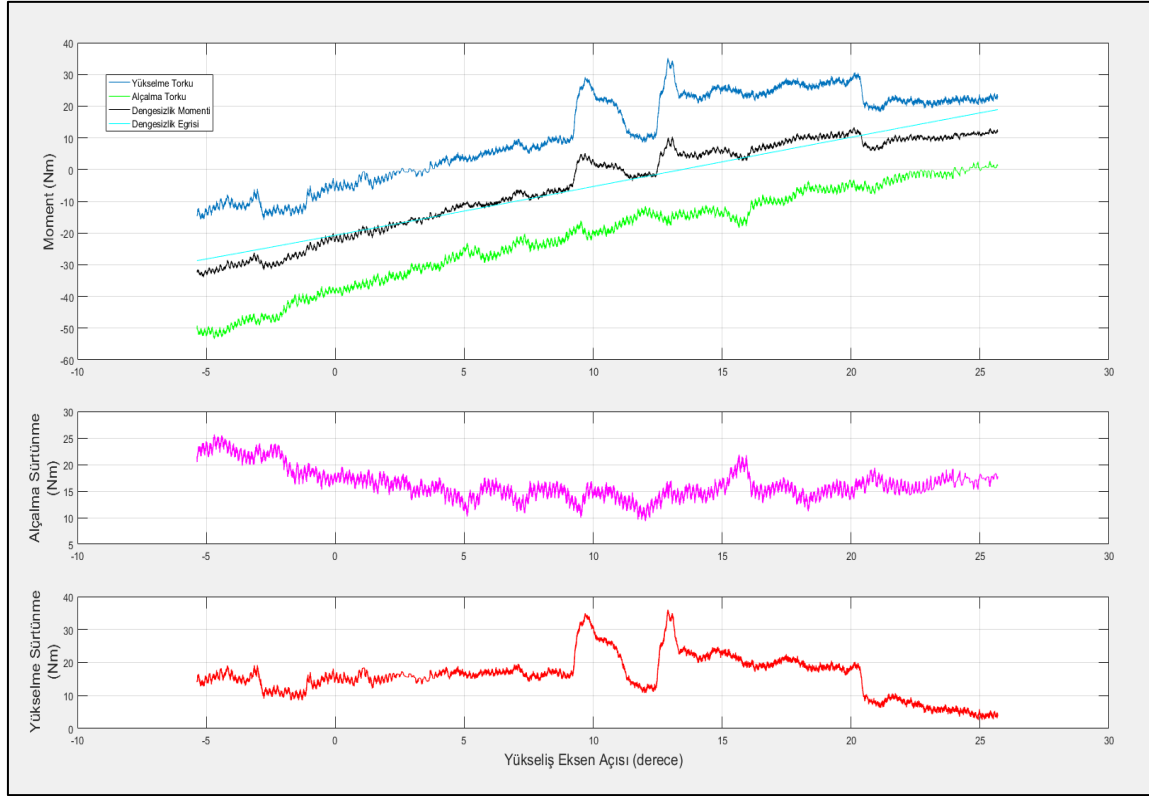
4.4.3. Conta etkisi

Şekil 4.3’te de görüldüğü üzere yükseliş eksenin bulunduğu rotor bölgesi dış ortama açıktır ve kapalı olan yan eksen bölgesi ile etkileşim içindedir. Bu iki bölge arasında dış ortamdaki yağmur geçişini önlemek için rotor bölgesi ile iç ortam olan yan eksen bölgesi arasında bazı sızdırmazlık elemanları kullanılır. Genellikle conta, keçe ve brandalar kullanılır. Hareketli olan rotor bölgesi ile yan eksen bölgesi arasında kullanılan sızdırmazlık elemanlarından kaynaklı sürtünmeler oluşur ve yükseliş eksen sürüşü etkilenir.

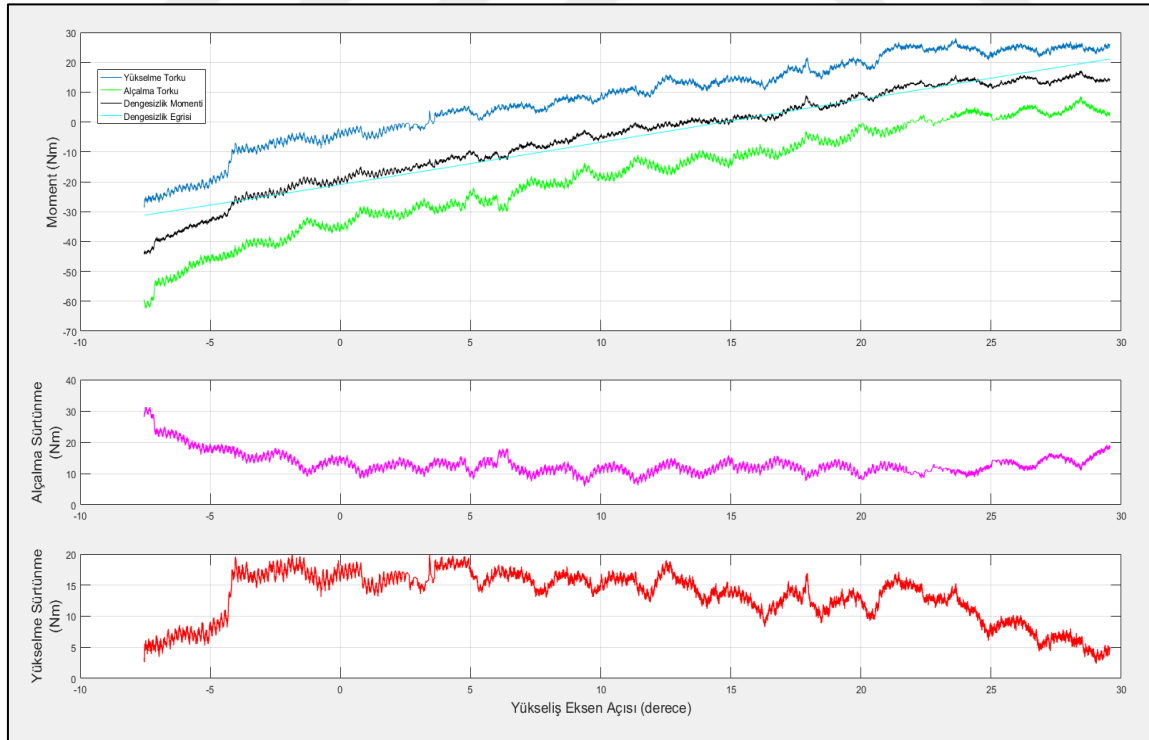
Yükseliş eksen conta etkisi ile sürtünme değerine ve dengesizlik sürüşüne etkisini aşağıdaki grafiklerde incelersek.



Şekil 4.20. Contalı durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği



Şekil 4.21. Contasız durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği



Şekil 4.22. Yağlama yapılmış-contasız durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği

Çizelge 4.3. Conta durumuna göre alçalma sürtünme ortalama değerleri

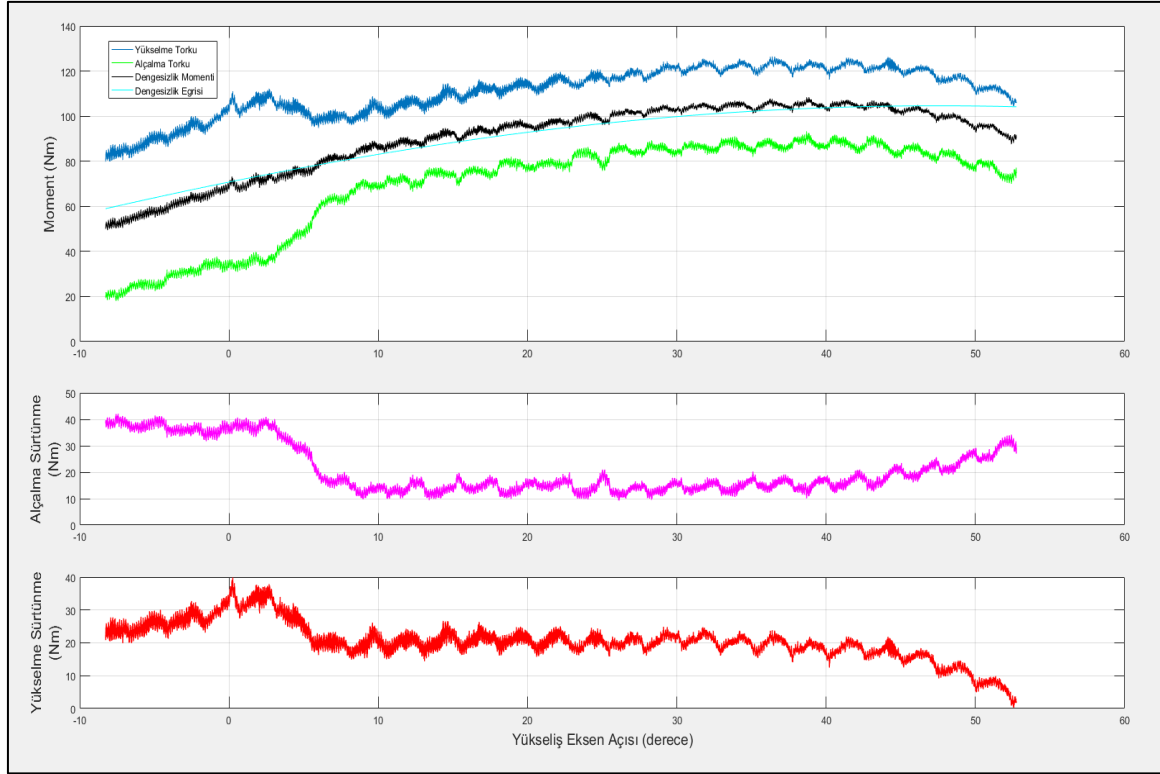
Conta Durumu	Alçalma Sürtünme Ortalaması (Nm)
Var	19,56
Yok	16,2
Yağlama yapılmış-counta yok	13,26

Çizelge 4.4. Conta durumuna göre yükselme sürtünme ortalama değerleri

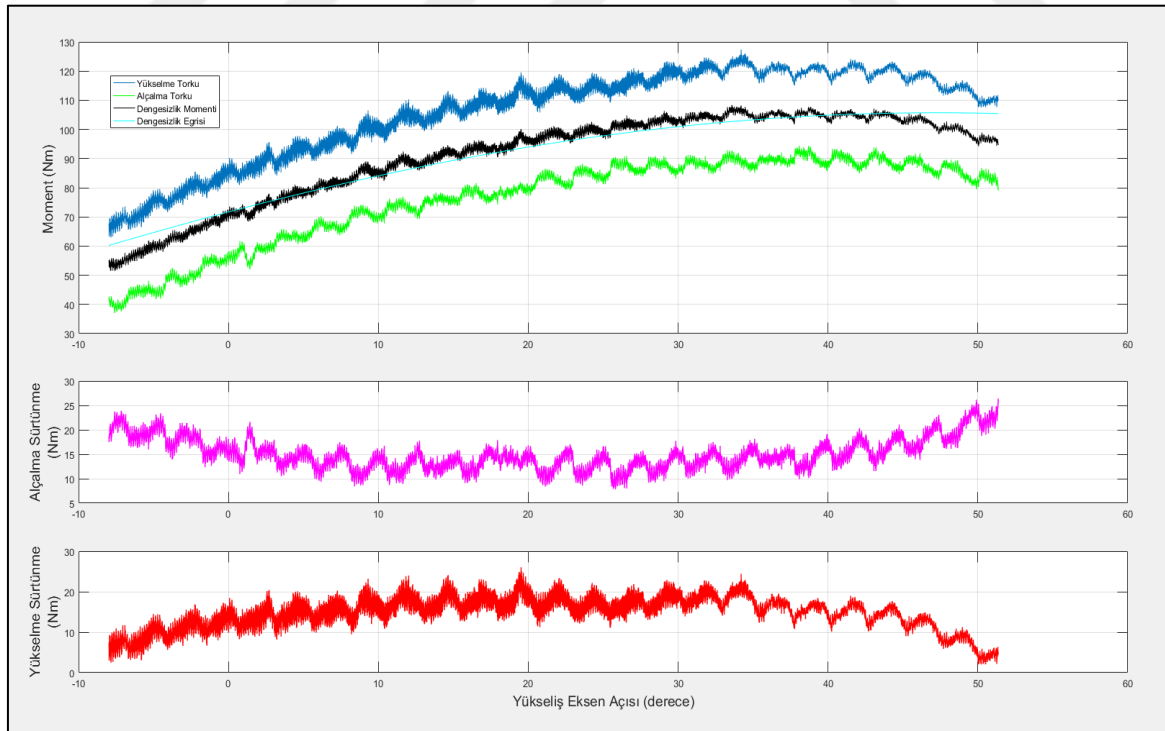
Conta Durumu	Yükselme Sürtünme Ortalaması (Nm)
Var	19,45
Yok	16,12
Yağlama yapılmış-counta yok	13,18

Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 de dengesizlik momentine conta, conta ve yağlama yapılmış-counta yok durumunun etkisi görülmektedir. Sızdırmazlık elemanları motor ayarlarında olduğu gibi genel olarak dengesizlik grafiklerine çok fazla etkisi olmamakla birlikte dengesizlik momentinin anlık dalgalanmasına sebep olmaktadır. Ayrıca sürtünme değerlerinin artmasına neden olarak servo motorun kapasitesinden sürtünmeyi yenmeye gitmesi gereken oran artmaktadır. Burada sızdırmazlık elemanlarının ne kadar bir etkisi olduğu görülmüştür.

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 de farklı ön yüklemeli olan dengeleyicideki conta ve conta durumunun etkisini incelemek gerekirse.



Şekil 4.23. Farklı ön yüklemeli-contalı durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği



Şekil 4.24. Farklı ön yüklemeli-contasız durumda yükseliş eksen dengesizlik ve sürtünme grafiği

Çizelge 4.5. Farklı ön yüklemeli conta durumunda alçalma sürtünme ortalama değerleri

Conta Durumu	Alçalma Sürtünme Ortalaması (Nm)
Var	20,78
Yok	15,07

Çizelge 4.6. Farklı ön yüklemeli conta durumunda yükselme sürtünme ortalama değerleri

Conta Durumu	Yükselme Sürtünme Ortalaması (Nm)
Var	20,45
Yok	14,82

Şekil 4.23 ve Şekil 4.24 dengesizlik momentinin farklı ön yüklemeli dengeleyici mekanizmasında contalı ve contasız durumun etkisi görülmektedir. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21 deki grafiklerde de olduğu gibi Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’te de benzer değerler elde edilmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kule sistemlerinde yükseliş eksen sürüş hattındaki dengesizlik momentinin azaltılması çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda yaylı dengeleyici tasarımı yapılarak testleri gerçekleştirilmiştir.

Dengesizlik momenti hesaplanan sistemin teorik hesaplamalarla gerçek ölçüm değerleri arasında büyük ölçüde tutarlılık olduğu görülmüştür. Kule sistemlerinde yükseliş eksen sürüş hattındaki dengesizlik momentinin yaklaşık %75 oranında azaltılabileceği testler sonucu ortaya konulmuştur ve daha küçük kapasitelere sahip servo motorlar ile kulelerde yükseliş eksen sürüşünün yapılabilceği tespit edilmiştir.

Yapılan tasarım ile yükseliş eksen sürüş hattındaki dengesizlik azaltılarak daha küçük servo motor ile yükseliş eksen sürülebilmiştir ve kule boyutları buna bağlı düşürülmüştür. Boyutların küçülmesi ile küçük servo motor kullanılmasından ve sürüş destek birimlerinin kapasitesinin düşük tutulmasından kaynaklı maliyetleri de azaltmıştır.

Ayrıca dengesizlik momenti hesaplanan sistemin teorik hesaplamalarla gerçek ölçüm değerleri arasında farklılıklar olabileceği de görülmüştür. Farklılıklar ana nedenlerinin, üretim toleransları kaynaklı, gerçek sistemde dengesizlik verilerini okuyan devrelerdeki kayıplar, sürüş hattındaki belirsiz sürtünmeler, yay üretimindeki farklılıklardan kaynaklı değişken yay katsayısı ve ön yükleme değişkenlerinden kaynaklanabileceği görülmüştür.

Çalışmalarımız sırasında sürtünmelerin dengeleme hassasiyetleri bozduğu görülmüştür. Değişken ve yüksek sürtünmelerin sürüş hattında motor ayarından, conta-ı-contasız yapıdan ve yağlamadan nasıl etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu etkenlerin de motor kapasitesinde alacağı oranın ne kadar etkilediği ölçüm sonuçlarında görülmüştür.

Yapılan çalışma ile ayrıca farklı dengesizliklere sahip sistemlerdeki dengesizliği yay ön yüklemesi değiştirilerek alabilecek tek tip dengeleyici tasarımı yapılmıştır. Ayrıca değişken ön yükleme verebilme kabiliyeti ile teorik hesaplamalarla gerçek sistem arasındaki dengesizlik farklılıklarının daha kolay tolere edilmesine imkân sağlanmıştır.

Kulede yükseliş eksen sürüş bölgesinde dengesizliğin yön değiştirmesinin, dengesizlik momentinin negatiften pozitif ya da tam tersi yönde değişmesi, herhangi bir olumsuz etkiye sebep olmadığı testler sonucu görülmüştür.

Yaylı dengeleyici çalışmasında dengesizlik momentinin mükemmel bir şekilde alınmasına gerek olmadığı, servo motor marjı içinde kalınmasının yeterli olduğu görülmüştür. Bu durum servo motor kapasitesinde dengesizlik momentine harcanacak marjımız olduğu müddetçe geçerlidir.

Gelecek çalışmalarda stabilize kule sistemlerinde dengeleyici mekanizmalarının yükseliş eksen sürüş stabilizasyon performansına etkileri incelenebilir. Ayrıca birden fazla yaya sahip dengeleyici mekanizması ile dengesizlik momenti eğrisini daha fazla tolere ederek ve dengesizlik grafiği ile dengeleyici momentine ait grafiğin üstü üste daha fazla oranda oturtulması sağlanarak kazanımların neler olacağı değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Gomes, M. and Ferreira, A. (2005, November). *Gun-turret modelling and control*. 18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto, MG.
2. İnternet: Polish Armament for the Helicopters URL: <https://www.defence24.com/polish-armament-for-the-helicopters>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2021.
3. İnternet: MUHAFAZ 30 mm Uzaktan Komutalı Stabilize Top Sistemi URL: <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/silah-sistemleri/uzaktan-komutali-atis-sistemleri/30-mm-muhafiz-uzaktan-komutali-stabilize-top-sistemi>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2021.
4. İnternet: Gun turret URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Gun_turret, Son Erişim Tarihi: 10.05.2021.
5. İnternet: SABER URL: <https://www.fnss.com.tr/urun/saber-25>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2021.
6. İnternet: Air Defence Systems URL: https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall_defence/systems_and_products/air_defence_systems/index.php, Son Erişim Tarihi: 10.05.2021.
7. İnternet: ACV-15 ARMORED COMBAT VEHICLE URL: <https://www.fnss.com.tr/content/docs/acv-15-en-2020.pdf>, Son Erişim Tarihi: 10.05.2021.
8. Johnson, G., Chang, J., Ireland, J., Stuva, R., and Williams, T. (2004). *MRAAS Weapon Stabilization Assessment*. United Defense, L.P. Armament Systems Division Minneapolis, 38, 1-16.
9. Purdy, D. J., (2001). Comparison of balance and out of balance main battle tank armaments. Royal Military College of Science, Shrivenham Swindon England, *Shock and Vibration* 8, 167-174.
10. Gao, Q., Hou, Y., Deng, T., Wang, C., and Hou, R. (2015). Extended state observer–based fractional order proportional–integral– derivative controller for a novel electro-hydraulic servo system with iso-actuation balancing and positioning. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(12), 1–11.
11. Zelenović, N., Kari, A. and Stanojević, A. (2018). Optimization of the Elevating Mass Balance Of the Anti – Aircraft Gun Bofors 40 mm L/70. *Scientific Technical Review*, 68(3), 25-30.
12. Headquarters United States Army Materiel Command, (1970). *Engineering Design Handbook Carriages And Mounts Series Equilibrators*, Washington, D.C. AMCP-706-345, 7-16.

13. Headquarters Department Of The United States Army, (1981). *Principles Of Artillery Weapons*, Washington, D.C. TM 9-3305, 7, 1-9.
14. United States Army Materiel Command, (1990). *Design Of Towed Artillery Weapon Systems*, Washington, D.C. 5, 1-54.
15. İnternet: Yay URL:
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Yay_\(makine_eleman%C4%B1\)#Kullan%C4%B1m_alanlar%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Yay_(makine_eleman%C4%B1)#Kullan%C4%B1m_alanlar%C4%B1) , Son Erişim Tarihi: 16.05.2021.
16. İnternet: What is Spring? What are Types of Springs? URL:
<https://www.mech4study.com/2017/12/what-is-spring-what-are-types-of-springs.html> ,
 Son Erişim Tarihi: 17.05.2021.
17. Bozacı, A. (2005). *Makina Elemanları Cilt 1* (İkinci Baskı). Türkiye: Çağlayan Kitabevi, 65-301.
18. İnternet: Elastik Bağlantılar Yaylar URL:
<https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Yaylar.pdf> , Son Erişim Tarihi: 17.05.2021.
19. Budynas, R.G. and Nisbett, J.K. (2015). *Mechanical Engineering Design* (Tenth Edition). New York: McGraw-Hill Education, 510-552.
20. Wing, T. (1989). *Equilibrator Assembly For A Gun*. U.S. Patent No. 4,809,585.
21. Çiloğlu, Ç. (2016). *Dynamic Modeling and Analysis Of Gun Turret Elevation Drive System*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 14.



GAZİ GELECEKTİR..