



GİRESUN
ÜNİVERSİTESİ



Yüksek Lisans Tezi

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAFİF ATEŞLİ SİLAHLARDA KULLANILAN YUVARLAK
VE YASSI TELDEN ÜRETİLMİŞ YERİNE GETİREN
YAYLARDA KUVVET KAYIPLARININ İNCELENMESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

Serkan GÜREL

162114006

2020

GİRESUN

Serkan GÜREL

2020

**T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF ATEŞLİ SİLAHLARDA KULLANILAN YUVARLAK
VE YASSI TELDEN ÜRETİLMİŞ YERİNE GETİREN
YAYLARDA KUVVET KAYIPLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan GÜREL

Enstitü Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şemsi Burhanettin ALTAN

Aralık 2019

**T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF ATEŞLİ SİLAHLARDA KULLANILAN YUVARLAK
VE YASSI TELDEN ÜRETİLMİŞ YERİNE GETİREN
YAYLARDA KUVVET KAYIPLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan GÜREL

Enstitü Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Bu tez 08/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr.
Ş. Burhanettin ALTAN
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU
Üye**

**Doç. Dr.
Hakan ADATEPE
Üye**

**Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Serkan GÜREL

23/12/2019

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca hiçbir yardımını benden esirgemeyen, kıymetli tecrübelerini benimle paylaşan ve sağladığı serbest çalışma ortamını için çok değerli hocam Prof. Dr. Şemsi Burhanettin ALTAN'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalıőmalarıma test ve laboratuvar ortamını sunan Girsan Makine ve Hafif Silah San. Tic. A.Ő. yönetimine ve mesai arkadaşlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Son olarak duaları ile her zaman yanımda olan, sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve bana her konuda daima destek olan sevgili eőim Sevilay'a sonsuz teőekkürler.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	X
SUMMARY	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. Yarı Otomatik Tabanca	5
2.2. Geri Tepme Mekanizması	7
2.3. Yaylar.....	9
2.3.1. Yay Malzemeleri.....	11
2.3.2. Yayların Isıl İşlemi.....	13
2.3.3. Yayların Hesap Yöntemleri.....	14
2.3.4. Yassı Tel Yaylar.....	24
BÖLÜM 3. UYGULAMA	31
3.1. Yay Tasarımı.....	31
3.1.1. Yuvarlak Tel Yerine Getiren Yay Tasarımı.....	35
3.1.2. Yassı Tel Yerine Getiren Yay Tasarımı.....	40
3.2. Numune Üretimi.....	45
3.2.1. Yuvarlak Tel Yerine Getiren Yay Numunesi.....	45

3.2.2. Yassı Tel Yerine Getiren Yay Numunesi	51
3.3. Testlerin Gerçekleştirilmesi	57
3.3.1. Baskıya Alma Testi.....	58
3.3.2. Yorulma Testi.....	64
3.3.3. Ömür Testi	69
BÖLÜM 4. SONUÇLAR.....	72
BÖLÜM 5. ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

L_2	: Alt çalışma aralığı
P_2	: Alt çalışma aralığı yay kuvveti
n	: Aktif sarım sayısı
L_s	: Blok boy
φ	: Burulma açısı
M_b	: Burulma momenti
D_a	: Dış çap
K_s	: Eğrilik düzeltme faktörü
D_i	: İç çap
G	: Kayma modülü
h	: Kesit yüksekliği
D_0	: Ortalama sargı çapı
D	: Ortalama yay çapı
J_p	: Polar atalet momenti
α	: Rijitlik eğrisinin eğim açısı
α	: Sarım açısı
p	: Sarımlar arasındaki adım
L_0	: Serbest boy
ε, Ψ	: Şekil katsayısı
d	: Tel çapı
b	: Tel genişliği
\dot{I}_g	: Toplam sarım sayısı
f	: Uzama
L_1	: Üst çalışma aralığı
P_1	: Üst çalışma aralığı yay kuvveti
F	: Yay kuvveti

τ	: Yay malzemesinin burulma gerilmesi
c	: Yay rijitlik oranı
k	: Yay sabiti
s	: Yay sapması
L_{BL}	: Yayın blokaj uzunluğu
f_n	: Yayın maksimum kısalması
f_a	: Yaylanan sargılar arasındaki minimum mesafe
\dot{I}_f, \dot{I}_y	: Yaylanan sarım sayısı
L_y	: Yaylanan tel uzunluğu
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
TOP	: Test İşlemleri Prosedürü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Yarı otomatik bir tabancanın çalışma pozisyonları.....	1
Şekil 1.2. Yerine getiren bir yayın tabanca kapağı üzerine montaj yapılmış hali..	2
Şekil 1.3. Yuvarlak ve yassı telden üretilmiş yerine getiren yaylar.....	3
Şekil 1.4. Yerli üretim polimer gövdeli bir yarı otomatik tabanca.....	4
Şekil 2.1. Yarı otomatik bir tabancanın ana parçaları.....	6
Şekil 2.2. Tabancanın geri tepmesi sonrası kullanıcının elinde aldığı pozisyon....	8
Şekil 2.3. Yay karakteristikleri.....	10
Şekil 2.4. Yay telinin minimum çekme dayanımı.....	12
Şekil 2.5. Yaylar için ısıl işlem tipleri.....	14
Şekil 2.6. Daire kesitli helisel yay.....	15
Şekil 2.7. Yaya gelen kuvvetin bileşenleri.....	15
Şekil 2.8. Helisel yaylardaki kuvvetler ve gerilmeler.....	16
Şekil 2.9. Son halkalara uygulanan işlemler.....	18
Şekil 2.10. Yayın serbest ve blok uzunlukları.....	20
Şekil 2.11. Silindirik helisel bası yaylarının burkulma sınırı.....	24
Şekil 2.12. Dikdörtgen kesitli helisel yassı tel yay.....	25
Şekil 2.13. Yassı tel yayın sarım öncesi ve sonrası biçim değişimi.....	26
Şekil 2.14. Yassı tel yayın telin düz veya yan kenarı üzerine sarılı olması durumu	27
Şekil 2.15. Yassı tel yayın düzeltme faktörü.....	27
Şekil 2.16. Düz kenarı üzerine sarılmış yaylar (K_F) için gerilme düzeltme faktörü.....	28
Şekil 2.17. Yan kenarı üzerine sarılmış yaylar (K_E) için gerilme düzeltme faktörü.....	28
Şekil 2.18. Yuvarlak ve yassı tel yayların gösterimi.....	29
Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılacak tabanca modeli.....	31
Şekil 3.2. Yerine getiren yay ve yayın montajlandığı mil.....	32

Şekil 3.3. Yerine getiren yayın tabanca kapak parçası üzerinde montaj hali.....	32
Şekil 3.4. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak üst çalışma aralığı değeri...	33
Şekil 3.5. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak alt çalışma aralığı değeri...	34
Şekil 3.6. Yuvarlak tel yerine getiren yay kesit gösterimi.....	35
Şekil 3.7. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak çap ölçüleri.....	36
Şekil 3.8. Bilinen yay değerlerinin yazılıma aktarılması.....	38
Şekil 3.9. Yay değerlerinin yazılımda doğrulanması.....	38
Şekil 3.10. Yassı tel yerine getiren yay kesit gösterimi.....	40
Şekil 3.11. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak çap ölçüleri.....	41
Şekil 3.12. Bilinen yay değerlerinin yazılıma aktarılması.....	43
Şekil 3.13. Yay değerlerinin yazılımda doğrulanması.....	43
Şekil 3.14. CNC yay makinesi görseli.....	45
Şekil 3.15. Üretilen numune yuvarlak tel yerine getiren yaylar.....	46
Şekil 3.16. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay tel çap (d) değeri.....	46
Şekil 3.17. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay iç çap (D_i) değeri.....	47
Şekil 3.18. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay dış çap (D_a) değeri.....	47
Şekil 3.19. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay serbest boy (L_0) değeri.....	48
Şekil 3.20. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay üst çalışma aralığı (P_1) değeri.....	48
Şekil 3.21. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay alt çalışma aralığı (P_2) değeri	49
Şekil 3.22. Numune yuvarlak tel yerine getiren yayın sarım yönü ve uç yapısı görseli.....	49
Şekil 3.23. Üretilen numune yassı tel yerine getiren yaylar.....	51
Şekil 3.24. Numune yassı tel yerine getiren yay büyütülmüş tel kesit görüntüsü...	51
Şekil 3.25. Numune yassı tel yerine getiren yay tel kesit yüksekliği (h) değeri.....	52
Şekil 3.26. Numune yassı tel yerine getiren yay tel kesit genişliği (b) değeri.....	52
Şekil 3.27. Numune yassı tel yerine getiren yay iç çap (D_i) değeri.....	53
Şekil 3.28. Numune yassı tel yerine getiren yay dış çap (D_a) değeri.....	53
Şekil 3.29. Numune yassı tel yerine getiren yay serbest boy (L_0) değeri.....	54
Şekil 3.30. Numune yassı tel yerine getiren yay üst çalışma aralığı (P_1) değeri.....	54
Şekil 3.31. Numune yassı tel yerine getiren yay alt çalışma aralığı (P_2) değeri.....	55

Şekil 3.32. Numune yassı tel yerine getiren yayın sarım yönü ve uç yapısı görseli.....	55
Şekil 3.33. Numune yaylar.....	57
Şekil 3.34. Yay baskıya alma test aleti.....	58
Şekil 3.35. Yuvarlak tel yaylara baskıya alma testinin uygulanması.....	59
Şekil 3.36. Yassı tel yaylara baskıya alma testinin uygulanması.....	60
Şekil 3.37. Baskıya alma testi sonucu L_0 (serbest boy)'da meydana gelen değişim.....	62
Şekil 3.38. Baskıya alma testi sonucu P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim.....	62
Şekil 3.39. Baskıya alma testi sonucu P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim.....	63
Şekil 3.40. Rodaj test cihazı.....	64
Şekil 3.41. Yorulma testi için üretilen yuvarlak ve yassı tel yerine getiren yay milleri.....	65
Şekil 3.42. Yerine getiren yaylara yorulma testinin uygulanması.....	65
Şekil 3.43. Yorulma testi sonucu L_0 (serbest boy)'da meydana gelen değişim.....	67
Şekil 3.44. Yorulma testi sonucu P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim.....	68
Şekil 3.45. Yorulma testi sonucu P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim.....	68
Şekil 3.46. Ömür testi test cihazı.....	70
Şekil 3.47. Yassı tel yayda kırılma.....	70

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Yayların son halkalarına uygulanan işlemlere göre aktif sarım sayısının, serbest yay boyunun ve yay blok uzunluğunun değışimleri.....	19
Tablo 2.2. Yuvarlak ve yassı tel yayların genel hesap formülleri	29
Tablo 3.1. Hesaplanmış yuvarlak tel yerine getiren yay değeri.....	39
Tablo 3.2. Hesaplanmış yassı tel yerine getiren yay değeri.....	44
Tablo 3.3. Hesaplanmış ve numune yuvarlak tel yerine getiren yay değeri.....	50
Tablo 3.4. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay değeri.....	50
Tablo 3.5. Hesaplanmış ve numune yassı tel yerine getiren yay değeri.....	56
Tablo 3.6. Numune yassı tel yerine getiren yay değeri.....	56
Tablo 3.7. Uygulanacak test planlaması.....	58
Tablo 3.8. Baskıya alma testi test sonuçları.....	61
Tablo 3.9. Baskıya alma test sonucuna göre yaylarda ki kayıpların yüzdelik olarak gösterimi.....	63
Tablo 3.10. Yorulma testi test sonuçları.....	66
Tablo 3.11. Yorulma testi test sonucuna göre yaylarda ki kayıpların yüzdelik olarak gösterimi.....	69
Tablo 3.12. Ömür testi test sonuçları.....	71
Tablo 3.13. Ömür test sonucuna göre yaylarda ki kayıpların yüzdelik olarak gösterimi.....	71

HAFİF ATEŞLİ SİLAHLARDA KULLANILAN YUVARLAK VE YASSI TELDEN ÜRETİLMİŞ YERİNE GETİREN YAYLARDA KUVVET KAYIPLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Hafif ateşli silahların genel çalışma prensipleri iğnenin fişeği ateşlemesi sonucu oluşan barut gazının geri tepmesi ve geri tepmeyi absorbe eden yerine getiren yayın ileri itmesi şeklindedir. Bütün hafif ateşli silahların çalışması bu sistem üzerine kurulmuştur.

Silahlarda kullanılan yerine getiren yay ve mili (irca yayı ve mili) tabancanın yarı ve tam otomatik olarak çalışmasını temin eder. Barut gazının etkisiyle kapak takımının geriye gelmesinden sonra ileriye gitmesini sağlar. Yayın içerisindeki mil ise yayın sağa sola kaymadan ve burulmadan düzgün bir şekilde durmasını sağlar.

Hafif silahlardan yarı otomatik tabancalar başta olmak üzere birçok farklı silahlarda son yıllarda yuvarlak tel yaylara alternatif olarak yassı telden üretilmiş yerine getiren yay kullanımı görülmektedir.

Bu çalışmada hafif ateşli silahlar grubunun en yaygın üyesi olan bir yarı otomatik tabanca yerine getiren yayı yuvarlak ve yassı tel yay olarak tasarlanmış olup tasarım değerlerine uygun numune üretimleri yapılmıştır. Bu yaylara baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanmış olup her iki yayda meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir. Yayların performansları L_0 (serbest boy), P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti) ve P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti) değerlerinde meydana gelen kayıplar hesaplanarak değerlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların L_0 , P_1 ve P_2 değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle P_1 değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylarda çok daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak ömür testinde yassı tel yaylarda daha erken kırılma meydana gelmiştir.

Bu çalışma, silah tasarımcısına yerine getiren yaylar ile ilgili bir öngörü sunar. Çalışma sonucunda elde edilecek bulgular ile ülkemiz savunma sanayisine katkı sağlanması ve bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hafif Ateşli Silah, Tabanca, Helisel Yay, Yerine Getiren Yay, Yuvarlak Tel Yay, Yassı Tel Yay, Yay Tasarımı, Yay Testleri

RESEARCH ON FORCE LOSSES OF RECOIL SPRINGS MADE OF FLAT AND ROUND WIRE USED ON SMALL ARMS

SUMMARY

The general working principles of small arms are the recoil of the powder gas caused by that the firing pin fires the ammunition and pushing of the recoil spring which absorbs recoil. The operation of all small arms is based on this system.

Recoil spring and recoil spring guide used on small arms procures that pistol Works semi-automatically and automatically. Recoil springs enable slide to move forward after it recoils with the power of powder gas. Recoil spring guide enable spring to state properly without shifting and buckling.

In recent years, especially on small arms from semi-automatic pistols, it is seen the use of recoil spring made of flat wire instead of round wire spring as alternative on many different arms.

In this study, it is desinged the recoil spring of a semiautomatic pistol, which is the most known member of small arms, as a round and flat wire spring and samples were produced according to the design dimensions. These springs were subjected to compression, fatigue and life cycle tests and the changes in both springs were observed. The performances of the springs were evaluated by calculating the losses in L_0 (solid height), P_1 (load at length 1, preliminary test force) and P_2 (load at length 2, allowable load) values. According to the results of the test, it is concluded that the losses in L_0 , P_1 and P_2 values of round wire springs are higher than flat wire springs. In particular, the losses in P_1 values were observed to be much higher in round wire springs. However, an earlier break on flat wire springs occurred in the life cycle test.

This study provides the weapon designer a vision about recoil springs. The purpose of the study is to contribute to the defence industry of our country by results obtained at the of the study and to shed light on the studies to be done on this subject.

Keywords: Small Arms, Pistol, Helical Spring, Recoil Spring, Round Wire Spring, Flat Wire Spring, Spring Design, Spring Tests

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ateşli silahlar, barut gazının itici gücüyle fişek atan bütün silahlara denir. Hafif ve ağır silahlar olmak üzere sınıflandırılabilirler. Hafif silahlar tabanca ve tüfek gibi taşınabilen ve en yaygın kullanılan silah grubunu oluştururken ağır silahlar ise roket, füze ve top gibi taşınması zor ağır silahlar grubunu oluşturmaktadırlar.

Hafif silahlardan olan yarı otomatik bir tabancanın çalışma sistemi Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi basitçe şu şekildedir [1]. Fişek ateşlendiğinde kapak takımı geri gelir, boş kovan dışarı atılır ve yerine getiren yay sıkışır. Sıkışan yerine getiren yay kapak takımını tekrar öne doğru iter ve şarjör içerisindeki yeni fişegi namluya yükleyerek tekrar atışa hazır hale gelmesini sağlar. Bu şekilde silah tekrar atışa hazır hale gelir. Döngü şarjör içerisinde fişek bitene kadar bu şekilde devam eder [2].



Şekil 1.1. Yarı otomatik bir tabancanın çalışma pozisyonları [1]

Silahlarda kullanılan yerine getiren yay silahın çalışma sistemi fark etmeksizin (tam otomatik, yarı otomatik, kısa geri tepmeli, gazlı, gaz pistonlu, inertial, havalı vs.) ateşleme mekanizmanın hayati parçalarından biridir (Şekil 1.2.). Şarjörden dolu fişegin alınarak namluya sürülmesinde ve patlama sonrası oluşan şoku absorbe

ederek kullanıcının aldığı geri tepme kaynaklı etkiyi azaltmakta görevlidir. Bu sayede atış döngüsünün devamlılığı sağlanmaktadır [2].



Şekil 1.2. Yerine getiren bir yayın tabanca kapağı üzerine montaj yapılmış hali [5]

Silahlara Hafif Silah Sistemleri Başkanlığı/ABD Kara Kuvvetleri Test Merkezi tarafından yayınlanan bir prosedür olan Test İşlemleri Prosedürü (TOP) 3-2-045'e göre çeşitli testler uygulanmaktadır. Bu testler ilk muayene, kendiliğinden ateş alma testi, güvenilirlik ve dayanım, isabet ve dağılma, olumsuz koşullar, kimyasal kirlenme, alev, duman, gürültü, kaba kullanım testi (düşme testi), tutum testi, şerit çekme kapasitesi, bloke namlu, namlu performansı, zehirli duman, geri tepme enerjisi ve kinematik, mühimmat uyumu, aksesuar uyumu, lojistik destek verebilirlik, atış sonrası muayene, insan faktörleri değerlendirmesi diye adlandırılan testlerdir [3]. Silahlardan bu testleri başarı ile tamamlaması istenmektedir.

Silah parçaları yüksek gerilmeli yüklere maruz kalmaktadır. Bundan dolayı parçaların mukavemet değerlerinin ve elastik şekil değiştirmeye direncinin (yüksek elastisite modülü) yüksek olması, kullanım sırasında kalıcı deformasyona uğramadan ve maruz kalacağı gerilme etkisinde oluşacak elastik şekil değişiminin düşük olması, uzun kullanım süresince şekilsel değişimin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması

beklenmektedir [4]. Silahlardan beklenen bu yüksek performans parçalarda geliştirmeleri zorunlu hale getirmiştir. Yerine getiren yay bir tabancanın performansını belirleyen en önemli parçalardan bir tanesidir. Yerine getiren yayda beklenenin üzerinde meydana gelen performans kayıpları tabancanın hata yapmasına veya çalışamaz duruma gelmesine neden olabilmektedir.

Silah tasarımı yapılırken yerine getiren yay parametreleri silahın ateşleme ve geri tepme mekanizmalarına doğrudan bağlı olduğu için çok iyi belirlenmelidir [2]. Bir yayın sıkışması ona uygulanan kuvvet (yük) ile orantılı olarak farklılıklar gösterir. Yani, kuvvetin sıkışma miktarına bölünmesiyle elde edilen değer sabittir. Bu sabit değere yaylanma oranı veya yay sabiti denir. Bu sabit/oran düşükse yay yumuşak, yüksekse sert yay olarak tanımlanır. Yay sabiti arttıkça, yayı sıkıştırmak için daha fazla güç gerekecektir, bu yüzden düşük basınçlı fişeklerde kapağın geri gelememesi dolayısıyla silahın tekrar kurulamaması ihtimali doğabilir. Çok düşük yay sabitine sahip bir yay ise silahın şahlanmasına, geri tepme kuvvetinin artmasına ve silahın tekrar kurulmasında gecikmelere neden olacaktır.

Hafif silahlardan yarı otomatik tabancalar başta olmak üzere birçok farklı silahlarda son yıllarda yuvarlak tel yaylara alternatif olarak yassı telden üretilmiş yerine getiren yay kullanımı görölmektedir (şekil 1.3.). Bu çalışmada hafif ateşli silahlar grubunun en yaygın üyesi olan bir yarı otomatik tabanca yerine getiren yayı yuvarlak ve yassı tel yay olarak tasarlanacak, tasarlanmış yaylardan numune üretimleri yapılacak ve bu yaylara baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanarak her iki yayda meydana gelen değişimler incelenecektir. Yapılacak olan bu testler sonucunda yayların birbirlerine göre performansları karşılaştırılacaktır.



a) Yuvarlak tel yerine getiren yay



b) Yassı tel yerine getiren yay

şekil 1.3. Yuvarlak ve yassı telden üretilmiş yerine getiren yaylar

Çalışmada kullanılacak olan tabanca Şekil 1.4.'de gösterilen Emniyet Genel Müdürlüğü personellerinin yoğun olarak kullanmış olduğu yerli üretim bir yarı otomatik tabancadır. Yay tasarımları bu tabancanın tasarımı ve alt-üst yay çalışma aralıkları göz önüne alınarak yapılacaktır.



Şekil 1.4. Yerli üretim polimer gövdeli bir yarı otomatik tabanca [6]

Sonra ki aşamada tasarımı yapılan yayların numune üretimleri yapılacaktır. Numune üretimleri tamamlanan yayların giriş kalite kontrolleri yapılarak tasarım değerlerine uygunluğu değerlendirilecektir. Yayların uygun olmaması halinde yeni numune üretimleri yapılacaktır. Yaylar uygun ise yuvarlak ve yassı tel yayların her birinden 10'ar adet yayın kuvvet değeri tek tek ölçülerek kaydedilecek ve ayrıca yayların birbirine karışmaması sağlanacaktır. Numune yaylarda meydana gelen değişimleri incelemek amacıyla bu yaylara ayrı ayrı baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanacaktır. En son aşamada testlere tabii tutulmuş yaylarda meydana gelen değişiklikler karşılaştırmalı olarak incelenecektir.

Çalışma sonucunda elde edilecek bulgular ile ülkemiz savunma sanayisine katkı sağlanması ve bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutulması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatür özeti 3 ana başlık altında toplanmıştır. İlk kısımda yarı otomatik bir tabancanın çalışma sistemi ve başlıca parçaları tanıtılmıştır. İkinci kısımda geri tepme mekanizmalarının tanımı yapılarak mekanizmalar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü kısımda yaylar hakkında genel bilgiler verilerek yay hesaplamaları anlatılmıştır.

2.1. Yarı Otomatik Tabanca

Hafif ateşli silahların genel çalışma prensipleri iğnenin fişegi ateşlemesi sonucu oluşan barut gazının geri tepmesi ve geri tepmeyi absorbe eden yerine getiren yayın ileri itmesi şeklindedir. Bütün hafif ateşli silahların çalışması bu sistem üzerine kurulmuştur.

Yarı otomatik tabanca, şarjörden fişek yatağına yeni fişek sürmek için bir önceki atıştan çıkan enerjiyi kullanan bir tabanca türüdür. Bu çalışma sistemine sahip silahlarda, her tetiği çekişte sadece bir tane fişek ateşlenir. Bir yarı otomatik tabanca, genellikle geri tepme, namlu içindeki patlama veya patlamadan sonra gazın sıkışması yoluyla fişek yatağına kendiliğinden sıradaki fişegi süren bir mekanizmaya sahiptir. Bir fişek ateşlendikten sonra boş kovan dışarı atılır, yerine getiren yay sıkıştırılır ve tetik yeniden çekilene kadar başka bir atış yapmak için şarjörden yatağa yeni bir fişek sürülür. Çoğu yarı otomatik tabanca, mühimmata ateşlenme işleminden önce ev sahipliği yapan, genelde kabzanın içine sokulan, çıkartılabilir bir şarjöre sahiptir [7].

Tabancalar genel olarak Şekil 2.1.'de gösterildiği üzere 4 ana parçaya ayrılır;

- Gövde (Çerçeve)
- Kapak (Sürgü)

- Namlu
- Şarjör



Şekil 2.1. Yarı otomatik bir tabancanın ana parçaları [8]

Gövde, tabancanın sabit ve hareketli bütün kısımlarını üzerinde taşıyan bölümdür. Gövde üzerinde; şarjör ve şarjör yuvası, tetik, tetik korkuluğu, tetik ile horoz arasındaki intikal parçaları, horoz, çıkarıcı, emniyet mandalları, kabza kapağı bu ve diğer parçaları ile bunlara ait yay ve pimleri üzerinde bulundurulur.

Namlu, atış esnasında fişek çekirdeğine hız, dönüş ve yön vererek istikrarlı bir şekilde hedefe gitmesini sağlayan bölüme denilmektedir. Namlu bir silahın ana elemanlarından biridir. Namlu içlerinde yiv ve set bulunmaktadır.

Şarjör, atış için sırada bekleyen fişeklerin bulunduğu kısımdır.

Kapak silahın temel elemanlarından biridir ve ateşleme esnasında silahın hareketli parçasıdır. Namluyu dış ekenlere karşı koruyan, tabancanın gövdesini kapatan

parçadır. Kapak takımı içerisinde gez, arpacık, kovan atma boşluğu, tırnak, yerine getiren yay, emniyet mandalı, iğne ve iğne yayı gibi parçalar bulunmaktadır. Kapak, fişek yatağındaki patlama sonucunda oluşan basınçtan zarar görmeyecek kadar dirençli metallere yapılmaktadır. Kapak takımı içerisinde bulunan yerine getiren yay ve mili (irca yayı ve mili) tabancanın yarı ve tam otomatik olarak çalışmasını temin eder. Barut gazının etkisiyle kapak takımının geriye gelmesinden sonra ileriye gitmesini sağlar. Yayın içerisindeki mil ise yayın sağa sola kaymadan ve burulmadan düzgün bir şekilde durmasını sağlar.

Yerine getiren yayın bir tabancanın performansını belirleyen en önemli parçalardan olduğu bilinmektedir. Yerine getiren yayda meydana gelen sorunlar tabancanın hata yapmasına veya çalışmaz duruma gelmesine neden olabilmektedir. Çok güçlü yay düşük basınçlı fişeklerde kapağın geri gelememesi bundan dolayı silahın tekrar kurulamaması ihtimalini doğurabilir. Çok düşük yay sabitine sahip bir yay ise silahın şahlanmasına, geri tepme kuvvetinin artmasına ve silahın tekrar kurulmasında gecikmelere neden olabilmektedir. Ayrıca dengesiz bir yerine getiren yay fişek dikme, boş kovani atamama, düzensiz boş kovan atışı, kapağın oturmaması/geri gelmemesi, fişegi patlatamama gibi temel atış sorunlarının kaynağı olabilmektedir.

2.2. Geri Tepme Mekanizması

Geri tepme, bir fişegin (veya topun) namluda patlaması sonucu merminin ve hâsıl olan gazların ileriye doğru hareket etmesinin sonucunda, Newton'un üçüncü yasasına göre tepki gücüne göre elde edilen, merminin ileriye doğru hareketini dengeleyen ve geriye doğru olan momentum şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 2.2.). Momentum, küçük silahlarda ateşleyen kişinin vücudu kullanılarak yere aktarılırken, daha büyük ve yere monte edilmiş silahlarda montaj yolu ile yere aktarılır. Geri tepme gücünü durdurmak için silahı bir süreliğine ileriye doğru hareket ettirmek gerekirken, genellikle bu güç geri tepme gücünden daha küçük ve merminin namlu içindeki hareketinden daha uzun sürede olduğundan geri tepme gücü silahı geriye doğru hareket ettirir [9].



Şekil 2.2. Tabancanın geri tepmesi sonrası kullanıcının elinde aldığı pozisyon [10]

Momentum değişikliği, Newton'un ikinci yasasının göre silahın ivmesinin zaman türevine eşit bir kuvvet ile sonuçlanır. Aynı zamanda momentum, silahın kütlesi ve hızının çarpımına eşittir. Momentumun korunumu yasasına göre ileri doğru ivmelenen merminin momentumu, geriye doğru ivmelenen silahın momentumu ile eşit olmalıdır. Dolayısıyla merminin kütle ve hızı biliniyor ise, silahın geri tepme hızı ve enerjisi hesaplanabilir [9].

Geri tepme mekanizmasının amacı, çok kısa bir süre (5–20 ms) içerisinde barutun yanması ile hazne içerisinde oluşan yüksek balistik kuvvetlerin daha uzun bir zaman aralığında (0,2–0,8 s) ve şiddeti düşürülmüş bir kuvvet olarak araca iletilmesini sağlamaktır. Bu yüzden geri tepme sistemlerinden beklenen, bu sistemlerin dinamik özelliklerinden faydalanılarak kısa sürede oluşan tepe kuvvetleri uzun zaman aralığında düşük kuvvetlere dönüştürmektir [11].

Geri tepme mekanizması olmadan da namluların sabit bir biçimde gövdeye monte edilmesi mümkündür. Ancak bu durumda ağır silahlarda patlama sonucu oluşan ve gövdeye etki edecek olan kuvvet 90000 N'u geçecektir [11]. Bu büyük kuvveti karşılayabilmek için gövde ve onu taşıyan hareketli sistemin de çok büyük ve

mukavemetli olması gerekir. Bu gereklilik silahın kullanışlı ve ekonomik olmasını engeller [12].

Büyük kalibreli silahların tasarımında namlularının ileri-geri hareket etmesine müsaade edilir. Sevk barutunun oluşturduğu gaz kuvveti doğrudan gövde yerine hareketli namlu ve geri tepen hareketli parçalar üzerine etki ederek onları geriye doğru hareket ettirir. Bu hareket, geri tepme mekanizması tarafından oluşturulan ters tepki kuvveti ile kontrol edilir. Geri tepme sistemi tarafından oluşturulan tepki kuvveti belli bir mesafede ve zaman aralığında olduğu için gövdeye etki eden kuvvet de patlama ile hazne de oluşan kuvvetten çok daha düşüktür. Geriye hareketin engellenmesi esnasında en büyük direnç öncelikle geri tepme mekanizması tarafından sağlanır. Kayma sürtünme kuvveti ve namlu ağız freni ile sağlanan kuvvet geri tepme mekanizmasının sağladığı kuvvete göre düşüktür [12].

Geri tepme mekanizmalarının görevleri şunlardır;

- Momentum transferinin sağlanması
- Geri tepme kuvvetinin kontrolünün sağlanması
- Enerji transferinin sağlanması [13]

2.3. Yaylar

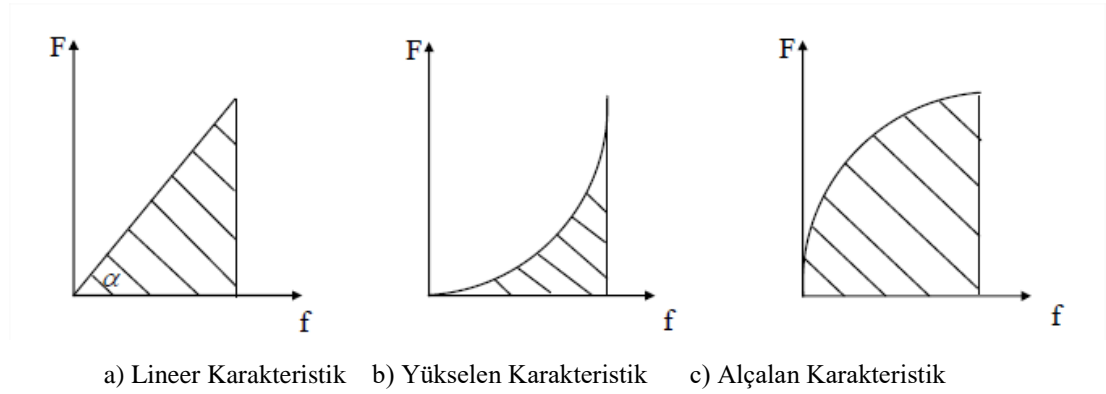
Dış yük altında tüm makine elemanları deformasyona uğrarlar; deformasyon elastik bölge sınırları içindeyse, kuvvet kaldırıldığında makine elemanları başlangıçtaki durumlarını alırlar. Genelde çok küçük olan bu deformasyonlar yay adı verilen, özel geometriye sahip elemanlarda oldukça yüksek değerdedir. Yaylar gerek yapıldıkları malzemenin elastiklik özellikleri ve gerekse şekilleri sebebiyle, nispeten büyük bir şekil değiştirme ile enerji depolarlar ve bunu kullanma amacına göre az veya çok bir sürtünme kaybıyla tekrar geri verirler [14, 15]. Bu süreçte, yayların malzeme özellikleri ve şekilleri önemli birer etken olmaktadır.

Malzeme özelliklerine, şekillerine ve zorlanma biçimlerine göre yayların farklı kullanım alanları vardır. Günlük hayatımızda basmalı kalemlerden spor aletlerine,

koltuk minderlerinden kumanda aletlerine kadar kullanımları mevcuttur. Yayların, enerji depolamak, darbe ile meydana gelen kuvvetlerin şiddetini azaltmak yani sönümleme görevi yapmak, bazı elemanlarda ön gerilmeli yerleştirilip boşluk gidermek, preslerde kuvveti sınırlamak, ani yükleme ve etkiyi azaltmak, makine parçaları arasındaki bağlantıyı sürdürmek, titreşimi kontrol etmek gibi makine tasarımı ile ilgili kullanımları da vardır [16].

Yaylar boyutlandırılırken dikkat edilecek hususlar vardır. Bunlar hem bağlantılı olacağı elemanlara uyacak sınır boyutlar içinde kalması, hem işlevin gerektirdiği yay katsayısına sahip olması ve hem de üretildiği malzemenin mukavemet emniyet sınırlarını aşmamasıdır [17].

Yay karakteristiği; yaya gelen yük (kuvvet veya moment) ile yaylanma miktarı arasındaki bağıntıyı gösterir. Yayı 1 birim çekmek veya uzatmak için gerekli kuvvete (burulma yaylarında 1 birim açı burmak için gerekli momente) yay katsayısı denir. Yay katsayısı, rijitlik (c) olarak da adlandırılır. Bu bağıntı Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi lineer, yükselen veya alçalan karakterde olabilir [14, 18, 19].



Şekil 2.3. Yay karakteristikleri [14, 18]

Lineer karakterli yaylarda yay katsayısı;

Öteleme hareketinde Eşitlik (2.1) ile

$$c = \frac{F}{f} = \tan \alpha = \text{sabit} \quad (2.1)$$

Dönme hareketinde Eşitlik (2.2) ile

$$c = \frac{M_b}{\varphi} = \tan \alpha = \text{sabit} \quad (2.2)$$

ile ifade edilebilir.

Eğer yay lineer değilse;

Öteleme hareketinde Eşitlik (2.3) ile

$$c = \frac{dF}{df} = \tan \alpha \quad (2.3)$$

Dönme hareketinde Eşitlik (2.4) ile

$$c = \frac{dM_b}{d\varphi} = \tan \alpha \quad (2.4)$$

ile ifade edilebilir.

Burada;

F : yay kuvveti (N)

f : uzama (mm)

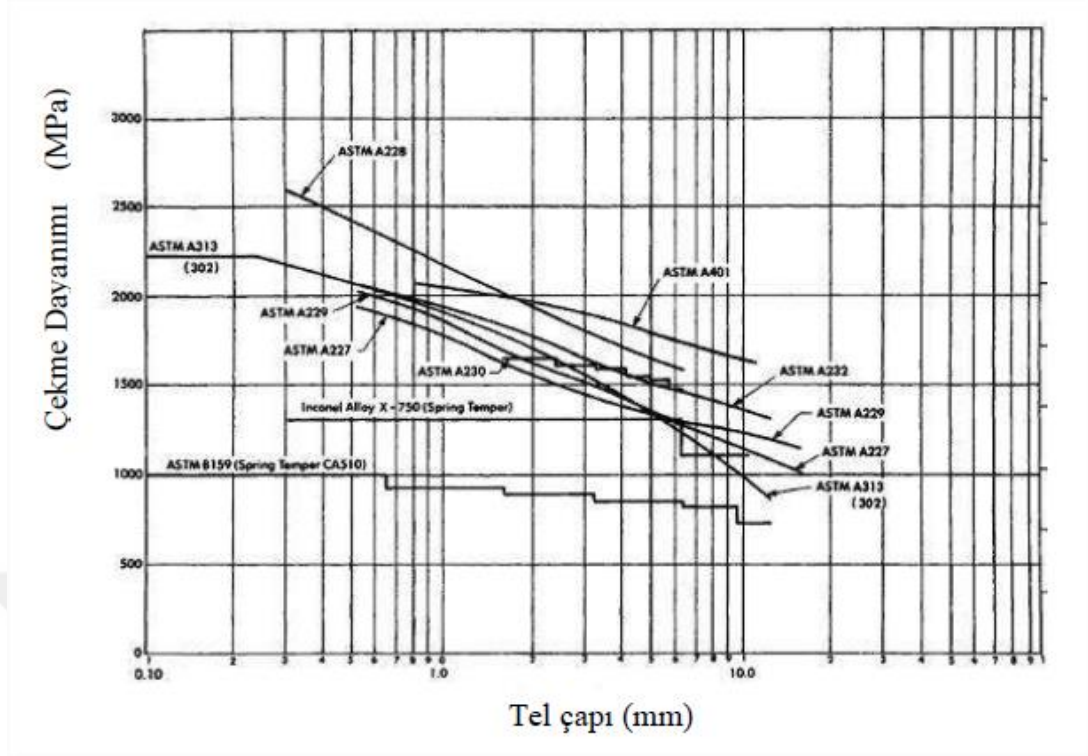
α : rijitlik eğrisinin eğim açısı

M_b : burulma momenti (Nmm)

φ : burulma açısı

2.3.1. Yay Malzemeleri

Yay malzemesi yüksek yorulma direnci, yüksek süneklik, yüksek elastikiyet ve yüksek sürünme direncine sahip olmalıdır. Taşıyacağı kuvvet, yaylanma miktarı, yerleştirileceği yerdeki hacim ve kütle sınırlamalarına göre bir yayın malzemesi ve şekli seçilir [14, 20].



Şekil 2.4. Yay telinin minimum çekme dayanımı [21]

Yay telinin kopma mukavemeti tel çapı ile ters orantılı olarak değişir. Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi en yüksek mukavemetli yay telleri ASTM A228 (müzik teli) ve ASTM A401 (yağda temperlenmiş krom-silisyum)'dur. ASTM A313 (paslanmaz çelik), ASTM A230 (yağda temperlenmiş karbonlu supap yayı), ASTM A232 (yağda temperlenmiş krom-vanadyum) çelikleri yorulma uygulamaları için biraz daha düşük kopma mukavemetine sahiptir. Statik uygulamalar için daha düşük mukavemet değerlerine sahip olan ASTM A227 (haddelenmiş-sertleştirilmiş karbon çeliği) ve ASTM A229 (yağda temperlenmiş karbon çeliği) çelikleri kullanılabilir [16].

Yaylar için kullanılan metal malzemeler sertleştirilebilen karbon çelikleri, krom, silisyum, silisyum-mangan-krom, vanadyum alaşımlı çelikler gibi malzemelerdir. Kullanılan pirinç, fosforlu bronz, silisyum-bronz ve çeşitli nikel alaşımları demir olmayan metal malzemelerdir. Ayrıca metal olmayan (kauçuk, plastik malzeme, tahta, çeşitli sıvılar ve gazlar vs.) yay malzemeleri de bulunmaktadır [16].

2.3.2. Yayların Isıl İşlemi

Yaylar için ısıl işlem sıcaklıkları iki aralığa ayrılabilir. 175°-510° C (347°-950° F) aralığında düşük sıcaklıktaki ısıl işlemler, artık gerilmeleri azaltmak ve parçaları boyutsal olarak stabilize etmek için şekil vermeden önce yaylara uygulanır. Karbon çelikleri, paslanmaz çelikler ve bazı yaşlandırılabilir alaşımlar için, kalıcı deformasyona geçiş noktasını arttırmak veya eski haline getirmek için düşük sıcaklıktaki ısıl işlemler kullanılır. Elektrolizle kaplanmış karbon çelik parçalar, kaplamadan önce düşük sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulur ve hidrojen gevrekleşmesine önlemek için daha sonra fırınlanır. Yayların gerilim giderme ve yaşlandırma işlemi düşük sıcaklıkta ve hava ile soğutularak yapılır. Bu işlem sonrasında parça üzerinde orta derecede bir oksit oluşabilir. Bu oksidin zararlı bir etkisi görülmemiştir [22].

Yay şekillendirildikten sonra tavllanmış malzemenin mukavemetini arttırmak için yüksek sıcaklıkta ısıl işlemler kullanılır. Yüksek karbonlu çelikler, 760°-900° C (1480°-1652° F) sıcaklık aralığında östanzasyon sıcaklığında sertleştirilir, martensit oluşumu için su verilir ve daha sonra temperlenir. Bazı nikel bazlı alaşımlar, yüksek sıcaklıkta yaşlandırma işlemleriyle güçlendirilir. Bu yüksek sıcaklıklarda yüksek oksidasyon meydana geldiğinden, uygun bir koruyucu atmosfer kullanarak aşırı oksidasyonun önlenmesi önerilir [22].

Yaygın olarak kullanılan birçok malzemeye göre ısıl işlemler, Şekil 2.5.'te listelenmiştir. Belirli bir aralıktaki sıcaklık değerinin seçimi ancak malzemenin cinsi, boyutu, mukavemet seviyesi, uygulama koşulları ve istenen özellikleri dikkate alındıktan sonra yapılabilir. Aksi belirtilmedikçe, gerilim giderme işlemi için belirtilen sıcaklıkta 20 ila 30 dakika kalması yeterlidir [22].

Yay benzeri parçaların çoğu, önceden sertleştirilmemiş malzemelerden üretilir. Bu durumlarda, yumuşak veya tavllanmış malzeme kullanılmalı ve üretimden sonra istenen yay özelliklerine ulaşmak için ısıl işlem görmelidir [22].

Malzemeler	Isıl İşlem	
	°C	°F
Patentlenmiş ve Soğuk Çekilmiş Çelik Tel	190 - 230	375 - 450
Tavllanmış Çelik Tel:		
Karbon	260 - 400	500 - 750
Alaşım	315 - 425	600 - 800
Östenitik Paslanmaz Çelik Tel	230 - 510	450 - 950
Çökelimli Sertleşen Paslanmaz Tel (17-7 PH):		
Durum C	480 / 1 saat	900 / 1 saat
Durum A (TH 1050 için)	760 / 1 saat, 565 / 1 saat ardından 15 °C'e soğutun	1400 / 1 saat, 1050 / 1 saat ardından 60 °F'e soğutun
Monel:		
Alaşım 400	300 - 315	575 - 600
Alaşım K500, Yay Menevişi	525 / 4 saat	980 / 4 saat
Inconel:		
Alaşım 600	400 - 510	750 - 950
Alaşım X-750:		
*1 Temper	730 / 16 saat	1350 / 16 saat
Yay Menevişi	650 / 4 saat	1200 / 4 saat
Bakır Temelli, Soğuk İşlenmiş (Pirinç, Fosfor Bronzu vb.)	175 - 205	350 - 400
Berilyum Bakır:		
Önceden Tavllanmış	205	400
Çözeltili Tavllanmış, Haddeden Geçirilmiş veya Çekilmiş	315 / 2-3 saat	600 / 2-3 saat
Tavllanmış Çelikler:		
Karbon (AISI 1050 - 1095)	800 - 830*	1475 - 1525*
Alaşım (AISI 5160H 6150, 9354)	830 - 885*	1525 - 1625*
*Zaman ısıtma ekipmanına ve kesit büyüklüğüne bağlıdır. Parçalar östenitlenir, sonra su verilir ve istenen sertliğe kadar menevişlenir.		

Şekil 2.5. Yaylar için ısıl işlem tipleri [22]

2.3.3. Yayların Hesap Yöntemleri

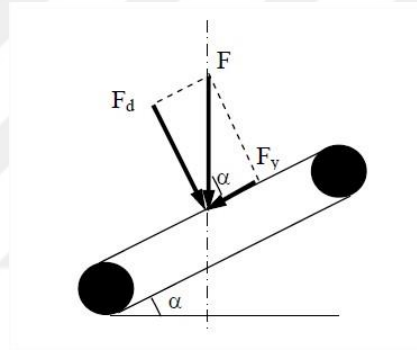
İnce bir telin bir silindir etrafına belirlenen bir sarım açısıyla sarılmasıyla helisel yay elde edilir. Tel çapı 10 mm'den küçük ise yay soğuk şekillendirilir, çap 20 mm'den büyük ise sıcak şekillendirilir. Aradaki tel çaplarında her iki yöntem de uygulanır. Helisel yaylar makine ve taşıt konstrüksiyonunda en çok kullanılan yaylardır. Yaylanma miktarları diğer yaylara göre büyüktür. Kullanılan malzemenin metalik, özellikle de çelik olması, sürtünmenin olmaması nedeniyle sönümlenme oranını çok küçültür [16].

Şekil 2.6.'de verilen helisel yaylar, genellikle daire kesitli, dikdörtgen kesitli tel ya da çubuktan yapılırlar. Bu yaylar burulma kayma gerilmeleri ve kesite dik yönde

kuvvet etkisiyle oluşan kesme kayma gerilmeleri etkisindedir (Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6). Ayrıca helisin eğimi nedeniyle bir normal gerilme etkisi de oluşmaktadır [16].



Şekil 2.6. Daire kesitli helisel yay



Şekil 2.7. Yaya gelen kuvvetin bileşenleri [16]

$$F_y = F \sin \alpha \quad (2.5)$$

$$F_d = F \cos \alpha \quad (2.6)$$

Helisel yaya eksenini doğrultusunda F kuvveti geldiğinde, Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi kuvvetten $D_0 / 2$ (D_0 : sargının ortalama çapı) kadar uzakta bulunan tel kesitinde F kuvvetinin yatay ve dikey bileşenlerinden dolayı burulma gerilmesi, eğilme gerilmesi, kesme gerilmesi ve normal bası gerilmesi oluşur [14].

Bu gerilmeler; burulma gerilmesi Eşitlik (2.7), eğilme gerilmesi Eşitlik (2.8), kesme gerilmesi Eşitlik (2.9) ve normal bası gerilmeleri Eşitlik (2.10) ile hesaplanır.

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_p} = \frac{F \cos \alpha \frac{D_0}{2}}{W_p} \quad (2.7)$$

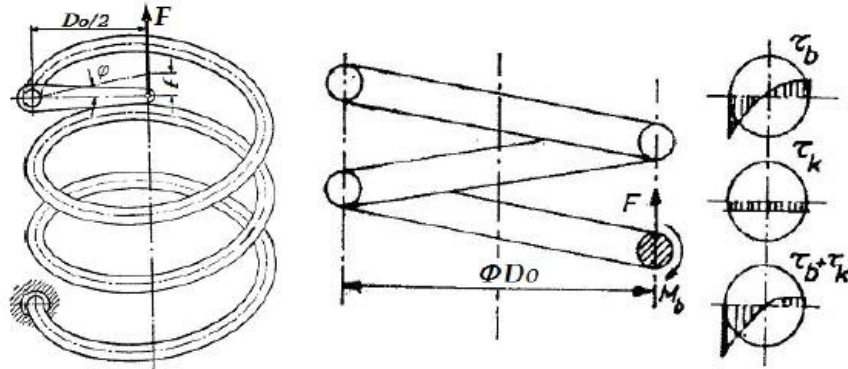
$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} = \frac{F \sin \alpha \frac{D_0}{2}}{W_e} \quad (2.8)$$

$$\tau_k = \frac{F \cos \alpha}{A} \quad (2.9)$$

$$\sigma_b = \frac{F \sin \alpha}{A} \quad (2.10)$$

Helisel yayların kuvvet altında aksenal yöndeki boyları kısalmır veya uzar, bu hareket esnasında yay telinin kesitinde burulma gerilmesi τ_b oluşur. Oluşan gerilme Şekil 2.8.'de görülmektedir. Burulma gerilmesinin yayın çevresine eşit dağıldığı kabul edilirse, Eşitlik (2.11)'de görüldüğü gibi burulma gerilmesinin değeri burulma momentinin, polar mukavemet momentine bölünmesiyle elde edilir [14].

$$\tau_i = \frac{M_b}{W_p} = \frac{FD_0/2}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{8FD_0}{\pi d^3} \quad (2.11)$$



Şekil 2.8. Helisel yaylardaki kuvvetler ve gerilmeler [14]

Yayın eğiminden dolayı bu dağılım eşit olmayıp, iç tarafta dışarıya göre çok daha fazladır. F basma kuvvetinin etkisiyle yay f kadar kısalmır. Yayın herhangi bir kesitine etkiyen zorlamalar, $M_b = FD_0 / 2$ burulma momenti ve F kesme kuvvetidir. D_0 ,

ortalama sargı dairesi çapını gösterir. Şekil 2.7. kesitteki gerilmeleri göstermektedir. Birinci şekilde kesitteki burulma gerilmelerinin dağılımı gösterilmiştir. Eğri bir çubuğun burulması nedeniyle yayın iç tarafındaki burulma gerilmeleri daha büyüktür. Kayma gerilmelerinin üniform yayıldığı kabul edilerek kayma ve burulma gerilmeleri toplanırsa, Şekil 2.7.'deki gerilme dağılımı bulunur [20, 23].

Yay telinde meydana gelen maksimum burulma gerilmesi Eşitlik (2.12) ile hesaplanır.

$$\tau_{maks} = k\tau_i = \frac{8kFD_0}{\pi d^3} \quad (2.12)$$

k faktörü, sarım oranı ($W = D_0 / d$)'nin bir fonksiyonu olup Eşitlik (2.13) ile hesaplanır.

$$k = 1 + \frac{5}{4} \frac{1}{W} + \frac{7}{8} \frac{1}{W^2} + \frac{1}{W^3} \quad (2.13)$$

Helisel yayın tel çapı; yaya etki eden kuvvet, yayın sahip olacağı ortalama çap ve malzemeye bağlı olarak Eşitlik (2.14)'den yararlanılarak hesaplanabilir [14, 24].

$$d = \sqrt[3]{\frac{8kFD_0}{\pi\tau_{em}}} \quad (2.14)$$

Yaylanma miktarı Eşitlik (2.15)'den yararlanılarak hesaplanabilir.

$$f = \varphi \frac{D_0}{2} = \frac{M_b L_y D_0}{G J_p 2} \quad (2.15)$$

Burada;

$L_y = \pi D_0 i_y$: Yaylanan tel uzunluğu

i_y : Yaylanan sarım sayısı

J_p : Polar atalet momenti

G : Kayma modülü (N/mm^2)

M_b : Momenti (Nmm)

L_y ifadesi Eşitlik (3.15)'de yerine yazılırsa; Eşitlik (2.16) elde edilebilir.

$$f = \frac{FD_0^3 \pi i_y}{4GJ_p} = \frac{8FD_0^3 i_y}{Gd^4} \quad (2.16)$$

Yayın rijitliği Eşitlik (2.17), depolanan enerji Eşitlik (2.18), faydalanma derecesi Eşitlik (2.19) ve yay teli hacmi Eşitlik (2.20)'den hesaplanır.

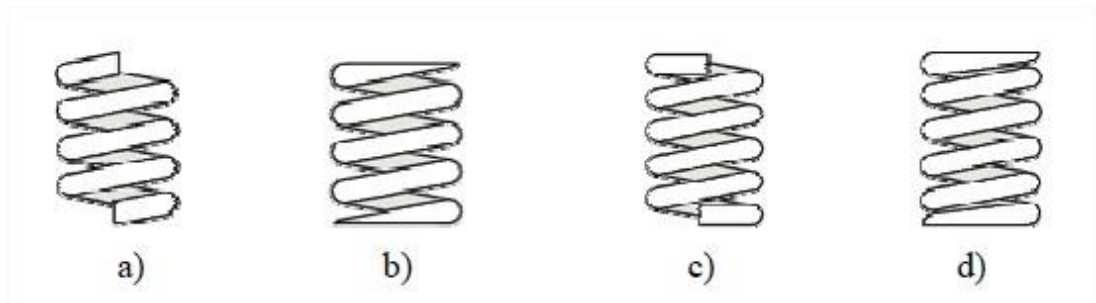
$$c = \frac{F}{f} = \frac{Gd^4}{8D_0^3 i_y} \quad (2.17)$$

$$w = \frac{1}{2} Ff = \frac{1}{2} cf^2 = \eta_A \frac{\tau^2 V}{2G} \quad (2.18)$$

$$\eta_A = \frac{1}{2} \text{ (silindirik helisel yaylar için)} \quad (2.19)$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} D_0 i_y \quad (2.20)$$

Yayın tek yönlü zorlanmaması için yay uçları aynı düşey doğrultuda değil Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi aralarında 180° olacak şekilde imal edilir, yani toplam sarım sayısı buçuklu bir sayıdır; ilk ve son sargı rijit parçalarla temas halinde olup yaylanmaya katkıları yok kabul edilir [16].



açık uçlu

açık uçlu taşlanmış

kapalı uçlu

kapalı uçlu ve taşlanmış

Şekil 2.9. Son halkalara uygulanan işlemler [16]

Yayların son halkalarına uygulanan işlemlere göre aktif sarım sayısının, serbest yay boyunun ve yay blok uzunluğunun değişimleri Tablo 2.1.'de verilmiştir [15].

Tablo 2.1. Yayların son halkalarına uygulanan işlemlere göre aktif sarım sayısının, serbest yay boyunun ve yay blok uzunluğunun değişimleri [15]

Yay son halka türleri	Toplam sarım sayısı	Blok uzunluk	Serbest uzunluk
Açık uçlu	i_y	$(i_y+1) d$	$i_y p+d$
Açık uçlu ve taşlanmış	i_y	$i_y d$	$i_y p$
Kapalı uçlu	i_y+2	$(i_y+3) d$	$i_y p+3 d$
Kapalı uçlu ve taşlanmış	i_y+2	$(i_y+2) d$	$i_y p+2 d$

p: adım, i_y : yaylanan sarım sayısı, d: tel çapı

Yaylanan sarım sayısı i_y Eşitlik (2.21)'de görüldüğü gibi, soğuk sarılmış yaylarda toplam sarım sayısı i_T 'den iki sargı eksiktir.

$$i_y = i_T - 2 \quad (2.21)$$

Soğuk sarılmış yaylarda pratik sınır değerler;

$d \leq 17$ mm, $D_0 \leq 200$ mm, $L_0 \leq 630$ mm, $i_y \geq 2$, $W = D_0 / d = 4 \dots 20$ olarak verilir.

Sıcak sarılmış yaylarda ilk ve son sargının 0,75'i bu sargıların eksene dik olacak şekilde taşlanması, eğimin azalması nedeniyle yaylanmaya katılmazlar ve yaylanan sargı sayısı Eşitlik (2.22) 'den hesaplanır.

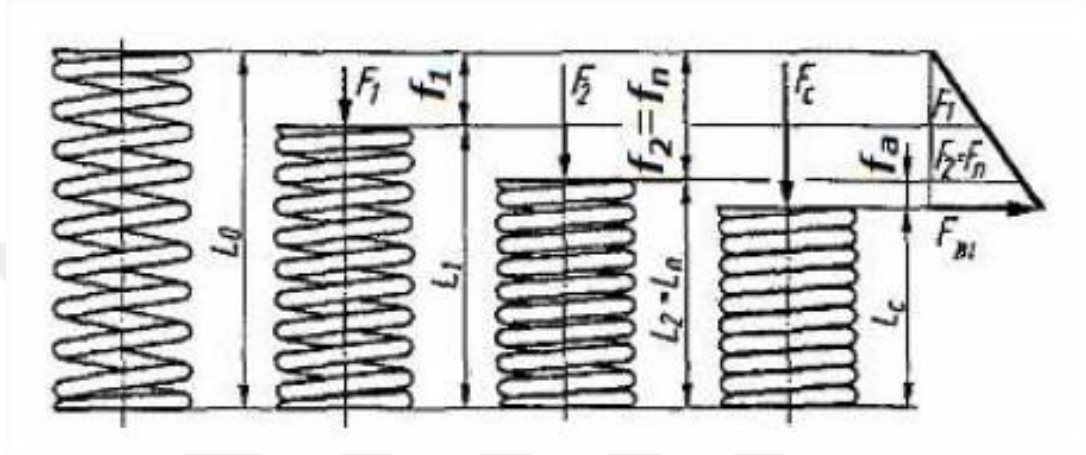
$$i_y = i_T - 1.5 \quad (2.22)$$

Sıcak sarılmış yaylar sarımdan sonra ıslah işlemine tabi tutulurlar. Bu yaylar ya sıcak haddelenmiş çubuktan ya da sıcak haddelendikten sonra tornalanıp taşlanmış çubuktan üretilir [14].

Yay uzunluğu

Basıya çalışan helisel yaya gelen kuvvet, Şekil 2.10.'da görüldüğü üzere sargıları birbirine temas ettirecek kadar büyük olursa, yayın bu haldeki uzunluğuna Blok

Uzunluğu (L_{BI}) denir. Yayların son halkalarına uygulanan işlemlere göre yay blok uzunlukları hesaplanabilir. Soğuk sarılmış ve uçları taşlanmış yaylar için Eşitlik (2.23), soğuk sarılmış ve uçları dövülüp taşlanmış yaylar için Eşitlik (2.24), sıcak sarılmış ve uçları dövülüp taşlanmış yaylar için Eşitlik (2.25) ve sıcak sarılmış ve uçları taşlanmamış yaylar Eşitlik (2.26) ile hesaplanır [16].



Şekil 2.10. Yayın serbest ve blok uzunlukları [17]

$$L_{BI} = (i_T + 1)d \quad (2.23)$$

$$L_{BI} = i_T d \quad (2.24)$$

$$L_{BI} = (i_T - 0.3)d \quad (2.25)$$

$$L_{BI} = (i_T + 1.1)d \quad (2.26)$$

Normal koşullarda yayın hiçbir zaman blok haline gelmesine izin verilmez; yaya maksimum kuvvet uygulandığında yay sarımları arasında Şekil 3.7’de görüldüğü gibi toplam f_a kadar boşluk olmalı ve sargılar birbirine temas etmemelidir [17].

Soğuk sarılmış yaylar için f_a Eşitlik (2.27) ile ve sıcak sarılmış yaylar için Eşitlik (2.28) ile bulunur.

$$f_a = \left(0.0015 \div \frac{D_0^2}{d} + 0.1d\right) i_y \quad (2.27)$$

$$f_a = 0.02(D_0 + d)i_y \quad (2.28)$$

En büyük yük altında iken yayın uzunluğu Eşitlik (2.29) 'ten hesaplanır.

$$L_n = L_{BL} + f_a \quad (2.29)$$

Zorlama dinamik karakterli ise f_a soğuk sarılmış yaylarda 1,5, sıcak sarılmış yaylarda 2 kat arttırılmalıdır.

Yaylanan sargılar arasındaki minimum mesafe, yayın blokaj uzunluğu ve yayın maksimum kısılması dikkate alınarak, yayın serbest uzunluğu Eşitlik (2.30) ile hesaplanır [20, 25].

$$L_0 = L_{BL} + f_a + f_n \quad (2.30)$$

Burada;

L_{BL} : Yayın blokaj uzunluğu (mm)

f_a : Yaylanan sargılar arasındaki minimum mesafe (mm)

f_n : Yayın maksimum kısılması (mm)

Yayın serbest yay uzunluğu Eşitlik (2.31) ile de bulunabilir.

$$L_0 = 2D_0 i_y \tan \alpha \quad (2.31)$$

Kuvvet altında basıya çalışan yayın boyu kısılırken yayın sarım çaplarında küçük bir artış olur. Yayın dış çapı için bu artış Eşitlik (2.32) ile ifade edilmektedir.

$$\Delta D_d = 0.1 \frac{p^2 - 0.8pd - 0.2d^2}{D_0} \quad (2.32)$$

Burada; p: sarım hatvesi olup taşlanmış uçlar için Eşitlik (2.33), taşlanmamış uçlar için Eşitlik (2.34) ile hesaplanır.

$$\left(p = \frac{L_o - d}{i_y}\right) \quad (2.33)$$

$$\left(p = \frac{L_o - 2.5d}{i_y}\right) \quad (2.34)$$

2.3.3.1 Yayın mukavemeti

Yayların mukavemet hesaplarında statik ve dinamik zorlanmalar dikkate alınır.

Yayın statik zorlanması

Genelde statik zorlama durumunda yayın sadece burulmaya maruz kaldığı düşünülür. Sargı çapının iç kısmında meydana gelen maksimum gerilme dikkate alınmaz [16].

İdeal burulma gerilmesi Eşitlik (2.35), müsaade edilen burulma gerilmesi de Eşitlik (2.11) ile hesaplanır.

$$\tau_{ti} = \frac{M_b}{W_t} \leq \tau_{em} \quad (2.35)$$

Burulma momenti Eşitlik (2.36) ile belirlenir.

$$M_b = F \frac{D_0}{2} \cos \alpha \quad (2.36)$$

Burada;

M_b : Burulma momenti (Nmm)

D_0 : Ortalama sargı çapı (mm)

α : Sarım açısı

d : Tel çapı (mm) şeklinde ifade edilmektedir.

Yayın dinamik zorlanması

Yayın dinamik zorlanması hesaplanırken sarım çapının iç kısmında meydana gelen gerilme artışı dikkate alınır. Bu gerilme artışı ortalama sargı çapının tel çap oranına bağlı olarak değişir ve Eşitlik (3.37) ile hesaplanır.

$$W = \frac{D_0}{d} \quad (2.37)$$

Böylece;

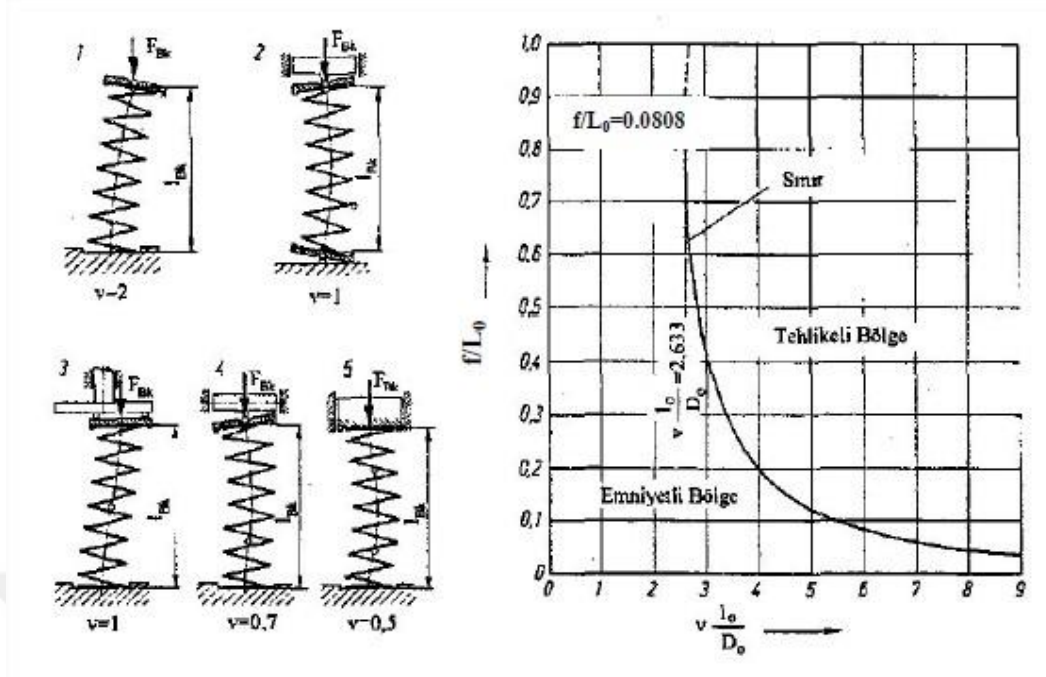
$$\tau = k\tau_{ti} = k \frac{8FD_0}{\pi d^3} \leq \tau_{tem} \quad (2.38)$$

Kesme gerilmesini de içeren k faktörü Eşitlik (2.39) ile hesaplanır [25].

$$k = \frac{W+0.5}{W-0.5} \quad (2.39)$$

Yayların yük altında burkulması

Yay uygun şekilde kılavuzlanmadıkça, helisel yayın boyu, ortalama çapın dört katından daha fazla ise yayın burkulma tehlikesi vardır. Narinlik faktörü L_0 / D_0 'ya bağlı olarak, hangi izafi yaylanmada (f/L_0) burkulma tehlikesi ile karşılaşacağı Şekil 2.11.'de görülmektedir. Narinlik faktörünü etkileyen V katsayısı, yayların uçlarının yataklanma sekline göre 0,5 ile 2 arasında değişir. Bir yayın burkulması o yayın ortalama sargı çapına, yayın uzunluğuna ve yayın merkezleme sekline bağlıdır [15, 17, 25]. Burkulma tehlikesi olan yaylar içten veya dıştan kılavuzlanmalıdır. Dıştan kılavuzlama halinde yayın dış çapı, yük altında ΔD kadar genişler [16].



Şekil 2.11. Silindirik helisel bası yaylarının burkulma sınırı [15]

Helisel yaylarda burkulmanın başlayacağı kritik yaylanma miktarı (f_{BK}) hesapla tahmin edilmektedir. Yayın geometrisi, malzemesi ve uçların yataklanma sekline bağlı düzeltme sayısı V biliniyorsa, f_{BK} ile aralarındaki ilişki Eşitlik (2.40) ile ifade edilebilir.

$$f_{BK} = \frac{L_0}{2(1-G/E)} \left[1 - \sqrt{1 - 2 \frac{1-G/E}{1+2G/E} \left(\frac{\pi D_0}{V L_0} \right)^2} \right] \quad (2.39)$$

$f < f_{BK}$ olduğu sürece yayda burkulma olmayacaktır [15, 17].

2.3.4. Yassı Tel Yaylar

Yassı tel yaylar, adından da anlaşılacağı gibi yassı telden oluşur ve dikdörtgen kesitlidir (Şekil 2.12.) [26]. Yassı telden üretilen yaylar yuvarlak telden üretilen yaylara göre daha yüksek enerji emilimi sağlar. Ayrıca yassı tel yayları bükülmeye karşı daha dirençlidir ve yuvarlak tel yayların aksine yüksek frekanslarda sürtünme kaynaklı martensit oluşumu ile karşılaşmazlar bu sayede daha uzun ömre sahiptirler [27].

Yassı tel yaylar enine kesit boyunca dikdörtgen kesitlere sahiptir ve bu kesitler yuvarlak tel yaylarından daha büyüktür. Bu dikdörtgen ve daha büyük kesitlerin bazı faydaları vardır [28].



Şekil 2.12. Dikdörtgen kesitli helisel yassı tel yay

Tasarımından dolayı yuvarlak tel yaylardan daha fazla enerji depolarlar ve daha fazla itme gücü verirler. Bu tür yaylar küçük bir alanda daha çok miktarda enerji depolayabilmeleri ile bilinmektedir [28]. Bu sayede daha yüksek yaylanma özelliğine sahip oldukları söylenebilir.

Bu yaylar sahip olduğu dikdörtgen kesitlerinden dolayı yuvarlak tel yaylara göre daha geniş kesit alanına sahiptirler. Bu sayede üzerlerine gelen darbeyi daha eşit bir şekilde dağıtabilir dolayısıyla aşınma daha az meydana gelir. Kesit alanı ne kadar küçük olursa yaylar daha fazla yıpranır ve daha erken değiştirilmesi gerekir. Yassı tel yerine getiren yaylar yuvarlak tel yaylara göre daha uzun ömürlüdür ve sık sık değiştirmek gerekmez [28]. Bu sayede daha yüksek uzun ömürlü oldukları söylenebilir.

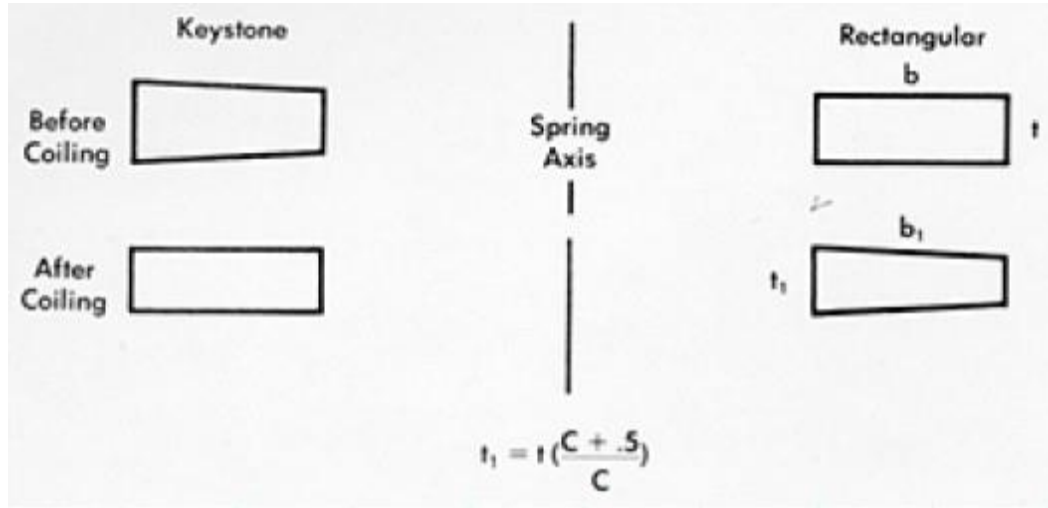
Yuvarlak telden üretilmiş yaylar yassı tel yaylar kadar hızlı açma ve kapama işlemi gerçekleştiremezler. Bu nedenle yassı tel yaylar daha düşük bir hata oranına sahiptirler. Ayrıca yassı tel yaylar düz tel yaylara oranla daha sürtünme ve burkulmaya daha dirençlidir. Bunun yanında sahip olduğu kesit sayesinde yuvarlak yaylara göre daha kısa boy tasarımıyla istenen kuvvetleri elde etmek mümkündür. Bunun sonucunda daha dar alanlarda kullanıma elverişlidir [28]. Bu sayede daha verimli oldukları söylenebilir.

Yerine getiren yaylar için basit geleneksel tasarım formülleri olmasına rağmen gerçekte bu yayların hesaplamaları nispeten karışıktır. En temel karışıklık uzun ve

ince bir yapıya sahip olduğu için burkulmaya müsait olmasıdır. Burkulmayı azaltabilmek için genelde yayın ortasından bir mil geçirilir. Bu seferde yayda mil yüzeyi ile sürtünmeli olarak bir miktar burkulma meydana gelir. Meydana gelen burkulmalar yay karakterine geometrik düzensizlik katar. Dolayısıyla, kuvvet-sapma ilişkisi doğrusal bir bağlantı yerine doğrusal olmayan bir bağlantı olarak görülür [2].

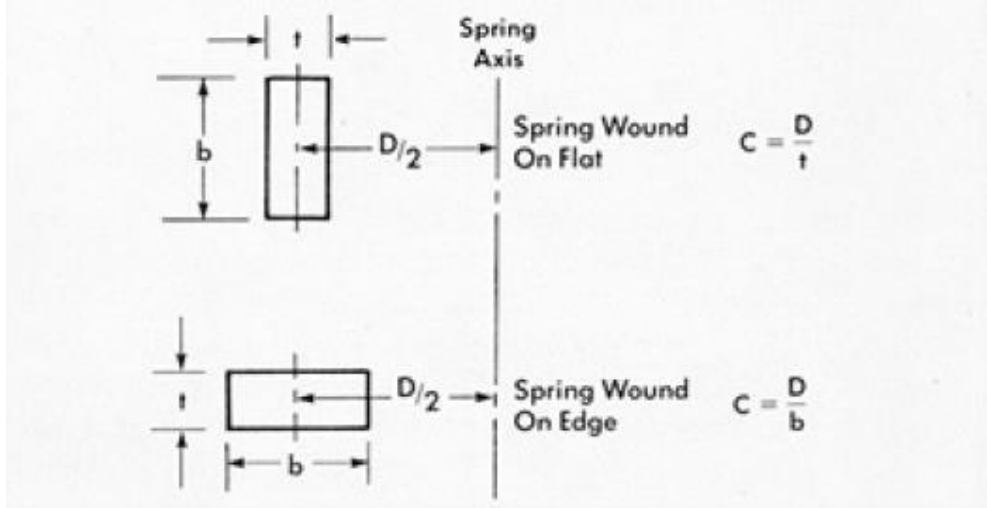
2.3.4.1 Yassı tel yayların hesap yöntemleri

Yassı tel yaylar dikdörtgen kesitlidir ve aynı değerlerde yuvarlak tel yaylardan daha küçük bir alanda daha fazla enerji depolar. Dikdörtgen kesit etrafındaki gerilme dağılımı yuvarlak tel kesitli yay ile aynı olmasa da, enerji depolama kapasitesi daha yüksektir, çünkü ayrılan alana daha fazla malzeme eklenebilir. Yassı tel yaylar yuvarlak tel yaylardan daha maliyetlidir. Kesitin biçim bozulması Şekil 2.13.'de sunulan denklemden hesaplanabilir. Bununla birlikte bozulma kullanılan imalat tekniğine bağlıdır ve bu denklem bir yaklaşımdır. Dikdörtgen kesitli yayların yay sıkışma yükseklikleri hesaplanırken, telin aksel boyut değişimi daima dikkate alınmalıdır [22].

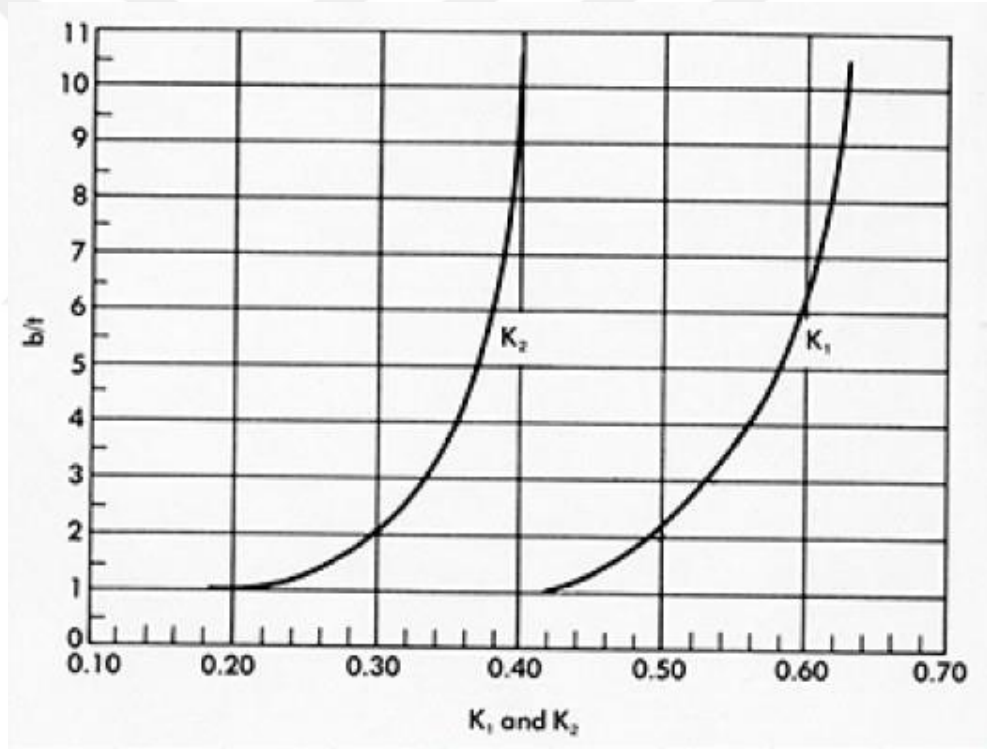


Şekil 2.13. Yassı tel yayın sarım öncesi ve sonrası biçim değişimi [22]

Yayın rijitlik oranı telin düz veya yan kenar üzerine sarılı olması durumunda oran aynıdır (Şekil 2.14.). Düzeltme faktörü K_2 sabiti için değerler Şekil 2.14.'de gösterilmektedir [22].

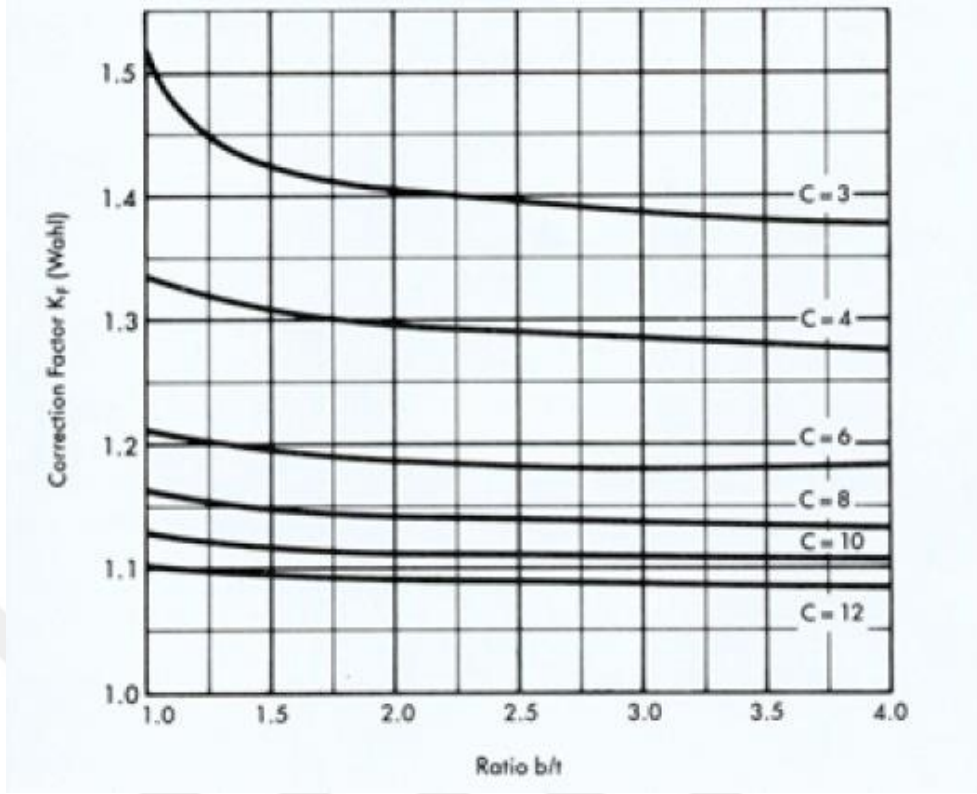


Şekil 2.14. Yassı tel yayın telin düz veya yan kenarı üzerine sarılması durumu [22]

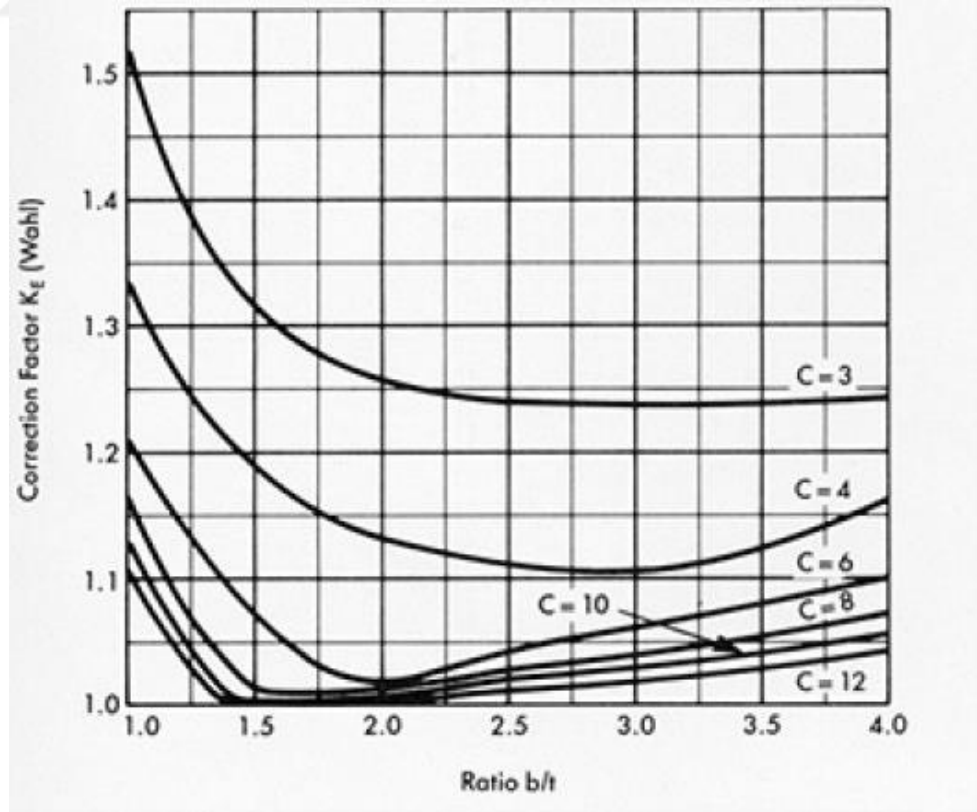


Şekil 2.15. Yassı tel yayın düzeltme faktörü [22]

K_1 değerleri Şekil 2.15.'de gösterilmiş olup, düz kenarı üzerine sarılmış yaylar (K_F) ve yan kenarı üzerine sarılmış yaylar (K_E) için gerilme düzeltme faktörü değerleri Şekil 2.16. ve Şekil 2.17.'de gösterilmektedir. Yassı tel yaylar yuvarlak tel yayların ezilmesi ile üretildiği için telin kesiti bir dikdörtgenden önemli ölçüde sapıyorsa, ek düzeltme faktörleri gerekir [22].



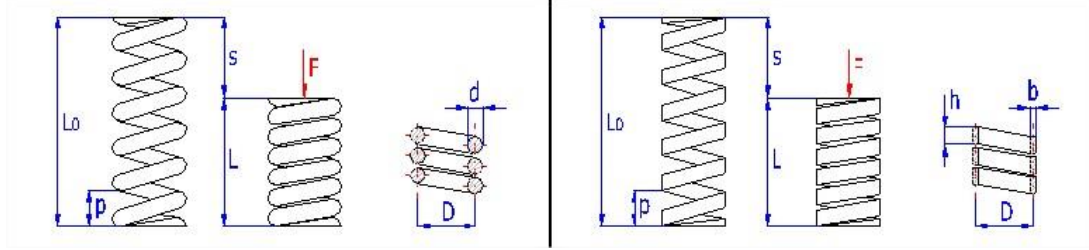
Şekil 2.16. Düz kenarı üzerine sarılmış yaylar (K_F) için gerilme düzeltme faktörü [22]



Şekil 2.17. Yan kenarı üzerine sarılmış yaylar (K_E) için gerilme düzeltme faktörü [22]

2.3.4.2 Karşılaştırmalı hesaplamalar

Yuvarlak ve yassı tel yayların karşılaştırmalı gösterimi Şekil 2.18. ve hesapları Tablo 2.2.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.18. Yuvarlak ve yassı tel yayların gösterimi [30]

Tablo 2.2. Yuvarlak ve yassı tel yayların genel hesap formülleri

Yuvarlak Tel Yaylar	Yassı Tel Yaylar
$S = \frac{8FnD^3}{Gd^4}$	$S = \frac{\varepsilon FnD^3}{Gb^2h^2}$
$\tau = K_s \frac{8FD}{\pi d^3}$	$\tau = \frac{\Psi FD}{bh\sqrt{bh}}$
$k = \frac{Gd^4}{8nD^3}$	$k = \frac{Gb^2h^2}{\varepsilon nD^3}$
$K_s = f(D/d)$	$\varepsilon = f(b/h) \quad \Psi = f(b/h, D/b)$

Burada;

c: Yay rijitlik oranı ($c = D / d$; $c = D / b$)

b: Tel genişliği (mm, in)

d: Tel çapı (mm, in)

D: Ortalama yay çapı (mm, in)

F: Yay kuvveti (N, lb)

G: Kayma modülü (MPa, psi)

h: Kesit yüksekliği (mm, in)

k: Yay sabiti (N / mm, lb / in)

K_s : Eğrilik düzeltme faktörü

L_0 : Serbest boy (mm, in)

L_s : Blok boy (mm, in)

n: aktif sarım sayısı

p: Sarımlar arasındaki adım (mm, in)

s: yay sapması (mm, in)

ϵ , Ψ : Şekil katsayısı (örneğin, DIN 2090)

τ : Yay malzemesinin burulma gerilmesi (MPa, psi)

Literatürde geri tepme yayı mekaniğinin analizi için bazı analitik yöntemler olmasına rağmen bu çalışmalar yayın burkulma ve çevresiyle etkileşiminin etkisini dikkate almamaktadır. Bununla birlikte, bu hesaplamalar sadece gerçek yerine getiren yay dinamikleri hakkında kabaca bir tahmin verebilirler çünkü birçok varsayıma dayanırlar [2].

BÖLÜM 3. UYGULAMA

Uygulama bölümü 3 ana başlık altında toplanmıştır. İlk kısımda testlerde kullanılacak tabanca modeline uygun yuvarlak ve yassı tel yerine getiren yay tasarımları yapılmıştır. İkinci kısımda tasarımı yapılan yayların numune üretimleri yapılmış ve tasarım değerlerine göre uygunluğu kontrol edilmiştir. Üçüncü kısımda numune üretilen yaylara baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanarak her iki yayda meydana gelen değişimler incelenmiştir.

3.1. Yay Tasarımı

Bu bölümde uygulama ve testlerde kullanacağımız örnek tabanca modeline ait yerine getiren yay çalışma aralıklarına uygun yuvarlak ve yassı tel yay tasarımları yapılacaktır.



Şekil 3.1. Çalışmalarda kullanılacak tabanca modeli [6]

Kullanılacak olan tabanca modeli ülkemiz kolluk kuvvetleri tarafından kadro silahı olarak da kullanılan polimer gövdeli, 9x19 mm kalibre bir tabancadır (Şekil 3.1.). Silahlarda kullanılan yerine getiren yay silahın çalışma sistemi fark etmeksizin (tam otomatik, yarı otomatik, kısa geri tepmeli, gazlı, gaz pistonlu, inertial, havalı vs.) ateşleme mekanizmasının hayati parçalarından biridir. Şarjörden dolu fişegin alınarak namluya sürülmesinde ve patlama sonrası oluşan şoku absorbe ederek kullanıcının aldığı geri tepme kaynaklı etkiyi azaltmakta görevlidir. Bu sayede atış döngüsünün devamlılığı sağlanmaktadır.

Tabancaya uygun yay tasarımını gerçekleştirebilmemiz için yayın tabanca üzerinde ki çalışma aralıklarını bilmemiz gerekmektedir. Tabanca incelendiğinde yerine getiren yay Şekil 3.2.'da gösterilen ve yayın sağa sola kaymadan ve burulmadan düzgün bir şekilde durmasını sağlayan, yerine getiren yay mili diye adlandırılan bir mile geçirilerek tabancanın kapak parçası üzerine montajlanmaktadır (Şekil 3.3.). Bu nedenle bu milin ve milin takılacağı kapak parçasının ölçülerinin de yay tasarımını gerçekleştirebilmek için bilinmesi gerekmektedir. Bu ölçüler silah üzerinde ölçülerek belirlenmiş ve üç boyutlu model olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

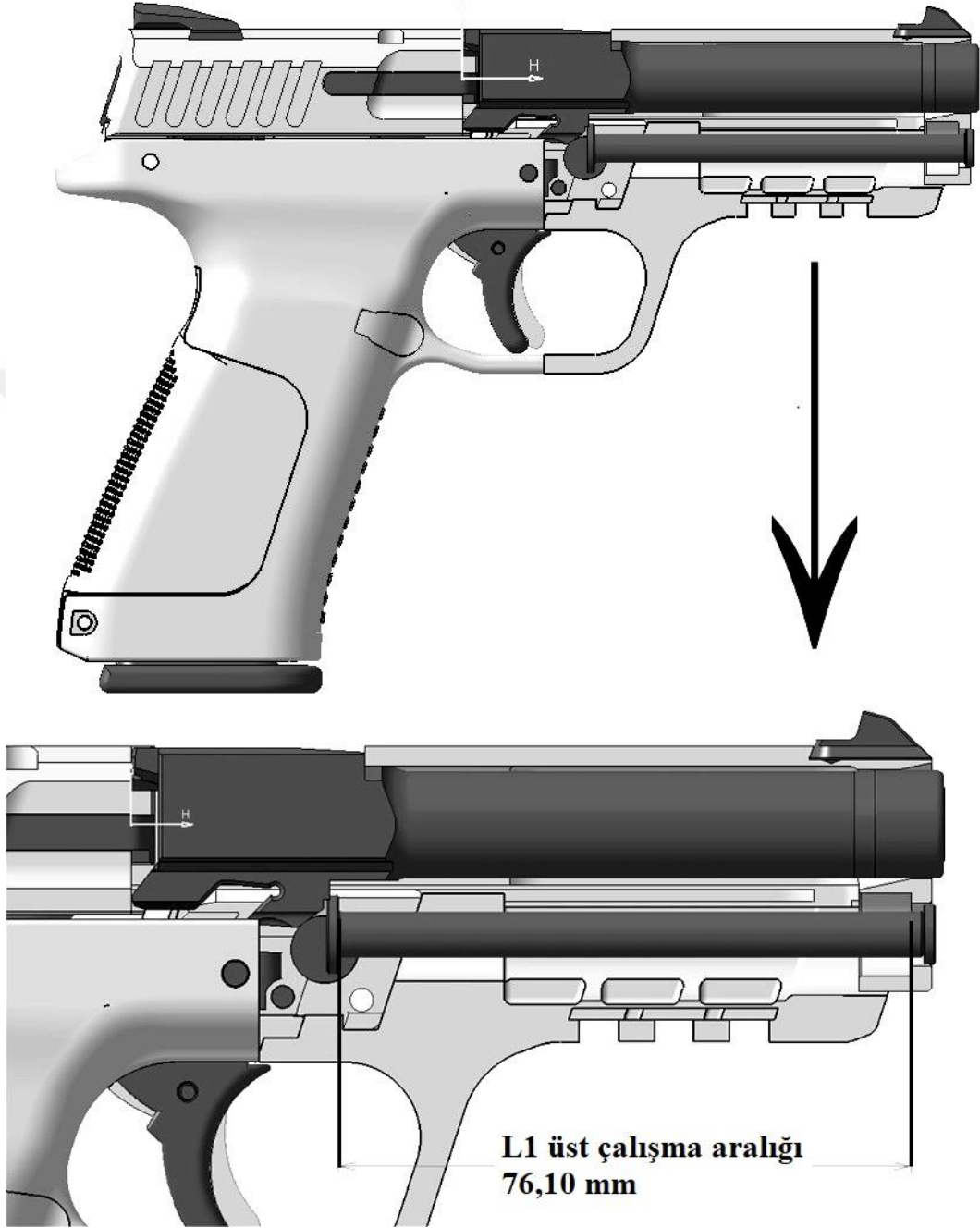


Şekil 3.2. Yerine getiren yay ve yayın montajlandığı mil

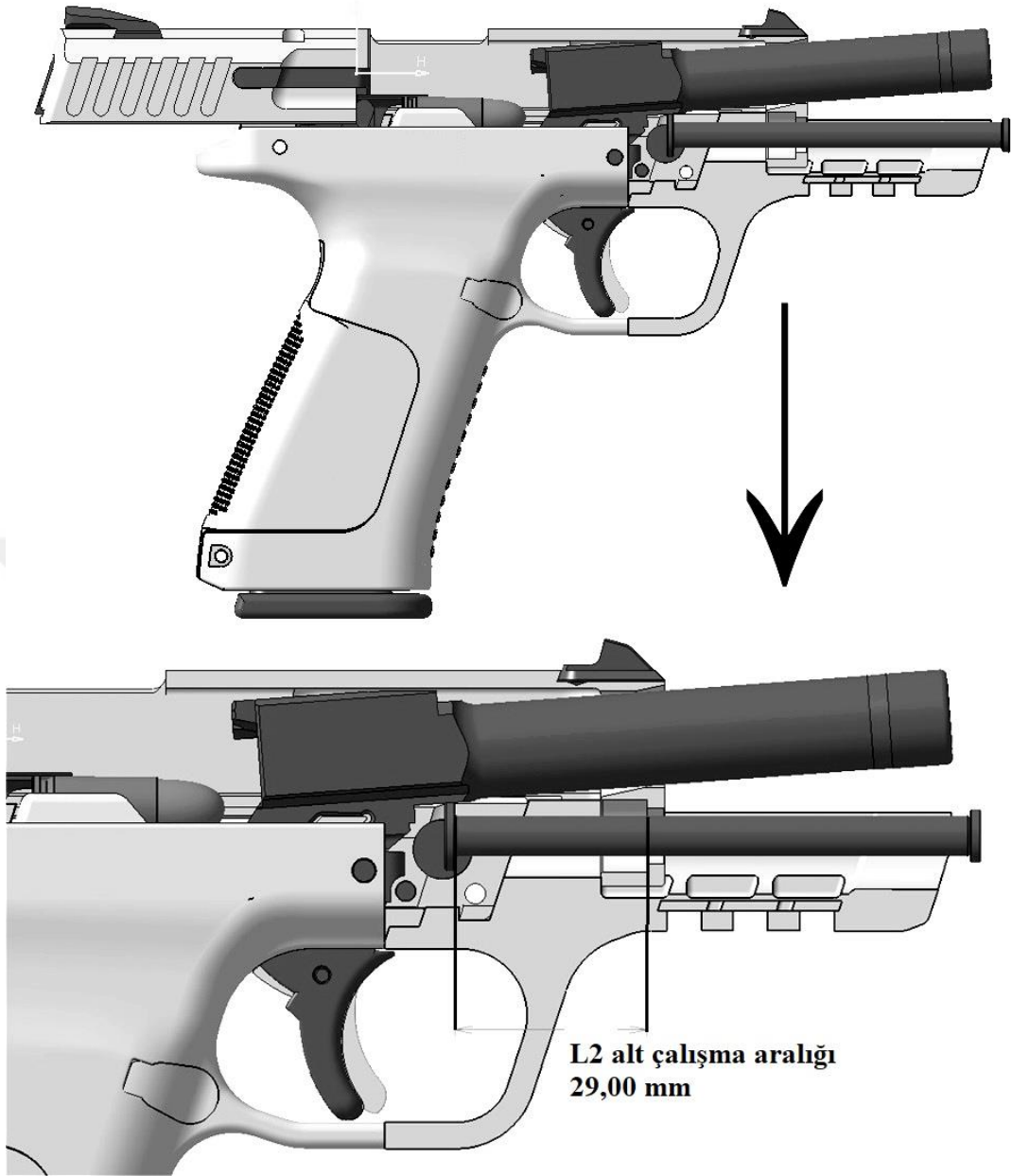


Şekil 3.3. Yerine getiren yayın tabanca kapak parçası üzerinde montaj hali [5]

Yerine getiren yay tasarımında kullanacağımız L_1 üst çalışma aralık değeri Şekil 3.4.'de ve L_2 alt çalışma aralık değeri Şekil 3.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak üst çalışma aralığı değeri

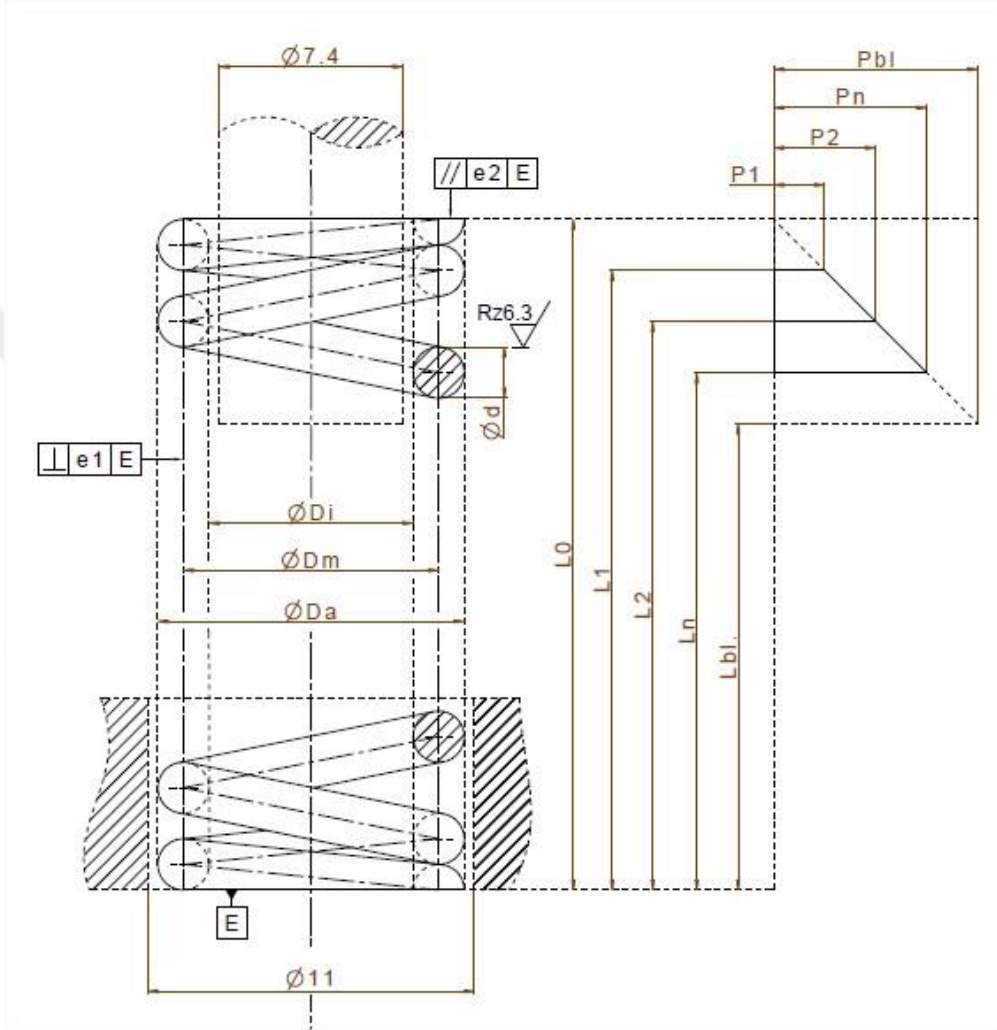


Şekil 3.5. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak alt çalışma aralığı değeri

Yerine getiren yayda beklenenin üzerinde meydana gelen kuvvet kayıpları tabancanın hata yapmasına veya çalışmaz duruma gelmesine neden olabilmektedir. Çok güçlü yay düşük basınçlı fişeklerde kapağın geri gelememesi dolayısıyla silahın tekrar kurulamaması ihtimalini doğurabilir. Çok düşük yay sabitine sahip bir yay ise silahın şahlanmasına, geri tepme kuvvetinin artmasına ve silahın tekrar kurulmasında gecikmelere neden olabilmektedir. Ayrıca dengesiz bir yerine getiren yay fişek

dikme, boş kovani atamama, düzensiz boş kovani atışı, kapağın oturmaması/geri gelmemesi, fişegi patlatamama gibi temel atış sorunlarının kaynağı olabilmektedir.

3.1.1. Yuvarlak Tel Yerine Getiren Yay Tasarımı

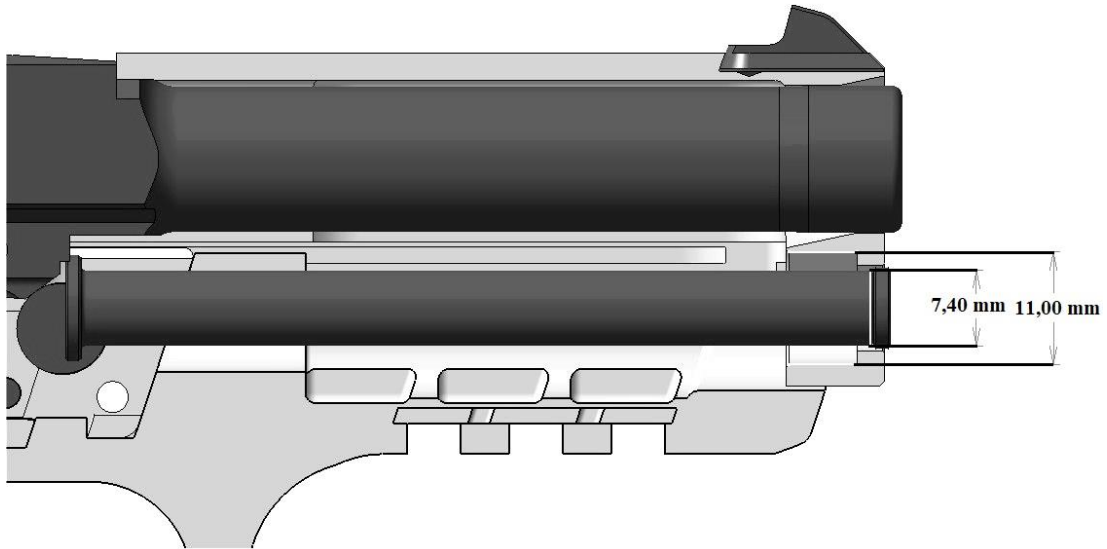


Şekil 3.6. Yuvarlak tel yerine getiren yay kesit gösterimi

Şekil 3.6.'da kesit görünümü bulunan, tabancada kullanılacak yuvarlak tel yerine getiren yay tasarımını gerçekleştirebilmek için yayın çalışacağı L_1 ve L_2 çalışma değerleri Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'te gösterilmişti. Yay tasarımını gerçekleştirebilmek için silahta patlama sonrası oluşan basıncı sönmüleyebilecek bir alt çalışma aralığı yay kuvvetinin de (P_2) bilinmesi gerekmektedir.

P_2 değeri silahın kalibresine, namlu boyuna ve ateşleme sistemine göre değişebilmektedir. Testlerde kullanılacak tabanca 9x19 mm kalibre ve 108 mm namlu boyuna sahip olup iğne ateşlemeli sisteme sahiptir. Bu tabanca için kullanılan yerine getiren yay P_2 kuvvetinin yaklaşık olarak 7,00 kgf olduğu testlerde kullanabilmek için elimizde bulunan örnek tabancanın yerine getiren yay kuvveti ölçülerek belirlenmiştir.

Tabancada kullanılan yerine getiren yayın gireceği milin çap ölçüleri ve kapak parçasında yayın gireceği deliğin çap ölçüleri tasarlanacak yayın iç ve dış çap ölçülerinin belirlenmesi için bilinmesi gerekmektedir. Bu ölçümler silah üzerinde yapılmış olup Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak çap ölçüleri

Yapılan ölçümler sonucu yay tasarımında kullanacağımız ve değerleri bilinen parametreler değerler şu şekildedir;

L_1 (üst çalışma aralığı): 76,10 mm

L_2 (alt çalışma aralığı): 29,00 mm

P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti): 7,00 kgf

D_i (iç çap): > 7,40 mm

D_a (dış çap): < 11,00 mm

Sarım yönünün sağ olması ve uçlarına kapatma ve yüzeylere dik ve düzgün bir şekilde oturması için taşlama işleminin yapılmış olması istenmektedir.

Yay tasarımın gerçekleştirilmesi için;

d (tel çapı)

D_i (iç çap)

D_a (dış çap)

L_0 (serbest boy)

P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti)

\dot{I}_g (toplam sarım sayısı)

\dot{I}_f (yaylanan sarım sayısı)

değerlerinin önceden bilinen yay ölçü parametrelerinin dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir.

Yay tasarımında yapacağımız hesaplamaları doğrulamak için ‘The Institute of Spring Technology’ tarafından geliştirilen ‘IST Spring Calculator’ yazılımı kullanılacaktır. Bu sayede numune üretiminde daha hızlı ve daha doğru sonuç alınması amaçlanmıştır [31].

İlk etapta bilinen tasarım değerleri olan yayın malzeme bilgisi, yay uçlarının kapalı ve taşlanmış olması kriteri, L_1 ve L_2 çalışma aralıkları yazılımda ilgili bölümlere girilmiştir (Şekil 3.8.). Sonra ki aşamada bu kriterlerle beraber P_2 kuvvet değeri olan 7,00 kgf değerini sağlayacak şekilde diğer kriterler belirlenecektir.

Yapılan hesaplamalar sonucu P_2 kuvvet değeri olan 7,00 kgf değerini sağlayan yay tasarım kriterleri belirlenmiş olup Şekil 3.9.’de gösterilmiştir.

Spring Validation

Required Data

Material: ASTM A401 SiCr

End Type: Closed and Ground

Dead Coils: 2 Tip Thickness: 50 %

End Fixation: Both Ends Fixed and Guided

Design Parameters

Set Free Length + 3 Other Parameters

Wire Diameter: mm

Outside Diameter: ? mm

Total Coils:

Spring Rate: N/mm

Free Length: mm **Reset**

Operating Data

	Operating Positions			
	1	2	3	4
Length	76,10	29,00		
Load		7,00 kgf		
Deflection				
Stress				
Stress % Solid				

Şekil 3.8. Bilinen yay değerlerinin yazılıma aktarılması

Spring Validation

Required Data

Material: ASTM A401 SiCr

End Type: Closed and Ground

Dead Coils: 2 Tip Thickness: 50 %

End Fixation: Both Ends Fixed and Guided

Design Parameters

Set Free Length + 3 Other Parameters

Wire Diameter: 1,05 mm

Inside Diameter: ? 7,70 mm

Total Coils: 22,50

Spring Rate: 0,877 N/mm

Free Length: 107,00 mm **Reset**

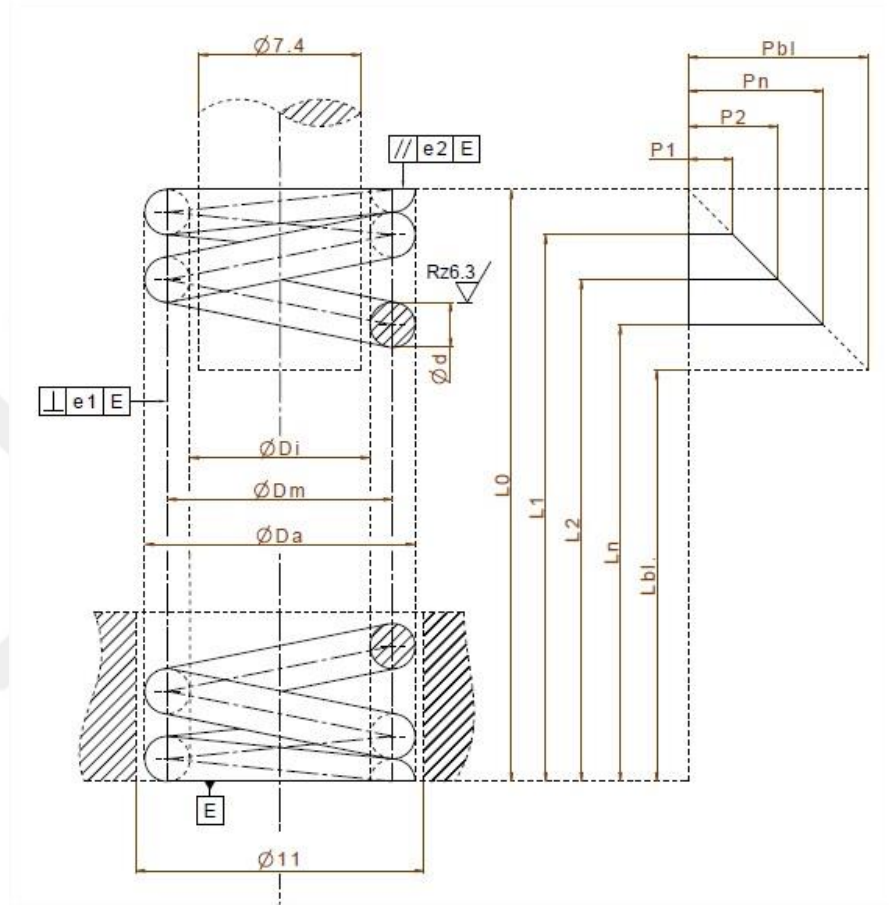
Operating Data

	Operating Positions			
	1	2	3	4
Length	76,10	29,00		
Load	27,11	68,42		
Deflection	30,90	78,00		
Stress	522	1317		
Stress % Solid	37	94		

Şekil 3.9. Yay değerlerinin yazılımda doğrulanması

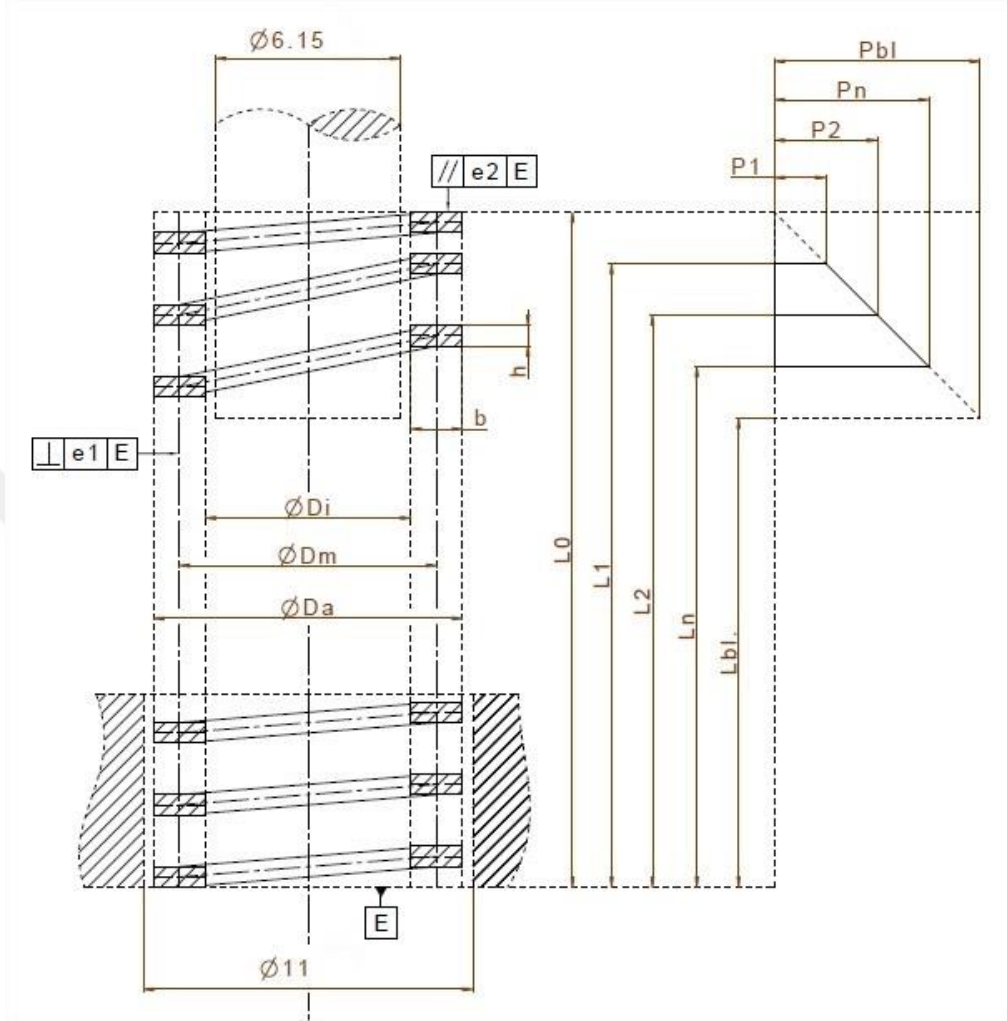
Sonuç olarak hesaplanan yuvarlak tel yerine getiren yay tasarım değerleri Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Hesaplanmış yuvarlak tel yerine getiren yay değerleri



Malzeme	ASTM A401	L₂ (alt çalışma aralığı)	29,00 mm
d (tel çapı)	1,05 mm	P₁ (üst çalışma aralığı yay kuvveti)	2,80 kgf (27,10 N)
D_i (iç çap)	7,70 mm	P₂ (alt çalışma aralığı yay kuvveti)	6,95 kgf (68,40 N)
D_a (dış çap)	9,80 mm	İ_g (toplam sarım sayısı)	22,50 sarım
L₀ (serbest boy)	107,00 mm	İ_f (yaylanan sarım sayısı)	20,50 sarım
L_{bl} (blok boy)	23,65 mm	Sarım yönü	Sağ
L₁ (üst çalışma aralığı)	76,10 mm	Uç yapısı	Kapatma ve Taşlama

3.1.2. Yassı Tel Yerine Getiren Yay Tasarımı

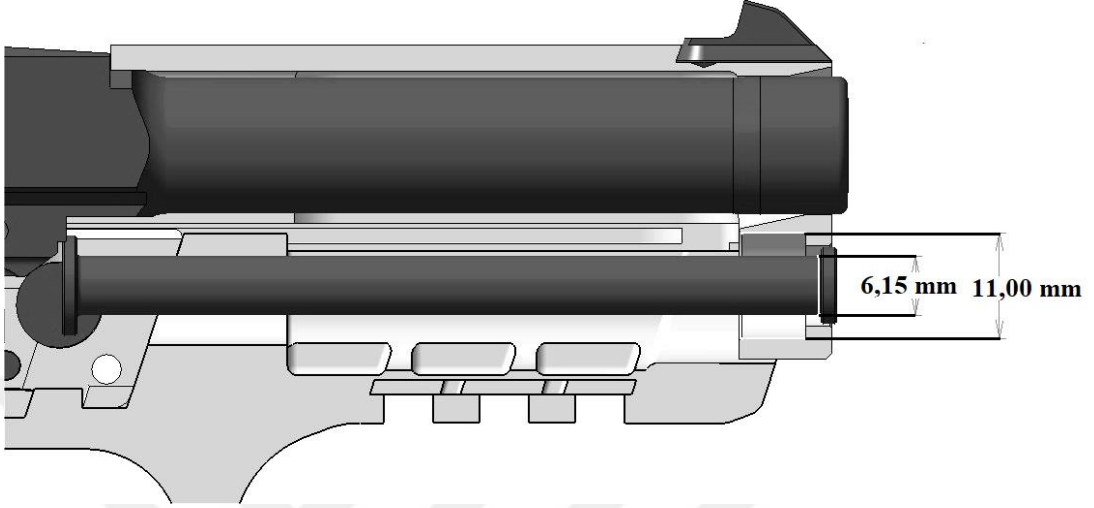


Şekil 3.10. Yassı tel yerine getiren yay kesit gösterimi

Şekil 3.10.'da kesit görünümü bulunan, tabancada kullanılacak yassı tel yerine getiren yay tasarımını gerçekleştirebilmek için yayın çalışacağı L_1 ve L_2 çalışma değerleri Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.

Tabancada kullanılan yerine getiren yayın gireceği milin çap ölçüleri ve kapak parçasında yayın gireceği deliğin çap ölçüleri tasarlanacak yayın iç ve dış çap ölçülerinin belirlenmesi için bilinmesi gerekmektedir. Yassı tel yayın kesit genişliği yuvarlak tel yayın tel kalınlığından büyük olacağı için yassı tel yay için kullanılacak

milin çapı daha küçük olacaktır. Bu şekilde P_2 değeri olan 7,00 kgf sağlanmaya çalışılacaktır. Belirlenen ölçümler Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak çap ölçüleri

Yapılan ölçümler sonucu yay tasarımında kullanacağımız ve değerleri bilinen parametreler değerler şu şekildedir;

L_1 (üst çalışma aralığı): 76,10 mm

L_2 (alt çalışma aralığı): 29,00 mm

P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti): 7,00 kgf

D_i (iç çap): > 6,15 mm

D_a (dış çap): < 11,00 mm

Sarım yönünün sağ olması ve uçlarına kapatma ve yüzeylere dik ve düzgün bir şekilde oturması için taşlama işleminin yapılmış olması istenmektedir.

Yay tasarımının gerçekleştirilmesi için;

h (tel kesit yüksekliği)

b (tel kesit genişliği)

D_i (iç çap)

D_a (dış çap)

L_0 (serbest boy)

P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti)

I_g (toplam sarım sayısı)

I_f (yaylanan sarım sayısı)

değerlerinin önceden bilinen yay ölçü parametrelerinin dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir.

Yay tasarımında yapacağımız hesaplamaları doğrulamak için ‘The Institute of Spring Technology’ tarafından geliştirilen ‘IST Spring Calculator’ yazılımı kullanılacaktır. Bu sayede numune üretiminde daha hızlı ve daha doğru sonuç alınması amaçlanmıştır [31].

İlk etapta bilinen tasarım değerleri olan yayın malzeme bilgisi, yay uçlarının kapalı ve taşlanmış olması kriteri, L_1 ve L_2 çalışma aralıkları yazılımda ilgili bölümlere girilmiştir (Şekil 3.12.). Sonra ki aşamada bu kriterlerle beraber P_2 kuvvet değeri olan 7,00 kgf değerini sağlayacak şekilde diğer kriterler belirlenecektir.

Yapılan hesaplamalar sonucu P_2 kuvvet değeri olan 7,00 kgf değerini sağlayan yay tasarım kriterleri belirlenmiş olup Şekil 3.13.’de gösterilmiştir.

Spring Validation

Required Data

Material: ASTM A401 SiCr

End Type: Closed and Ground

Dead Coils: 2 Tip Thickness: 50 %

End Fixation: Both Ends Fixed and Guided

Design Parameters

Set Free Length + 4 Other Parameters

Axial Thickness: mm

Radial Width: mm

Outside Diameter: ? mm

Total Coils:

Spring Rate: N/mm

Free Length: mm

Operating Data

	Operating Positions			
	1	2	3	4
Length	76,10	29,00		
Load		7,00 kgf		
Deflection				
Stress				

Şekil 3.12. Bilinen yay değerlerinin yazılıma aktarılması

Spring Validation

Required Data

Material: ASTM A401 SiCr

End Type: Closed and Ground

Dead Coils: 2 Tip Thickness: 50 %

End Fixation: Both Ends Fixed and Guided

Design Parameters

Set Free Length + 4 Other Parameters

Axial Thickness: 0,550 mm

Radial Width: 2,00 mm

Inside Diameter: ? 6,40 mm

Total Coils: 31,00

Spring Rate: 0,583 N/mm

Free Length: 146,00 mm

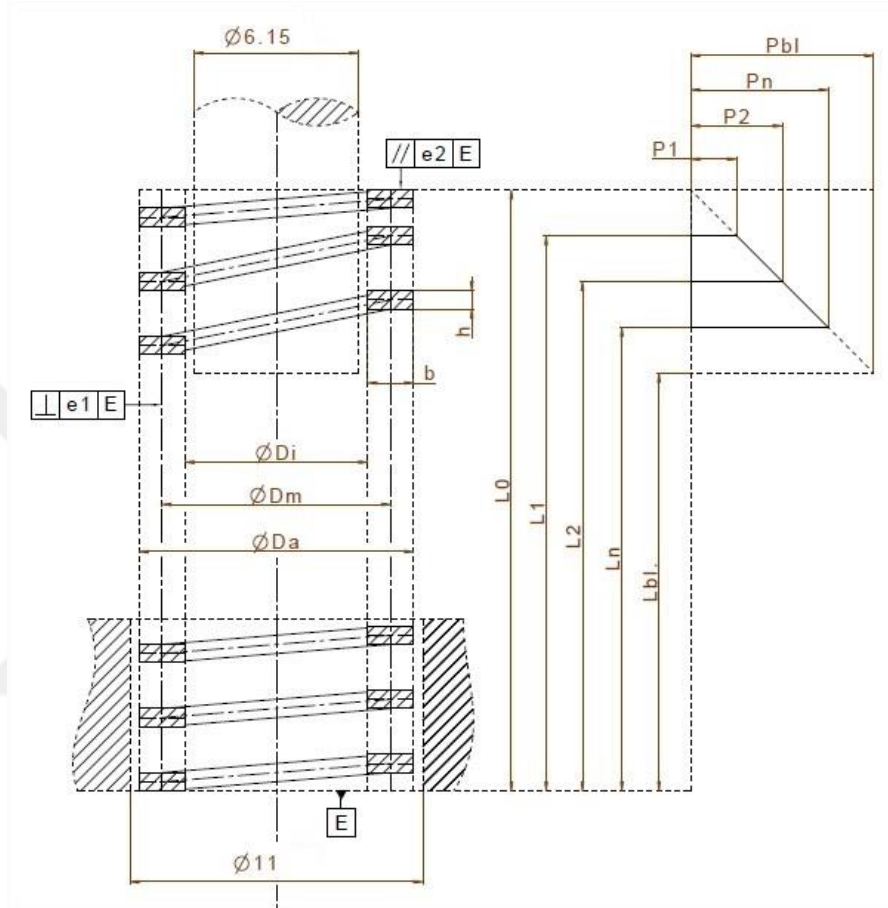
Operating Data

	Operating Positions			
	1	2	3	4
Length	76,10	29,00		
Load	40,75	68,21		
Deflection	69,90	117,00		
Stress	1089	1824		

Şekil 3.13. Yay değerlerinin yazılımda doğrulanması

Sonuç olarak hesaplanan yassı tel yerine getiren yay tasarım değerleri Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

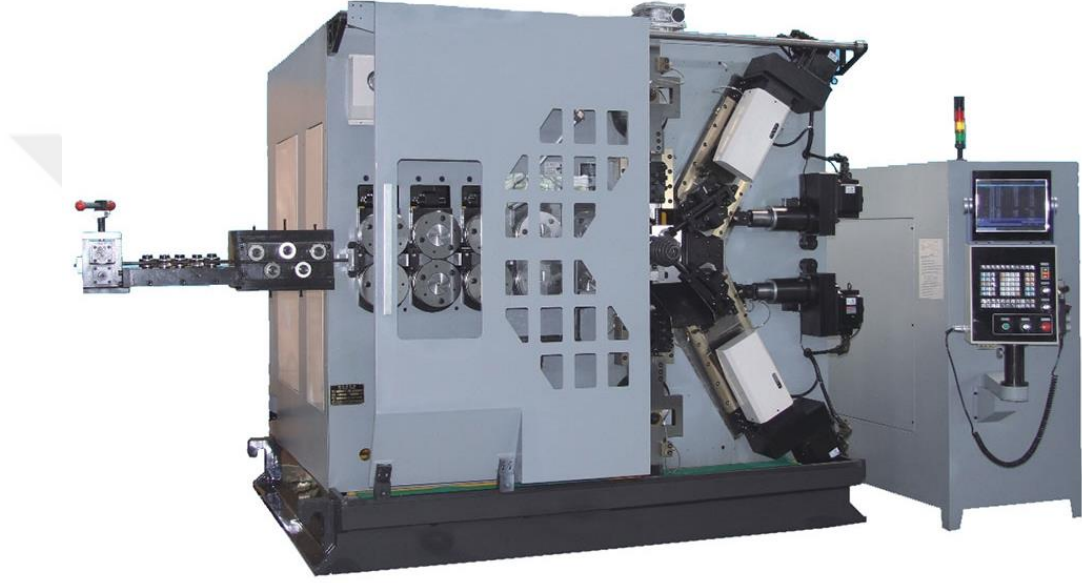
Tablo 3.2. Hesaplanmış yassı tel yerine getiren yay değerleri



Malzeme	ASTM A401	L₂ (alt çalışma aralığı)	29,00 mm
h (tel kesit yüksekliği)	0,55 mm	P₁ (üst çalışma aralığı yay kuvveti)	4,15 kgf (40,75 N)
b (tel kesit genişliği)	2,00 mm	P₂ (alt çalışma aralığı yay kuvveti)	6,95 kgf (68,20 N)
D_i (iç çap)	6,40 mm	İ_g (toplam sarım sayısı)	31,00 sarım
D_a (dış çap)	10,40 mm	İ_f (yaylanan sarım sayısı)	29,00 sarım
L₀ (serbest boy)	146,00 mm	Sarım yönü	Sağ
L_{bl} (blok boy)	17,05 mm	Uç yapısı	Kapatma ve Taşlama
L₁ (üst çalışma aralığı)	76,10 mm		

3.2. Numune Üretimi

Belirlenen tasarım çıktıları kullanılarak yuvarlak ve yassı tel yerine getiren yay numunelerinin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretim bu alanda faaliyet gösteren bir firma ile beraber yapılmıştır. Üretimde CNC yay makineleri kullanılmıştır (Şekil 3.14.).



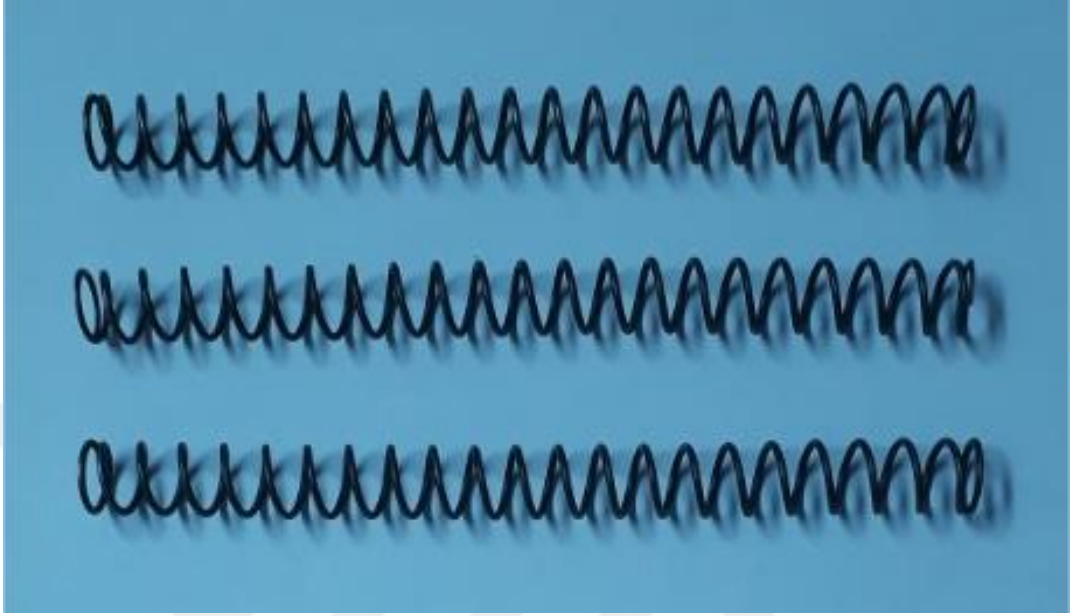
Şekil 3.14. CNC yay makinesi görseli

Yay üretimi yapılırken yayların performanslarını kıyaslamada kullanacağımız alt çalışma aralığı yay kuvveti olan P_2 kuvvetini sağlamak esas alınmıştır. Bu nedenle bazı yay tasarım değerlerinde değişiklik ihtiyacı doğmuştur. Bunun nedeni olarak üretimde kullanılan malzeme, yay teli ve tezgâh toleranslarının etkili olduğu düşünülmektedir.

3.2.1. Yuvarlak Tel Yerine Getiren Yay Numunesi

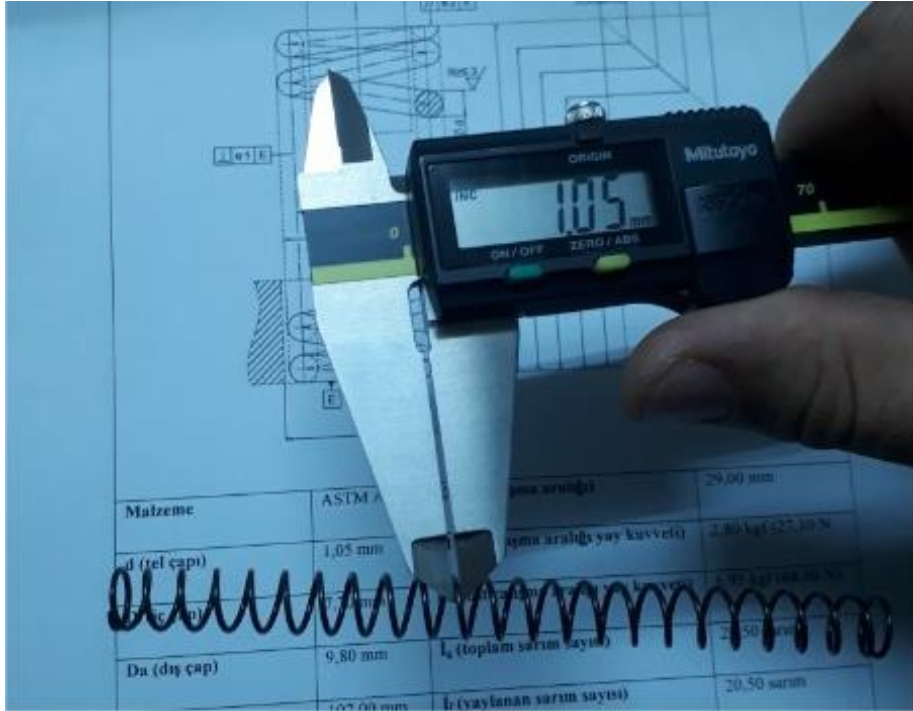
Hesaplanan yuvarlak tel yerine getiren yay tasarım değerleri Tablo 3.1.'de gösterildiği şekilde üretim için ele alınmıştır. Bu değerler kullanılarak P_2 kuvveti olan 6,95 kgf değerini sağlayan yay üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılmış yaylar

ölçülerek uygunluk onayı verilmiştir (Şekil 3.15.). Bir adet numune ölçümü resimlenerek gösterilmiştir.



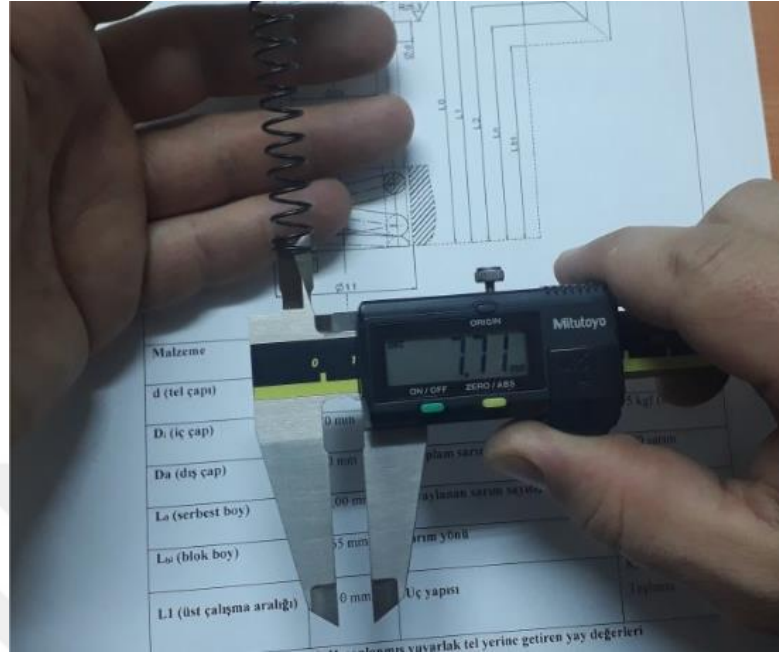
Şekil 3.15. Üretilen numune yuvarlak tel yerine getiren yaylar

Numune yayın tel çapı (d) 1,05 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay tel çap (d) değeri

Numune yayın iç çapı (D_i) 7,71 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.17.).



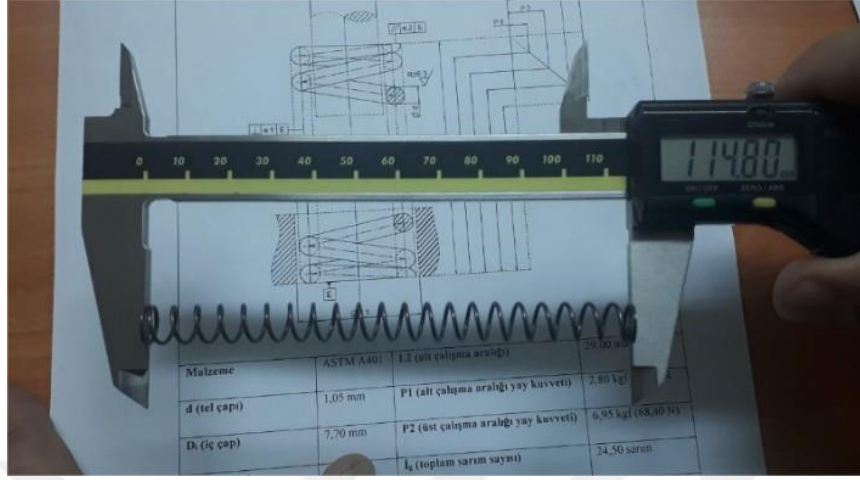
Şekil 3.17. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay iç çap (D_i) değeri

Numune yayın dış çapı (D_a) 9,81 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay dış çap (D_a) değeri

Numune yayın serbest boyu (L_0) 114,80 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay serbest boy (L_0) değeri

Numune yayın üst çalışma aralığı yay kuvveti (P_1) L_1 değeri olan 76,10 mm'de 3,05 kgf olarak ölçülmüştür (Şekil 3.20.).



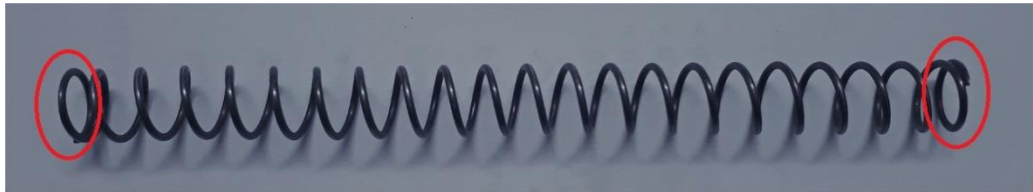
Şekil 3.20. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay üst çalışma aralığı (P_1) değeri

Numune yayın alt çalışma aralığı yay kuvveti (P_2) L_2 değeri olan 29,00 mm'de 6,95 kgf olarak ölçülmüştür (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay alt çalışma aralığı (P_2) değeri

Numune yayın sarım yönünün sağ ve uç kısımlarında kapatma ve taşlama işlemlerinin yapılmış olduğu kontrol edilmiştir. (Şekil 3.22.).



Şekil 3.22. Numune yuvarlak tel yerine getiren yayın sarım yönü ve uç yapısı görseli

Numune yayın toplam sarım sayısının 22,50 sarım ve yaylanan sarım sayısının 20,50 sarım olduğu kontrol edilmiştir.

Yaptığımız yay tasarım değerleri ile üretilen numune yay üzerinden ölçülen değerlerin karşılaştırılmış hali Tablo 3.3.'de gösterilmiştir. Üretim yapılırken yayların performanslarını kıyaslamada kullanacağımız alt çalışma aralığı yay kuvveti olan P_2 kuvvetini sağlamak esas alınmıştır.

Tablo 3.3. Hesaplanmış ve numune yuvarlak tel yerine getiren yay değerleri

	TASARIM DEĞERİ	NUMUNE DEĞERİ
Malzeme	ASTM A401	ASTM A401
d (tel çapı)	1,05 mm	1,05 mm
D_i (iç çap)	7,70 mm	7,71 mm
D_a (dış çap)	9,80 mm	9,81 mm
L_0 (serbest boy)	107,00 mm	114,80 mm
L_1 (üst çalışma aralığı)	76,10 mm	76,10 mm
L_2 (alt çalışma aralığı)	29,00 mm	29,00 mm
P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti)	2,80 kgf	3,05 kgf
P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti)	6,95 kgf	6,95 kgf
I_g (toplam sarım sayısı)	22,50 sarım	22,50 sarım
I_f (yaylanan sarım sayısı)	20,50 sarım	20,50 sarım
Sarım yönü	Sağ	Sağ
Uç yapısı	Kapatma ve Taşlama	Kapatma ve Taşlama

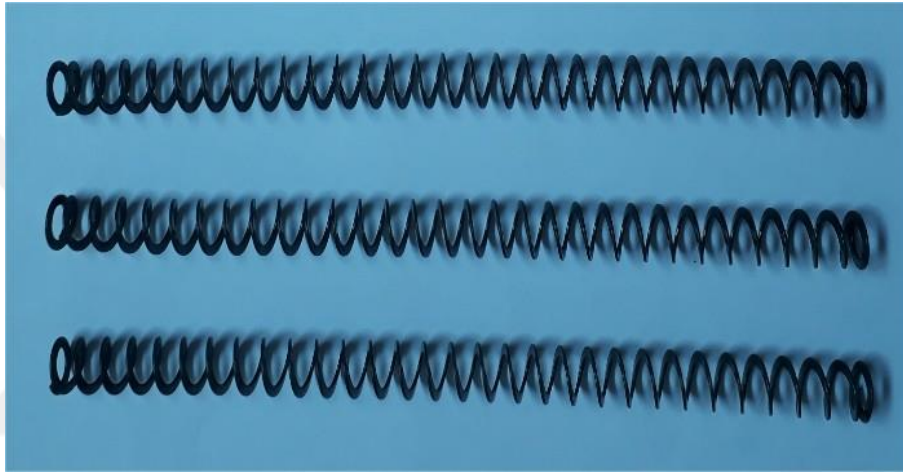
Numune yayların tamamı ölçülmüş olup çalışmalar sonucu incelemelerde kullanacağımız değerlerin ölçüm sonuçları Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Numune yuvarlak tel yerine getiren yay değerleri

	L_0 (mm)	P_1 (kgf)	P_2 (kgf)
1. NUMUNE	114,70	3,05	6,95
2. NUMUNE	114,80	3,05	6,95
3. NUMUNE	114,90	3,06	6,91
4. NUMUNE	115,10	3,06	6,93
5. NUMUNE	115,50	3,10	6,98
6. NUMUNE	115,10	3,02	6,91
7. NUMUNE	114,60	3,03	6,95
8. NUMUNE	115,10	3,08	7,00
9. NUMUNE	114,70	3,04	6,94
10. NUMUNE	114,40	3,02	6,93
ORTALAMA	114,89	3,05	6,95

3.2.2. Yassı Tel Yerine Getiren Yay Numunesi

Hesaplanan yassı tel yerine getiren yay tasarım değerleri Tablo 3.2.'de gösterildiği şekilde üretim için ele alınmıştır. Bu değerler kullanılarak P_2 kuvveti olan 6,95 kgf değerini sağlayan yay üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılmış yaylar ölçülerek uygunluk onayı verilmiştir (Şekil 3.23.). Ayrıca numune yay kesilmiş ve profil projeksiyon cihazında 10 kat büyütülerek dikdörtgen kesit görüntüsü kontrol edilmiştir (Şekil 3.24.). Bir adet numune ölçümü resimlenerek gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Üretilen numune yassı tel yerine getiren yaylar



Şekil 3.24. Numune yassı tel yerine getiren yay büyütülmüş tel kesit görüntüsü

Numune yayın tel kesit yüksekliği (h) 0,55 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.25.).



Şekil 3.25. Numune yassı tel yerine getiren yay tel kesit yüksekliği (h) değeri

Numune yayın tel kesit genişliği (b) 2,00 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.26.).



Şekil 3.26. Numune yassı tel yerine getiren yay tel kesit genişliği (b) değeri

Numune yayın iç çapı (D_i) 6,46 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.27.).



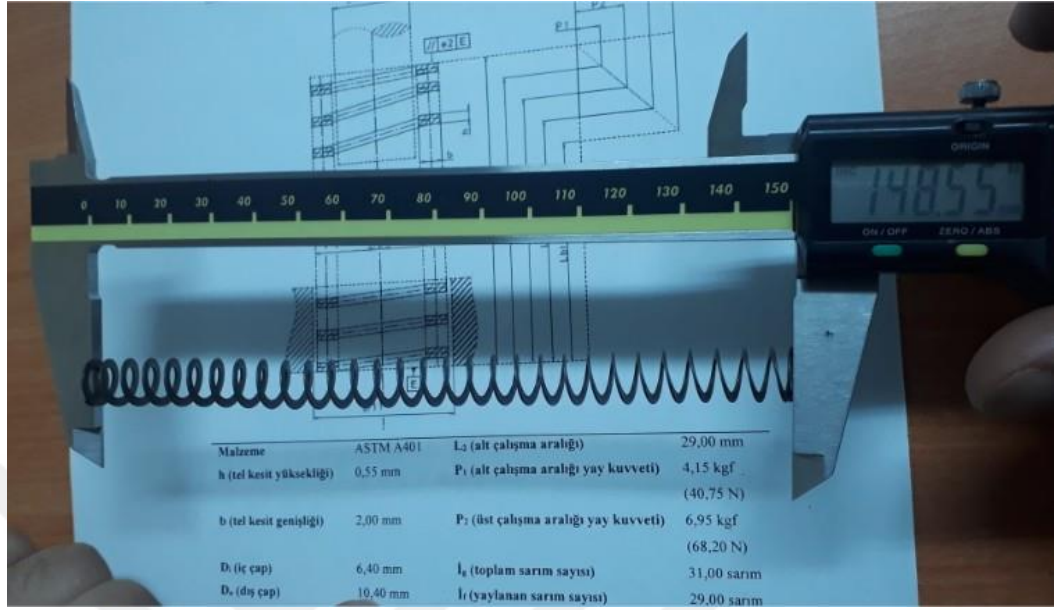
Şekil 3.27. Numune yassı tel yerine getiren yay iç çap (D_i) değeri

Numune yayın dış çapı (D_a) 10,68 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.28.).



Şekil 3.28. Numune yassı tel yerine getiren yay dış çap (D_a) değeri

Numune yayın serbest boyu (L_0) 148,55 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.29.).



Şekil 3.29. Numune yassı tel yerine getiren yay serbest boy (L_0) değeri

Numune yayın üst çalışma aralığı yay kuvveti (P_1) L_1 değeri olan 76,10 mm'de 4,09 kgf olarak ölçülmüştür (Şekil 3.30.).



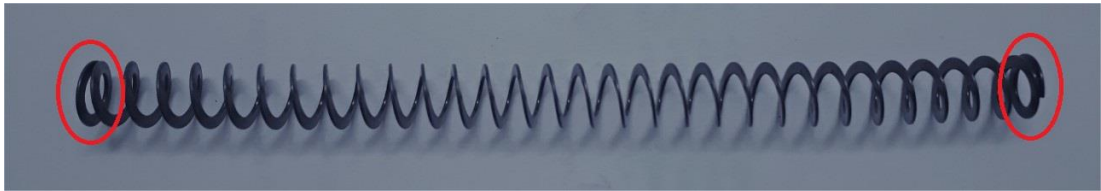
Şekil 3.30. Numune yassı tel yerine getiren yay üst çalışma aralığı (P_1) değeri

Numune yayın alt çalışma aralığı yay kuvveti (P_2) L_2 değeri olan 29,00 mm'de 6,93 kgf olarak ölçülmüştür (Şekil 3.31.).



Şekil 3.31. Numune yassı tel yerine getiren yay alt çalışma aralığı (P_2) değeri

Numune yayın sarım yönünün sağ ve uç kısımlarında kapatma ve taşlama işlemlerinin yapılmış olduğu kontrol edilmiştir. (Şekil 3.32.).



Şekil 3.32. Numune yassı tel yerine getiren yayın sarım yönü ve uç yapısı görseli

Numune yayın toplam sarım sayısının 31,00 sarım ve yaylanan sarım sayısının 29,00 sarım olduğu kontrol edilmiştir.

Yaptığımız yay tasarım değerleri ile üretilen numune yay üzerinden ölçülen değerlerin karşılaştırılmış hali Tablo 3.5.'de gösterilmiştir. Üretim yapılırken

yayların performanslarını kıyaslamada kullanacağımız alt çalışma aralığı yay kuvveti olan P_2 kuvvetini sağlamak esas alınmıştır.

Tablo 3.5. Hesaplanmış ve numune yassı tel yerine getiren yay değerleri

	TASARIM DEĞERİ	NUMUNE DEĞERİ
Malzeme	ASTM A401	ASTM A401
h (tel kesit yüksekliği)	0,55 mm	0,55 mm
b (tel kesit genişliği)	2,00 mm	2,00 mm
D_i (iç çap)	6,40 mm	6,46 mm
D_a (dış çap)	10,40 mm	10,68 mm
L₀ (serbest boy)	146,00 mm	148,55 mm
L₁ (üst çalışma aralığı)	76,10 mm	76,10 mm
L₂ (alt çalışma aralığı)	29,00 mm	29,00 mm
P₁ (üst çalışma aralığı yay kuvveti)	4,15 kgf	4,09 kgf
P₂ (alt çalışma aralığı yay kuvveti)	6,95 kgf	6,93 kgf
İ_g (toplam sarım sayısı)	31,00 sarım	31,00 sarım
İ_f (yaylanan sarım sayısı)	29,00 sarım	29,00 sarım
Sarım yönü	Sağ	Sağ
Uç yapısı	Kapatma ve Taşlama	Kapatma ve Taşlama

Numune yayların tamamı ölçülmüş olup çalışmalar sonucu incelemelerde kullanacağımız değerlerin ölçüm sonuçları Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Numune yassı tel yerine getiren yay değerleri

	L ₀ (mm)	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)
1. NUMUNE	148,55	4,06	6,91
2. NUMUNE	148,80	4,11	7,07
3. NUMUNE	148,60	4,11	7,00
4. NUMUNE	148,80	4,13	7,06
5. NUMUNE	148,60	4,13	6,91
6. NUMUNE	148,70	4,10	6,93
7. NUMUNE	148,50	4,17	6,97
8. NUMUNE	148,75	4,16	6,94
9. NUMUNE	148,55	4,06	6,86
10. NUMUNE	148,60	4,13	6,88
ORTALAMA	148,60	4,12	6,95

3.3. Testlerin Gerçekleştirilmesi

Numune yaylara uygulanacak olan testler Şu Şekildedir;

- Baskıya alma testi
- Yorulma testi
- Ömür testi

Bu testlerde kullanılacak yuvarlak ve yassı tel yaylar ayrı ayrı poŐetlenmiŐ ve poŐetler numaralandırılmıŐtır (Şekil 3.33.).



Şekil 3.33. Numune yaylar

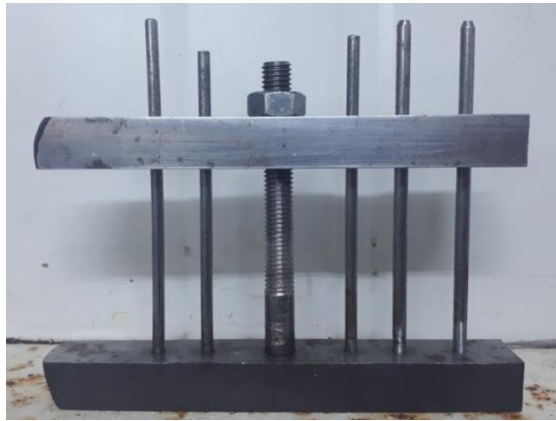
Test planlaması Tablo 3.7.'de gösterildiği gibidir. Her iki gruba ait yaylardan 4 adet yaya baskıya alma, 4 adet yaya yorulma testi ve 2 adet yaya ömür testi uygulanacaktır.

Tablo 3.7. Uygulanacak test planlaması

Yay Numarası	Testler		
	Baskıya Alma Testi	Yorulma Testi	Ömür Testi
1	x		
2	x		
3	x		
4	x		
5		x	
6		x	
7		x	
8		x	
9			x
10			x

3.3.1. Baskıya Alma Testi

Yayların blok boyuna getirilmesi ve belli bir süre blok boyunda bekletilmesi şeklinde gerçekleştirilen test şeklidir. Bu test ile yaylarda kullanım kaynaklı zamanla meydana gelebilecek olan kayıpların belirlenmesi amaçlanmıştır. Test, baskıya alma test aletine yayların yerleştirilmesi ve yayların blok boyuna kadar basılması şeklinde yapılır. Test aletinin görseli Şekil 3.34.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Yay baskıya alma test aleti

Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 4 adet yay baskıya alma testine tabii tutulmuştur. Her 24 saatte bir yay değerleri ölçülerek kaydedilmiş olup toplam 72 saat baskıya alma testi uygulanmıştır.

Yuvarlak tel yayların baskıya alınmadan önce test aletine yerleştirilmiş hali ve test aletinde baskıya alınmış hali Şekil 3.35.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.35. Yuvarlak tel yaylara baskıya alma testinin uygulanması

Yassı tel yayların baskıya alınmadan önce test aletine yerleştirilmiş hali ve test aletinde baskıya alınmış hali Şekil 3.36.'da gösterilmiştir.



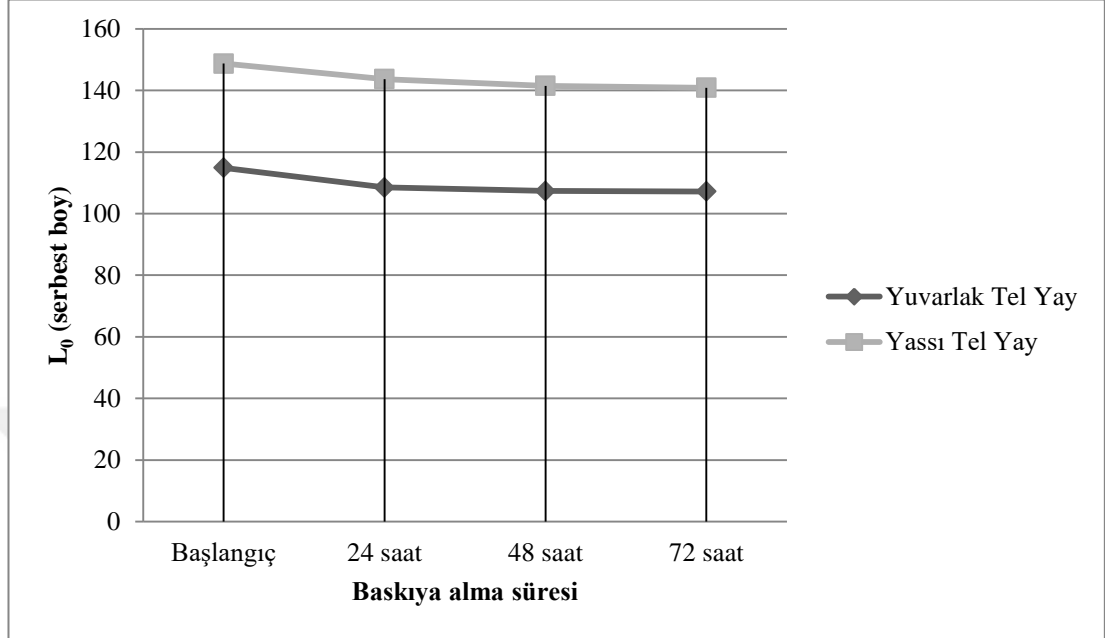
Şekil 3.36. Yassı tel yaylara baskıya alma testinin uygulanması

Baskıya alma testi test sonuçları Tablo 3.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Baskıya alma testi test sonuçları

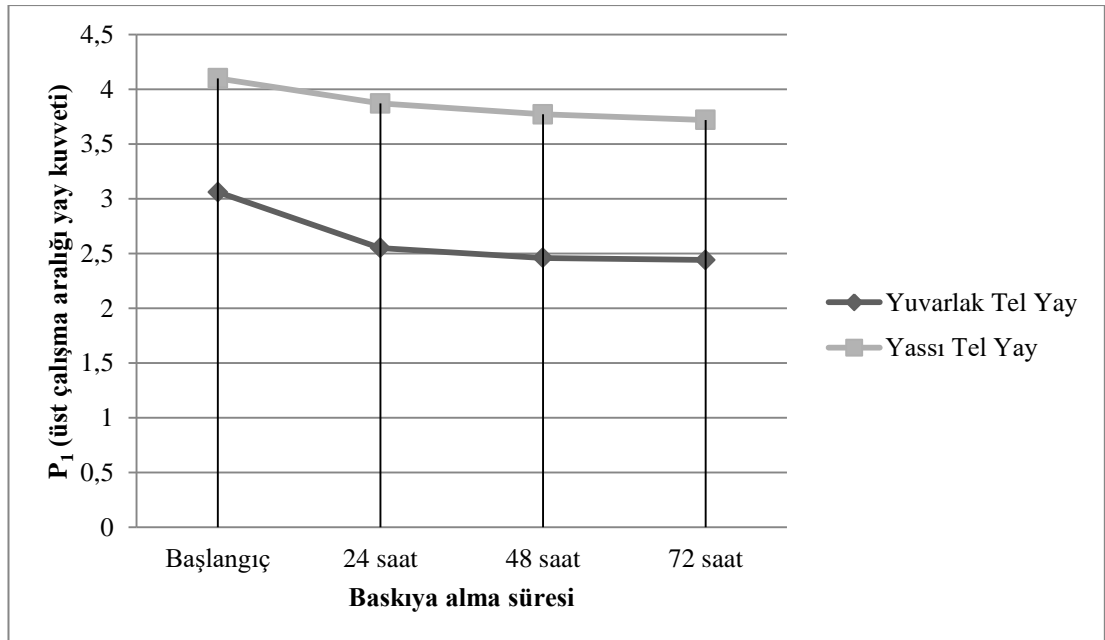
	YUVARLAK TEL YAY			YASSI TEL YAY			
		L ₀ (mm)	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)	L ₀ (mm)	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)
	N1	114,70	3,05	6,95	148,55	4,06	6,91
Başlangıç	N2	114,80	3,05	6,95	148,80	4,11	7,07
	N3	114,90	3,06	6,91	148,60	4,11	7,00
	N4	115,10	3,06	6,93	148,80	4,13	7,06
Ortalama		114,88	3,06	6,94	148,69	4,10	7,01
	N1	109,00	2,65	6,49	143,55	3,85	6,76
24 saat	N2	109,00	2,56	6,46	143,80	3,88	6,58
	N3	107,80	2,47	6,40	143,50	3,87	6,57
	N4	108,20	2,52	6,38	143,80	3,88	6,60
Ortalama		108,50	2,55	6,43	143,66	3,87	6,63
	N1	107,65	2,52	6,46	141,55	3,78	6,59
48 saat	N2	107,95	2,47	6,36	141,70	3,78	6,54
	N3	106,70	2,38	6,32	141,15	3,76	6,48
	N4	107,15	2,45	6,30	141,50	3,77	6,59
Ortalama		107,36	2,46	6,36	141,48	3,77	6,55
	N1	107,60	2,50	6,45	141,00	3,72	6,49
72 saat	N2	107,75	2,46	6,19	140,90	3,73	6,46
	N3	106,65	2,37	6,27	140,30	3,70	6,40
	N4	106,85	2,43	6,29	141,30	3,71	6,59
Ortalama		107,21	2,44	6,30	140,88	3,72	6,49

Baskıya alma testi sonucu L_0 (serbest boy) değeriinde meydana gelen değişim Şekil 3.37.'de gösterilmiştir.



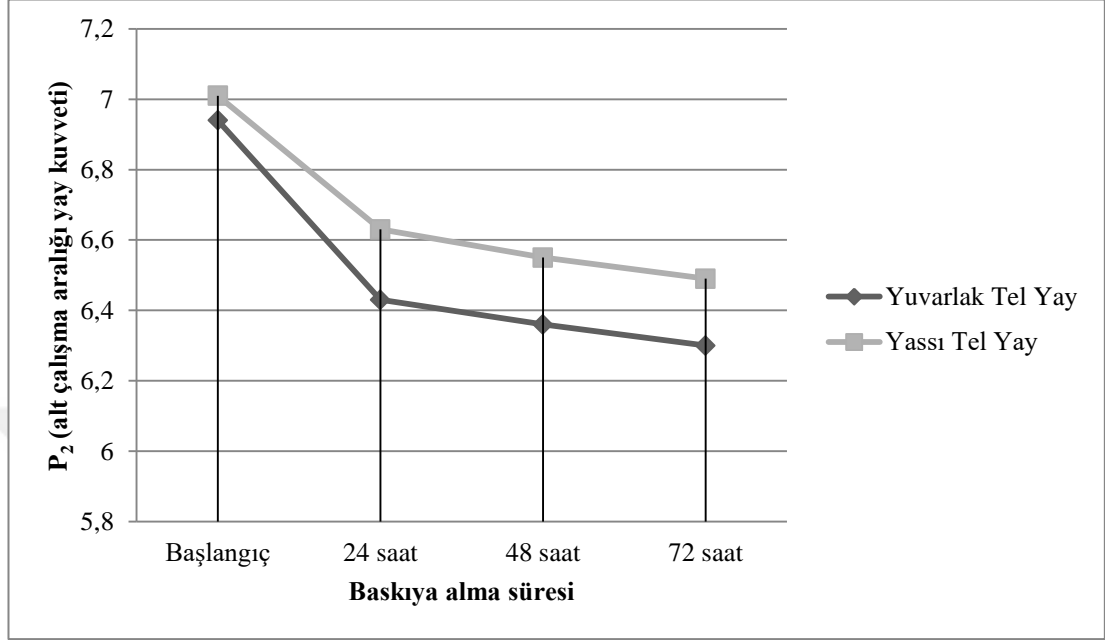
Şekil 3.37. Baskıya alma testi sonucu L_0 (serbest boy)'da meydana gelen değişim

Baskıya alma testi sonucu P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti) değeriinde meydana gelen değişim Şekil 3.38.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.38. Baskıya alma testi sonucu P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim

Baskıya alma testi sonucu P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti) değerinde meydana gelen değişim Şekil 3.39.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.39. Baskıya alma testi sonucu P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim

Baskıya alma test sonucuna göre yaylarda meydana gelen kayıpların yüzdeler olarak gösterimi Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Baskıya alma test sonucuna göre yaylarda ki kayıpların yüzdeler olarak gösterimi

	YUVARLAK TEL YAY			YASSI TEL YAY		
	L_0 (%)	P_1 (%)	P_2 (%)	L_0 (%)	P_1 (%)	P_2 (%)
Başlangıç	%100	%100	%100	%100	%100	%100
24 saat	-%5,55	-%16,67	-%7,35	-%3,38	-%5,61	-%5,42
48 saat	-%6,55	-%19,61	-%8,36	-%4,85	-%8,05	-%6,56
72 saat	-%6,67	-%20,26	-%9,22	-%5,25	-%9,27	-%7,42

Baskıya alma testi test sonuçlarına göre genel olarak yaylar ilk 24 saatte büyük bir değişime uğramış olup baskı testinin devamında yaylarda ki değişim azalmıştır. Ayrıca yuvarlak tel yayların L_0 , P_1 ve P_2 değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı

tel yaylara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle P_1 değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylarda çok daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

3.3.2. Yorulma Testi

Yorulma testi için yaylar tabanca üzerine montajlanır ve tabanca rodaj test cihazına yerleştirilir. Bu test cihazında tabancanın atış pozisyonlarında almış olduğu pozisyonlar birebir simüle edilmektedir. Yaylar, tabancanın atış öncesi (L_1 üst çalışma aralığı) ve kapak parçasının geri gelmesi ile almış olduğu atış sonrası (L_2 alt çalışma aralığı) çalışma aralıklarına getirilerek çalıştırılır. Bu test ile yerine getiren yayda belirli bir atım sonrası meydana gelebilecek olan kayıpların belirlenmesi amaçlanmıştır. Test cihazının görseli Şekil 3.40.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.40. Rodaj test cihazı

Numune olarak üretilen yuvarlak ve yassı tel yayların iç çapları birbirlerinden farklı olduğu için yayların tabanca üzerine montajlandığında burkulmasını önlemek amacıyla yuvarlak ve yassı tel yaylara uygun olacak şekilde iki ayrı yerine getiren

yay mili tasarımı ve üretimi yapılmıştır (Şekil 3.7. ve Şekil 3.11.). Üretimi yapılan miller Şekil 3.41.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.41. Yorulma testi için üretilen yuvarlak ve yassı tel yerine getiren yay milleri

Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 4 adet yay yorulma testine tabii tutulmuştur. Bazı tabanca mukavemet testlerinde 20000 adet atış yapılması gerektiği göz önüne alınarak toplam her yay ile 20000 rodaj döngüsü yapılmıştır. Test sırasında 1000'inci, 5000'inci, 10000'inci, 15000'inci ve 20000'inci, döngülerde yay değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.

Yerine getiren yayların montajlandığı tabancaların test cihazına yerleştirilmiş hali Şekil 3.42.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Yerine getiren yaylara yorulma testinin uygulanması

Yorulma testi test sonuçları Tablo 3.10.'da gösterilmiştir.

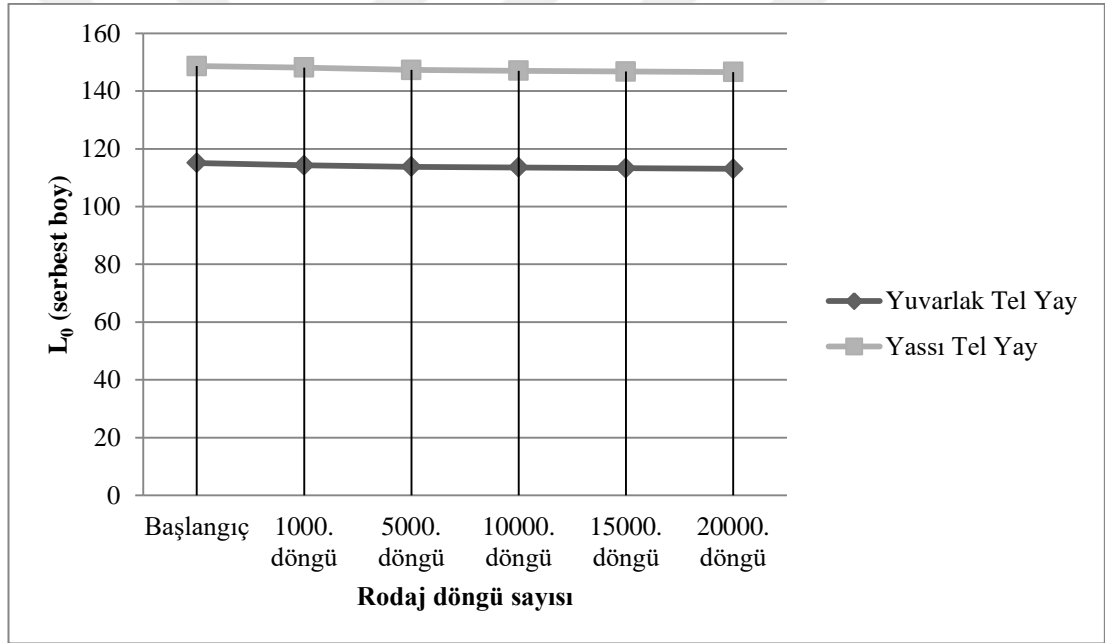
Tablo 3.10. Yorulma testi test sonuçları

		YUVARLAK TEL YAY			YASSI TEL YAY		
		L ₀ (mm)	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)	L ₀ (mm)	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)
	N5	115,50	3,10	6,98	148,60	4,13	6,91
Başlangıç	N6	115,10	3,02	6,91	148,70	4,10	6,93
	N7	114,60	3,03	6,95	148,50	4,17	6,97
	N8	115,10	3,08	7,00	148,75	4,16	6,94
Ortalama		115,10	3,06	6,96	148,65	4,14	6,94
	N5	113,60	3,00	6,97	147,80	4,10	6,90
1000.	N6	114,50	3,01	6,90	148,60	4,08	6,92
döngü	N7	114,20	2,95	6,81	148,20	4,16	6,83
	N8	114,80	3,05	6,98	148,00	4,12	6,93
Ortalama		114,28	3,00	6,92	148,15	4,12	6,90
	N5	113,40	2,98	6,83	146,90	4,05	6,89
5000.	N6	113,90	2,95	6,85	147,10	4,02	6,86
döngü	N7	113,70	2,94	6,80	147,60	4,11	6,82
	N8	114,25	3,03	6,89	147,55	4,09	6,92
Ortalama		113,80	2,98	6,84	147,29	4,07	6,87
	N5	113,10	2,82	6,74	146,85	4,04	6,88
10000.	N6	113,75	2,94	6,84	146,50	4,01	6,84
döngü	N7	113,20	2,93	6,77	147,45	4,08	6,81
	N8	114,10	2,99	6,88	147,40	4,07	6,91
Ortalama		113,54	2,92	6,81	147,05	4,05	6,86
	N5	112,65	2,81	6,70	146,80	4,02	6,81
15000.	N6	113,60	2,93	6,83	146,45	4,00	6,73
döngü	N7	113,10	2,92	6,76	146,90	4,07	6,76
	N8	113,90	2,97	6,87	146,80	4,05	6,82
Ortalama		113,30	2,91	6,79	146,74	4,04	6,78

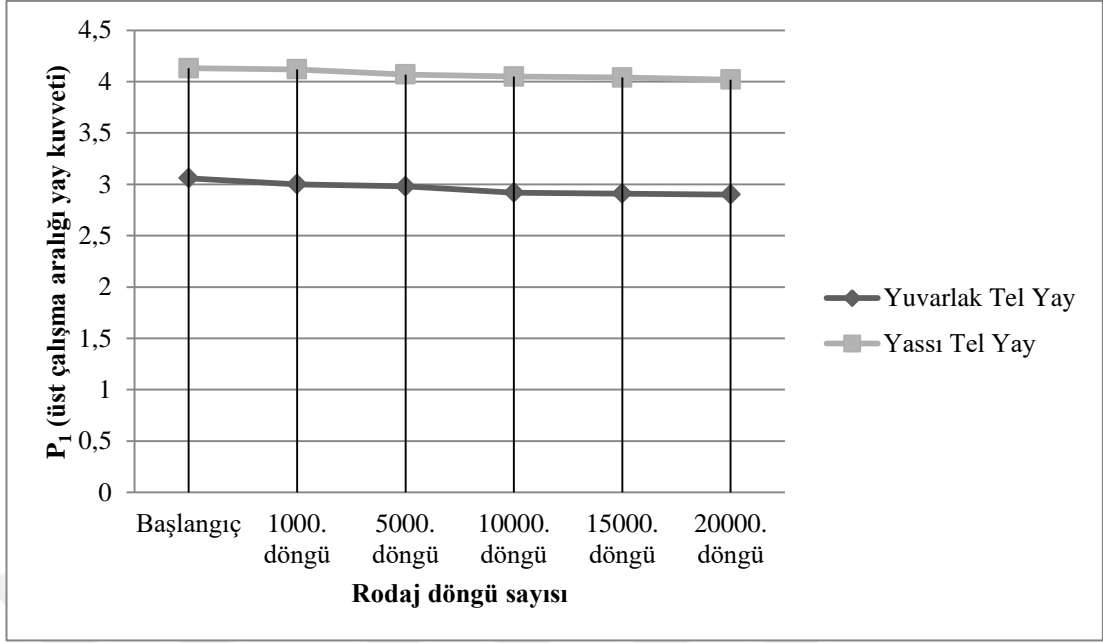
Tablo 3.10. (Devamı)

	YUVARLAK TEL YAY			YASSI TEL YAY			
	L_0 (mm)	P_1 (kgf)	P_2 (kgf)	L_0 (mm)	P_1 (kgf)	P_2 (kgf)	
N5	112,50	2,80	6,68	146,35	4,00	6,80	
20000.	N6	113,15	2,92	6,82	146,40	3,99	6,72
döngü	N7	112,95	2,91	6,73	146,85	4,06	6,75
	N8	113,65	2,95	6,86	146,75	4,04	6,81
Ortalama	113,06	2,90	6,77	146,59	4,02	6,77	

Yorulma testi sonucu L_0 (serbest boy) değerinde meydana gelen değişim Şekil 3.43.'de gösterilmiştir.

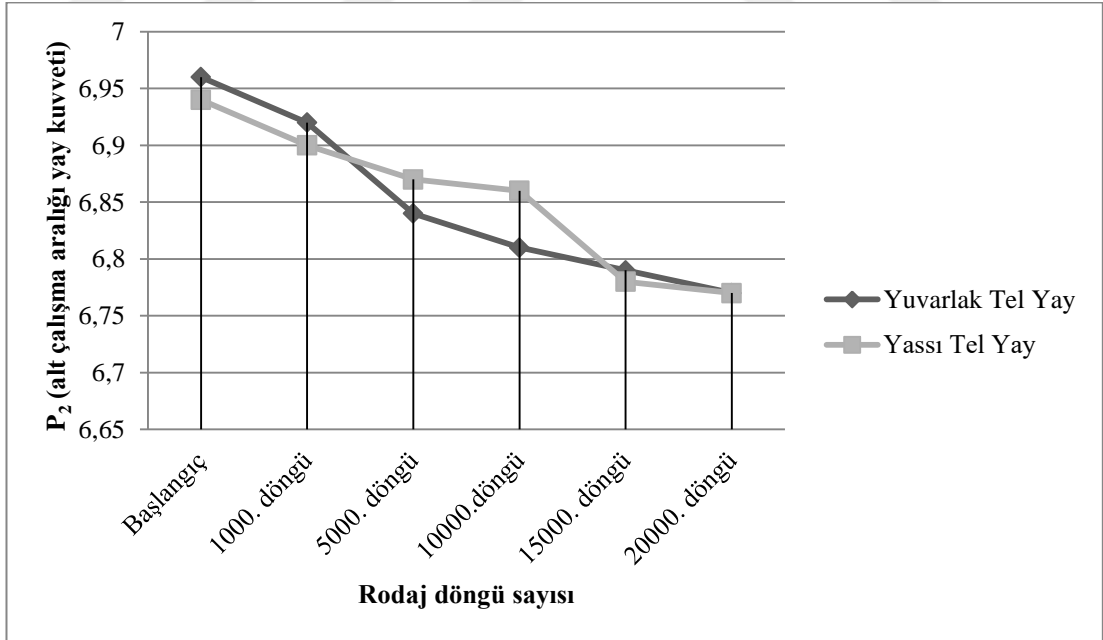
Şekil 3.43. Yorulma testi sonucu L_0 (serbest boy)'da meydana gelen değişim

Yorulma testi sonucu P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti) değerinde meydana gelen değişim Şekil 3.44.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.44. Yorulma testi sonucu P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim

Yorulma testi sonucu P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti) değerinde meydana gelen değişim Şekil 3.45.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.45. Yorulma testi sonucu P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen değişim

Yorulma testi test sonucuna göre yaylarda meydana gelen kayıpların yüzdelik olarak gösterimi Tablo 3.11.'de verilmiştir.

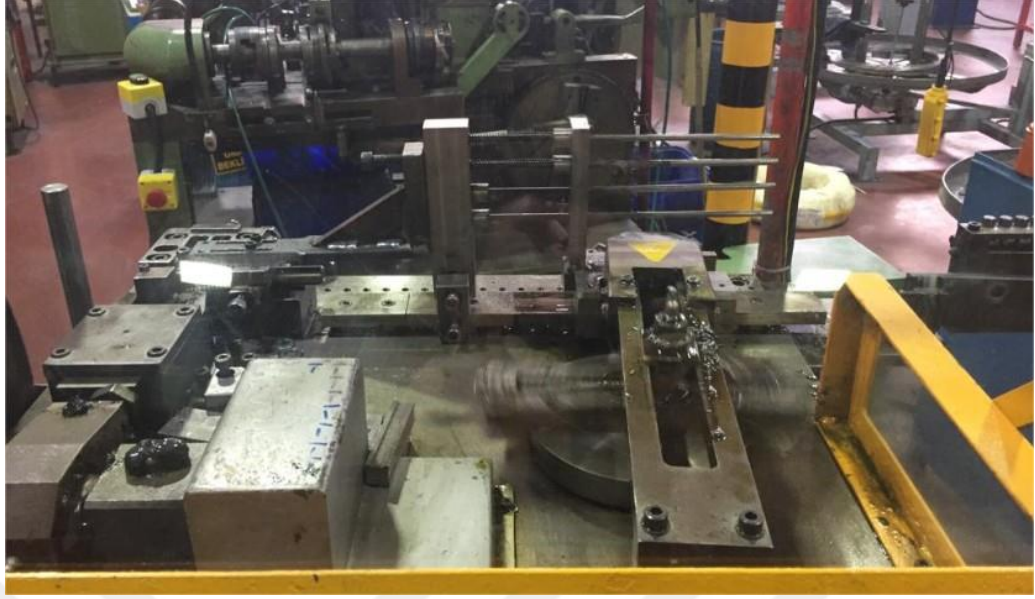
Tablo 3.11. Yorulma testi test sonucuna göre yaylarda ki kayıpların yüzdelik olarak gösterimi

	YUVARLAK TEL YAY			YASSI TEL YAY		
	L ₀ (%)	P ₁ (%)	P ₂ (%)	L ₀ (%)	P ₁ (%)	P ₂ (%)
Başlangıç	% 100	% 100	-% 100	% 100	% 100	% 100
1000. döngü	-%0,71	-%1,96	-%0,57	-%0,34	-%0,48	-%0,58
5000. döngü	-%1,13	-%2,61	-%1,72	-%0,91	-%1,69	-%1,01
10000. döngü	-%1,36	-%4,58	-%2,16	-%1,08	-%2,17	-%1,15
15000. döngü	-%1,56	-%4,90	-%2,44	-%1,28	-%2,42	-%2,31
20000. döngü	-%1,77	-%5,23	-%2,73	-%1,39	-%2,90	-%2,45

Yorulma testi test sonuçlarına göre genel olarak yaylar ilk 5000 rodaj döngüsünde büyük bir değişime uğramış olup yorulma testinin devamında yaylarda ki değişim azalmıştır. Ayrıca yorulma testi test sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların L₀, ve P₁ değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu ancak P₂ değerlerinde ki kuvvet kayıplarının yaklaşık olarak eşit seviyede meydana geldiği görülmüştür. Özellikle P₁ değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylarda çok daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

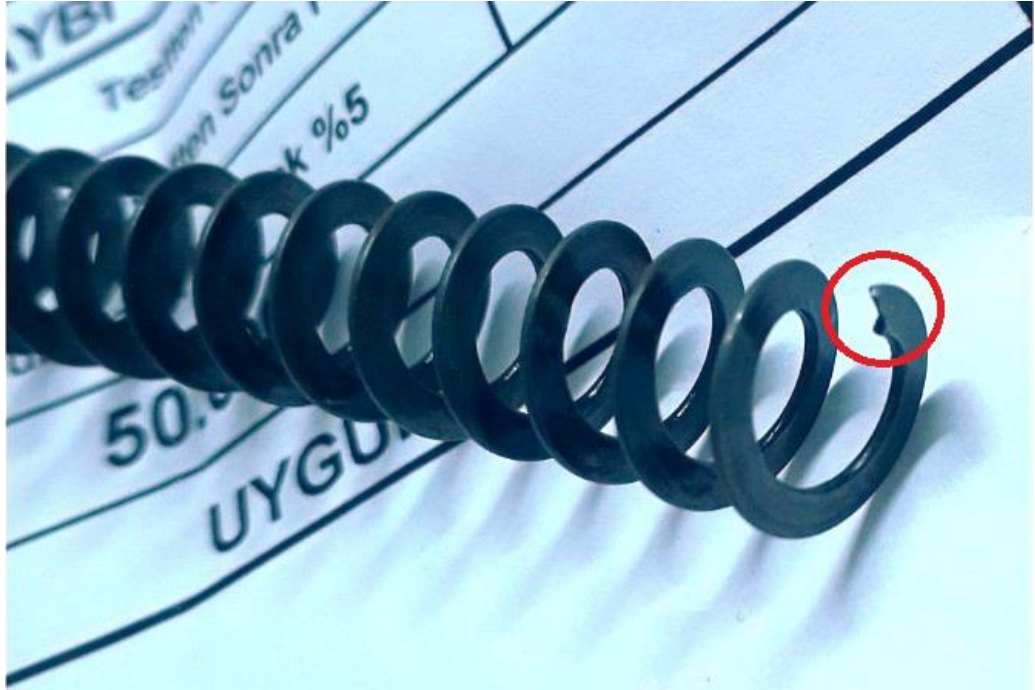
3.3.3. Ömür Testi

Yaylar, yüksek sayıda döngü yapılarak tabancanın atış öncesi çalışma aralığı (L₁ üst çalışma aralığı) ile blok boyu (L_{bl}) arasında çalıştırılır. Bu test ile yayların kırılma zamanının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ömür testi için yaylar yay ömür test cihazına yerleştirilir. Test cihazının görseli Şekil 3.46.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.46. Ömür testi test cihazı

Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 2 adet yay ömür testine tabii tutulmuştur. Toplam 50000 adet ömür döngüsü yapılmış olup yassı tel yayların bir tanesinde 47258. döngüde kırılma görülmüştür (Şekil 3.47.). Ayrıca 50000'inci, döngü sonrası kırılmayan yayların yay değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 3.47. Yassı tel yayda kırılma

Ömür testi test sonuçları Tablo 3.12.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12. Ömür testi test sonuçları

	YUVARLAK TEL YAY			YASSI TEL YAY			
		L ₀ (mm)	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)	L ₀ (mm)	P ₁ (kgf)	P ₂ (kgf)
Başlangıç	N9	114,70	3,02	6,93	148,55	4,06	6,86
	N10	114,40	3,05	6,95	148,60	4,13	6,88
Ortalama		114,55	3,04	6,94	148,69	4,10	7,01
Bitiş	N9	110,70	2,63	6,56	143,70	3,92	6,71
	N10	110,80	2,69	6,67	KIRILDI (47258. döngü)		
Ortalama		110,75	2,66	6,62	KIRILDI		

Ömür testi test sonucuna göre yaylarda meydana gelen kayıpların yüzdelik olarak gösterimi Tablo 3.13.'de verilmiştir.

Tablo 3.13. Ömür testi test sonucuna göre yaylarda ki kayıpların yüzdelik olarak gösterimi

	YUVARLAK TEL YAY			YASSI TEL YAY		
	L ₀ (%)	P ₁ (%)	P ₂ (%)	L ₀ (%)	P ₁ (%)	P ₂ (%)
Başlangıç	%100	%100	%100	%100	%100	%100
Bitiş	-%3,32	-%12,50	-%4,61	KIRILDI		

Ömür testi test sonuçlarına göre yassı tel yaylarda daha erken kırılma meydana gelmiştir. Dolayısıyla L₀, ve P₁ değerlerinde meydana gelen kayıplar yassı tel yayda meydana gelen kırılma nedeniyle karşılaştırılamamıştır.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada hafif ateşli silahlar grubunun en yaygın üyesi olan bir yarı otomatik tabanca yerine getiren yayı yuvarlak ve yassı tel yay olarak tasarlanmış olup tasarım değerlerine uygun numune üretimleri yapılmıştır. Bu yaylara çeşitli testler uygulanmış olup her iki yayda meydana gelen değişimler gözlemlenmiştir.

Çalışmada Emniyet Genel Müdürlüğü personellerinin yoğun olarak kullanmış olduğu yerli üretim bir yarı otomatik tabanca kullanılmıştır. Yuvarlak ve yassı tel yay tasarımları bu tabancanın tasarımını ve alt-üst yay çalışma aralıkları göz önüne alınarak yapılmıştır. Ayrıca yapılacak olan değerlendirmelerin ve kıyaslamaların kolay ve doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için her iki yay tasarımında alt çalışma aralığı yay kuvveti (P_2) eşit tutulmaya çalışılmıştır.

Sonra ki aşamada tasarımı yapılan yayların numune üretimleri yapılmıştır. Numune üretimleri tamamlanan yayların giriş kalite kontrolleri yapılarak tasarım değerlerine uygunluğu değerlendirilmiştir. Yuvarlak ve yassı tel yayların her birinden 10'ar adet yayın kuvvet değeri tek tek ölçülerek kaydedilmiş ve ayrıca yayların birbirine karışmaması sağlanmıştır. Numune yaylarda meydana gelen değişimleri incelemek amacıyla bu yaylara ayrı ayrı baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanmıştır. Yayların performansları L_0 (serbest boy), P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti) ve P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti) değerlerinde meydana gelen kayıplar hesaplanarak değerlendirilmiştir.

Her iki gruba ait yaylardan 4 adet yaya baskıya alma, 4 adet yaya yorulma testi ve 2 adet yaya ömür testi uygulanmıştır. Test edilen yayların değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 4 adet yay baskıya alma testine tabii tutulmuştur. Her 24 saatte bir yay değerleri ölçülerek kaydedilmiş olup toplam 72 saat baskıya alma testi uygulanmıştır. Baskıya alma testi test sonuçlarına göre genel olarak yaylar ilk 24 saatte büyük bir değişime uğramış olup baskı testinin devamında yaylarda ki değişim azalmıştır. Ayrıca yuvarlak tel yayların L_0 , P_1 ve P_2 değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle P_1 değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylarda çok daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.
2. Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 4 adet yay yorulma testine tabii tutulmuştur. Bazı tabanca mukavemet testlerinde 20000 adet atış yapılması gerektiği göz önüne alınarak toplam her yay ile 20000 rodaj döngüsü yapılmıştır. Test sırasında 1000'inci, 5000'inci, 10000'inci, 15000'inci ve 20000'inci, döngülerde yay değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Yorulma testi test sonuçlarına göre genel olarak yaylar ilk 5000 rodaj döngüsünde büyük bir değişime uğramış olup yorulma testinin devamında yaylarda ki değişim azalmıştır. Ayrıca yorulma testi test sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların L_0 , ve P_1 değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu ancak P_2 değerlerinde ki kuvvet kayıplarının yaklaşık olarak eşit seviyede meydana geldiği görülmüştür. Özellikle P_1 değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylarda çok daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.
3. Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 2 adet yay ömür testine tabii tutulmuştur. Toplam 50000 adet ömür döngüsü yapılmış olup sadece yassı tel yaylardan bir tanesinde kırılma görülmüştür. Ayrıca 50000'inci, döngü sonrası kırılmayan yayların yay değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Ömür testi test sonuçlarına göre yassı tel yaylarda daha erken kırılma meydana gelmiştir. Dolayısıyla L_0 , ve P_1 değerlerinde meydana gelen kayıplar yassı tel yayda meydana gelen kırılma nedeniyle karşılaştırılamamıştır.

4. Genel olarak test sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların L_0 , P_1 ve P_2 değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle P_1 değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylarda çok daha fazla olduğu görülmüştür. Ancak ömür testinde yassı tel yaylarda daha erken kırılma meydana gelmiştir.
5. Eşit P_2 (alt çalışma aralığı yay kuvveti) kuvvetine sahip yuvarlak ve yassı tel yaylardan yassı tel yayların P_1 (üst çalışma aralığı yay kuvveti) kuvvetinin yuvarlak tel yaylara göre daha yüksek olduğu yay tasarımları yapılırken görülmüştür. Bu nedenle yassı tel yayların iğne ateşlemeli sistem silahlarda tercih edilmesi daha uygundur. Çünkü iğne ateşlemeli sistem silahlarda iğne yayı yerine getiren yay ile zıt olarak çalışmaktadır. Bu sistem silahlarda yerine getiren yay L_1 konumda iken iğne yayı L_2 konumuna geçmekte ve iğne yayının P_2 kuvveti yerine getiren yayın P_1 kuvvetine zıt yönde etki etmektedir. P_1 kuvvetinin düşük olduğu durumlarda silahın kapak takımının tam olarak oturamaması, yeni fişegi namlu haznesine sürememe ve patlatmama gibi hatalar meydana gelebilmektedir. Horoz ateşlemeli sistem silahlarda bu durum söz konusu değildir çünkü bu sistem silahlarda iğne yayının yerine getiren yay ile bir ilişkisi bulunmamaktadır. Horoz ateşlemeli sistem silahlarda yuvarlak tel yerine getiren yay kullanımının daha yaygın olduğu bilinmektedir.

BÖLÜM 5. ÖNERİLER

Hafif ateşli silahlarda kullanılan yuvarlak ve yassı telden üretilmiş yerine getiren yaylarda kuvvet kayıplarının incelenmesi konulu bu çalışma sonucunda aşağıdaki önerilerde bulunulabilir;

1. Test koşulları zorlaştırılarak ve yeni testler eklenerek yaylarda meydana gelebilecek değişimler incelenebilir.
2. Farklı kesitli yaylar için testler yapılarak sonuçları incelenebilir.
3. Yaylarda kullanılan malzemelerin etkisini belirleyebilmek için yeni malzemeler kullanılarak yaylar tasarlanabilir, üretilebilir, test edilebilir ve sonuçları incelenebilir.
4. Numune yerine getiren yaylara gerçek atış testleri, mukavemet testleri yapılarak sonuçlar incelenebilir.
5. Tasarımı yapılmış yaylar sonlu elemanlar methodu ile modellenebilir ve analizler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://www.alexspring.com/media/function-of-recoil-spring-in-a-firearm.jpg> , Erişim Tarihi: 11.07.2019.
- [2] Zaloğlu, H., Finite Element Modelling and Analysis of Recoil Springs in Automatic Weapons, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master's Thesis, 2013.
- [3] Top-3-2-045, Test Operations Procedure: Small Arms-Hand And Shoulder Weapons And Machineguns, Small Arms Systems Division/Us Army Aberdeen Test Center, 2007.
- [4] Karşlı, M., Hafif Silahlar İçin Polimer Kompozit Malzeme Seimi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2016.
- [5] <https://gallowayprecision.com/smith-and-wesson/m-and-p/assembled-guide-rod-for-m-and-p-full-size-pistols> , Erişim Tarihi: 14.07.2019.
- [6] <http://girsan.com.tr/project/mc28-sa> , Erişim Tarihi: 01.05.2018.
- [7] https://tr.wikipedia.org/wiki/Yari_otomatik_tabanca , Erişim Tarihi: 02.02.2019.
- [8] <https://www.glockmeister.com/images/field0.jpg> , Erişim Tarihi: 10.05.2019.
- [9] https://tr.wikipedia.org/wiki/Geri_tepme , Erişim Tarihi: 19.05.2019.
- [10] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Csa04katherine500smith1.jpg> , Erişim Tarihi: 22.05.2019.
- [11] DOD-HDBK-778 (AR), "Military Handbook: Recoil Systems", Development and Engineering Center of US Army Armanent, Washington, 1988.
- [12] Taşkiran, E., Ağır Silahlardaki Geri Tepme Mekanizmalarının Dinamiği Üzerine, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.

- [13] Tuncer, D. G., Ağır Silahlardaki Geri Tepme Mekanizmalarının Dinamik Modellenmesi ve Sayısal Benzetimi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [14] Babalık, F. C., Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri - Cilt 1, Uludağ Üniversitesi, 1993.
- [15] Hall, A., Holowenko, A. R., Laughkin H. G., McGraw-Hill Book Company, Machine Design, 1980.
- [16] Gönen, D., Kalıp Yayını Olarak Dikdörtgen Kesitli Yaylar Yerine Dairesel Kesitli Yayların Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009.
- [17] Babalık, F.C., Makine elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2006.
- [18] Wahl, A.M., Mechanical Springs, McGraw-Hill Book Company, New York Toronto London, 1963.
- [19] Akkurt, M., Savcı M., Makine Elemanları, Sirketi Mürettebiye Basımevi, İstanbul, 1972.
- [20] Günes, A. T., Yaylar, Mühendis ve Makine, Cilt 21, sayı 224, 1977.
- [21] Shigley, J. E., Mischke C. R., Standard Handbook of Machine Design, McGraw-Hill, 1996.
- [22] Associated Spring, Barnes Group, Design Handbook: Engineering Guide to Spring Design, Associated Spring, 1982.
- [23] Savcı, M., Makine Elemanları Problemleri-Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1975.
- [24] Babalık, F.C., Çavdar, K., Makine Bilimi ve Elemanları, Paradigma Akademi Yayın No:2, Bursa, 2003.
- [25] Rende, H., Makine Elemanları Hesap ve Konstrüksiyon-Cilt 1, Seç Yayın Dağıtım, 1996.
- [26] <http://kdelta.com/blog/benefits-of-flat-wire-springs.html> , Erişim Tarihi: 30.05.2019.
- [27] <https://tacrockford.com/product/roehrs-flat-wire-compression-springs/> , Erişim Tarihi: 30.05.2019.
- [28] <http://kdelta.com/blog/3-advantages-of-compression-flat-wire-springs.html> , Erişim Tarihi: 01.06.2019.

- [29] <https://www.newcombspring.com/resources/compression-springs-rectangular-wire> , Erişim Tarihi: 18.06.2019.
- [30] <http://www.mitcalc.com/doc/springs/help/en/springs.htm> , Erişim Tarihi: 18.06.2019.
- [31] <https://www.ist.org.uk/> , Erişim Tarihi: 05.07.2019.
- [32] <http://girsan.com.tr/teknik/testler> , Erişim Tarihi: 21.10.2019.



ÖZGEÇMİŞ

Serkan GÜREL 1991 yılında Giresun'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun'da tamamladı. 2009 yılında Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2017 yılında Giresun Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Savunma Sanayi alanında faaliyet gösteren Girsan Makine ve Hafif Silah Sanayi A.Ş.'de Arge Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Aynı firmada uzun süre Arge Müdürü olarak görev almış olup şu an Kalite Müdürü olarak görev yapmaktadır.