

## Hafif Silahlarda Kullanılan Farklı Kesit Profiline Sahip Yerine Getiren Yayların Yorulma Davranışlarının İncelenmesi

Serkan GÜREL<sup>1</sup>, Samet YAVUZ<sup>1,2</sup>, Mahmutcan KARSLI<sup>1,3\*</sup>, Ş. Burhanettin ALTAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Girsan Makina ve Hafif Silah Sanayi Ticaret A.Ş., Giresun

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Samsun

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Trabzon

<sup>4</sup>Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Giresun

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

E-mail: mahmut.cann@hotmail.com

Orcid ID: 0000-0002-8729-7497

*Araştırma Makalesi/Research article*

*Geliş tarihi/Received: 18.06.2020*

*Kabul tarihi/Accepted: 22.10.2020*

### ÖZET

Son yıllarda hafif silahlardan beklenen özelliklerin ve performansların artması bu alanda yapılacak çalışmalarını şart kılmıştır. Bu çalışmanın amacı silah üretiminde geleneksel olarak kullanılmakta olan dairesel kesitli yaylar yerine son yıllarda kullanımı artan yassı tel yayların performanslarının değerlendirilmesi ve yapılan deneylerle sonuçların desteklenerek silahlarda yay performanslarının dolayısıyla da silah performanslarının yükseltilmesidir. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular ile literatürdeki bir açık kapatılarak ülkemiz savunma sanayisi bilgi birikimine katkı sağlanması hedeflenmektedir. Hafif silah endüstrisinde genel olarak daire kesitli tellerden yapılmakta olan yerine getiren yaylarına alternatif olarak son yıllarda yassı telden üretilmiş yerine getiren yay kullanımının arttığı görülmektedir. Bu çalışmada hafif silahlar grubuna dahil olan ve en yaygın kullanılan yarı otomatik tabancada kullanılan yerine getiren yayı, yuvarlak ve yassı tel yay olarak tasarlanmış olup tasarım değerlerine uygun numune üretimleri gerçekleştirilmiştir. Silahların performanslarında önemli rol oynayan bu yayların ömür ve performanslarının değerlendirilebilmesi amacıyla yaylara baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanmış olup her iki yayda meydana gelen değişimler incelenmiştir. Test sonuçlarına göre yassı tel yayların  $L_0$  (serbest boy),  $P_1$  (üst çalışma aralığı yay kuvveti) ve  $P_2$  (alt çalışma aralığı yay kuvveti) değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylara göre daha az olduğu ve çalışma koşullarına bağlı olarak yassı tel yayların daha yüksek performans gösterdikleri sonucuna varılmıştır. Özellikle  $P_1$  değerlerinde meydana gelen performans kayıplarının yuvarlak tel yaylarda çok daha fazla olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Hafif silah, Tabanca, Savunma sanayi, Yerine getiren yay, Yay performans testleri

## Investigation of Fatigue Behavior of Performing Springs with Distinct Cross-section Profiles Used in Light Weapons

### ABSTRACT

It is important to carry out studies since the performance of small arms has been improved in recent years. The aim of this study is to evaluate the performance of flat wire springs, which have been increasingly used in recent years, instead of circular cross section springs used in weapon production, and to increase the spring performances of guns and thus gun performances with the results of the experiments. With the findings obtained as a result of the study carried out in line with this purpose, it is aimed to contribute to the defense industry knowledge of our country by closing a gap in the literature. In the light weapons industry, it has been observed that the use of fulfilling springs made of flat wire has increased in recent years as an alternative to the fulfillment springs produced from circular section wires. In this study, the performing spring used in the semi-automatic pistol, which is the most common of the small arms group, was designed as a round and flat wire spring, and sample production was carried out. In order to evaluate the life and performance of the springs, compression, fatigue and life tests were applied, and the changes in both springs were examined. According to the test results, the losses seen in the  $L_0$  (free length),  $P_1$  (upper working range spring force) and  $P_2$  (lower working range spring force) values of the flat wire springs are less than the round wire springs and the flat wire springs have higher performance depending on the operating conditions. It is concluded that they show. It has been observed that the performance losses occurring especially in  $P_1$  values are much higher in round wire springs.

**Keywords:** Light weapon, Pistol, Defense industry, Recoil spring, Spring performance tests.

### Atf için (Cite);

Gürel, S., Yavuz, S., Karşı, M., Altan, Ş.B. (2020). Hafif Silahlarda Kullanılan Farklı Kesit Profiline Sahip Yerine Getiren Yayların Yorulma Davranışlarının İncelenmesi, *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 9-25.

## 1. Giriş

Bütün ateşli silahların ortak özelliği fişegin barutun yanmasıyla oluşan basıncın sağladığı itme kuvvetiyle fırlatılmasıdır. Hafif ve ağır olmak üzere iki ana gruba ayrılan ateşli silahlar içinde hafif silahlar tabanca, tüfek gibi taşınabilen ve ağırlık bakımından düşük olan silah grubunu oluşturmaktadırlar. Hafif silahlar, kurulu pozisyonda fişek ateşlenerek barut gazının basıncı ile kapağın geri gelmesi ve bu esnada boş kovanının dışarı çıkarılması

sistemi ile çalışırlar. Bu çalışma sisteminde yerine getiren yay kapağın içinde sıkışır ve sıkışan yayın kapağı tekrar öne itmesi ve bu esnada yeni fişegi hazneye alarak tekrar atış pozisyonuna gelmesi şeklinde şarjör içindeki mermi bitinceye kadar döngüsel olarak hareketleri devam eder (URL-1; Zaloğlu, 2013). Hafif silahlar grubuna ait tabancaların çalışma prensibi Şekil 1’de verilmiştir.



**Şekil 1.** Tabancaların çalışma prensibi (URL-1)  
**Figure 1.** Working principle of pistols (URL-1)

Yerine getiren yaylar silahların mekaniksel olarak çalışması bakımından önemli parçalarından biri olup, 7,65 mm, 9x17 mm, 9x21 mm, 9x19 mm, .40 cal, .45 cal, 10 mm ve av tüfeklerinde kullanılan yerine getiren yaylar başta olmak üzere birçok farklı kalibre ve ölçüde silahlarda aynı amaç için kullanılmaktadır. Bu çalışmada 9x19 mm kalibreli bir tabancanın farklı kesit profillerine sahip yerine getiren yaylarının yorulma davranışı incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar diğer çalışmalara da yol gösterici olacaktır.

Yerine getiren yaylar silahların ana parçaları olan kapak, gövde, namlu gibi parça gruplarıyla birlikte çalışması ve silahın ateşleme sisteminin çalışması bakımından oldukça önemli bir parçası olup, atış çevriminin sürmesini ve oluşan geri tepe kuvvetini absorbe etmesi açısından da silahın çalışma sisteminde oldukça etkilidir (Zaloğlu,

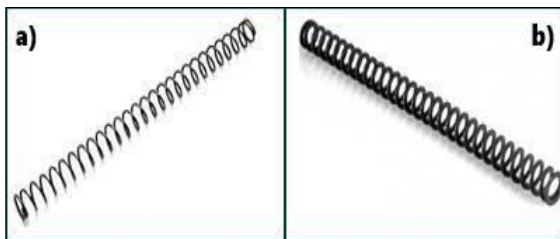
2013). Şekil 2’de yerine getiren yay takılı kapak ve namlu grubu montaj görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 2.** Yerine getiren yay takılı örnek bir tabanca kapağı (URL-2)  
**Figure 2.** A sample pistol slide with a recoil spring (URL-2)

Hafif Silah Sistemleri Başkanlığı/ABD Kara Kuvvetleri Test Merkezince yayımlanan test prosedürleri kapsamında silahlar bir dizi mukavemet ve parça değişim testleri içinde performansları değerlendirilmektedir. Yapılan bu testlerde silahlar yüksek oranlarda tekrarlı yüklere maruz kalmakta ve bu sebeple silah parçalarının bu testleri geçebilecek dayanıma sahip olması, kullanım süresi boyunca kalıcı deformasyonun kabul edilebilir seviyelerde olması beklenmektedir (TOP, 2007; Karslı, 2016). Uygulanan bu testler silah parçalarının sürekli geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu parçalar içerisinde yerine getiren yay da silah performansını direkt olarak etkilediğinden silahların çalışıp, çalışmaması durumu bu parçanın performansının geliştirilmesine da bağlıdır. Bu sebeple yerine getiren yay seçimi, silah tasarımında gerekli hesaplamalar yapılarak çok iyi yapılmalıdır (Zaloğlu, 2013).

Hafif silahlar grubunda yerine getiren yay seçiminde teknolojik gelişmelerle birlikte yuvarlak tel yaylar yerine yassı telden üretilen yaylar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan bu çalışmada da hem yassı tel hem de yuvarlak telden yarı otomatik tabanca için yerine getiren yay tasarım ve üretimi yapılarak, bu yaylara baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanmış ve yaylarda meydana gelen değişimler irdelenerek yayların karşılaştırmalı olarak performansları analiz edilmiştir. Şekil 3'te yuvarlak tel ve yassı telden üretilmiş olan yerine getiren yayların görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 3.** (a) Yuvarlak tel yerine getiren yay (b) yassı tel yerine getiren yay

**Figure 3.** (a) Round wire recoil spring (b) flat wire recoil spring

Üretilen yayların denemesi ise Şekil 4'de Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) testlerinde

başarılı olmuş ve EGM tarafından kullanılmakta olan yerli üretim polimer kompozit gövdeli yarı otomatik tabancada gerçekleştirilecek olup, yayların üretimi ve ölçümleri bu tabancanın tasarımı esas alınarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.** Polimer kompozit gövdeli yarı otomatik tabanca (URL-3)

**Figure 4.** Semi-automatic pistol with polymer composite frame (URL-3)

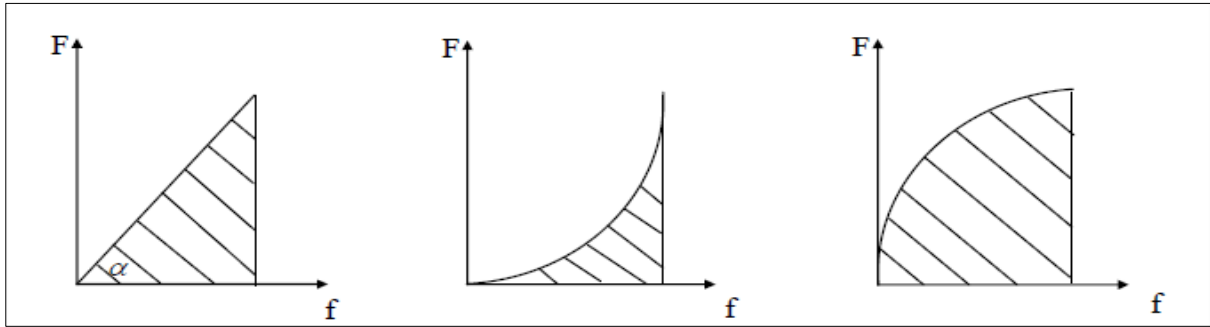
Yaylar, çok yüksek şekil değiştirme kabiliyetlerine sahip olup yüksek miktarda enerji absorbe edebilirler. Depoladıkları bu enerjiyi belirli bir miktarda sürtünme kayıplarına uğrayarak geri verebilmektedirler (Babalık, 1993; Hall, 1980). Bu süreçte yayların malzeme özellikleri ve şekilleri önemli bir yere sahiptir. Bu bakımdan yayların hem günlük hayatta kullanımı hem de makine elamanı olarak kullanımında gerekli ihtiyaçlara uygun üretilmiş geniş kullanım alanları bulunmaktadır (Gönen, 2009).

Yaya gelen kuvvet ile yaylanma arasında ki bağıntı yay karakteristiğini vermektedir. Yayları 1 birim çekmek veya uzatmak için harcanan kuvvete yay katsayısı denmektedir ve rijitlik (c) olarak da isimlendirilmektedir. Yay karakteristikleri Şekil 5'de görüldüğü gibi lineer, yükselen veya alçalan karakterlerde olabilmektedir (Babalık, 1993; Wahl, 1963; Akkurt, 1972).

Yay malzemelerinden yüksek dayanım ve mekaniksel özellikler beklenmektedir. Bunlar yüksek yorulma direnci, süneklik, elastikiyet ve sürünme direnci olarak sıralanabilir (Babalık, 1993; Güneş, 1977). Yayların kopma

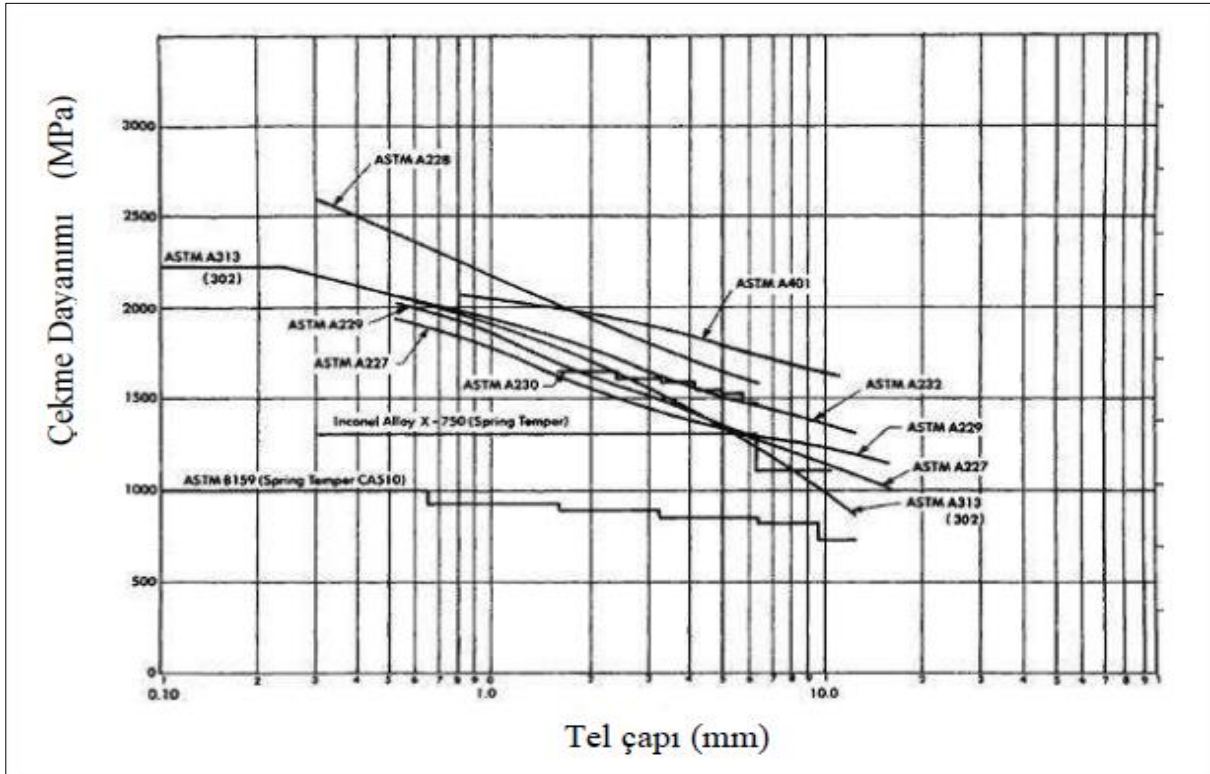
mukavemetleri tel çapı ile ters orantılıdır. Şekil 6'da yayların en düşük çekme dayanımları verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi en yüksek dayanımlı yay telleri ASTM A228 (müzik teli) ve ASTM A401 (yağda temperlenmiş krom-silisyum)'dur. ASTM A313 (paslanmaz çelik), ASTM A230 (yağda temperlenmiş karbonlu supap yayı), ASTM A232 (yağda temperlenmiş krom-vanadyum) çelikleri yorulma uygulamaları için diğerlerine göre daha düşük mukavemetli sayılabilecek

yaylar kullanılabilir. Statik uygulamalar için daha düşük mukavemet değerlerine sahip ASTM A227 (haddelenmiş-sertleştirilmiş karbon çeliği) ve ASTM A229 (yağda temperlenmiş karbon çeliği) çeliğinden yapılmış yaylar kullanılabilir. Yay malzemeleri genellikle ısıl işlem uygulanabilen malzemeler olup, gelişen teknoloji ve ihtiyaca cevap vermesi bakımından metal olmayan malzemelerden de yaylar üretilmektedir (Gönen, 2009).



Şekil 5. Yay karakteristikleri (a) lineer karakteristik (b) yükselen karakteristik (c) alçalan karakteristik (Babalık, 1993; Wahl, 1963)

Figure 5. Spring characteristics (a) linear characteristic (b) rising characteristic (c) descending characteristic (Fatherhood, 1993; Wahl, 1963)



Şekil 6. Yayların en düşük çekme dayanımlarının karşılaştırılması (Shigley, 1996)

Figure 6. Comparison of the lowest tensile strength of springs (Shigley, 1996)

Yaylar genellikle ısıtılarak işlemsiz hammaddelerden üretildiğinden, yumuşak ve tavllanmış malzemelerin seçimi istenilen malzeme özelliklerinin elde edilmesinde oldukça önemlidir. Üretilen yaylar ısıtılarak işleme tabi tutularak nihai mekanik özellikleri elde edilmektedir. Yaylar için uygulanan ısıtma işlemleri Tablo 1'de verilmiştir. Burada ısıtma işlemi prosesi genel olarak iki gruba ayrılarak, düşük sıcaklıklarda gerilim giderme işlemleri ve yüksek sıcaklıklarda malzemenin

mukavemetini artırmak için yapılan işlemler olarak belirtilmektedir (ASM Hand Book, 1982).

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 (Gönen, 2009).

**Tablo 1.** Yaylar için ısıtma işlemleri tipleri (ASM Hand Book, 1982)

**Table 1.** Heat treatment types for springs (ASM Hand Book, 1982)

Malzemeler	Isıtma İşlemi	
	°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):	480 / 1 saat	900 / 1 saat
Durum C	760 / 1 saat,	1400 / 1 saat,
Durum A (TH 1050 için)	565 / 1 saat ardından 15 °C' e soğutma	1050 / 1 saat ardından 60 °F' e soğutma
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
Çözelti 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*	

\*Zaman ısıtma ekipmanına ve kesit büyüklüğüne bağlıdır. Parçalar östenitlenir, sonra su verilir ve istenilen sertliğe kadar menevişlenir.

Pavani ve arkadaşlarının araç süspansiyonlarında kullanılan helezon yaylarında yeni uygulamaların tasarımı, modellemesi ve analizi kapsamında yassı telden üretilmiş dalgalı yaylar ile helisel yayların analizlerini karşılaştırdıkları çalışmada, yassı telden üretilen dalgalı yaylarda helisel yaylara göre daha fazla yük uygulanmasına rağmen deformasyonun daha az olduğunu rapor etmişlerdir (Pavani vd., 2014).

Gönen yaptığı çalışmada dikdörtgen kesitli yassı telli yaylarla, helisel yayları karşılaştırdığı çalışmada, 1,5 kat daha yüksek rijitliğe sahip olan yayların yapılan testlerde dikdörtgen kesitli yaylara göre aşırı miktarda kılavuzlama gösterdikleri, aynı rijitlik özelliklerine sahip dikdörtgen kesitli yaylar ile helisel yayların yorulma ömür testlerinde kılavuzlama yapılmadan helisel yayların hiçbirinin dairesel kesitli yayların ömrüne ulaşamadıkları, bununla birlikte kılavuzlama ile yapılan yorulma ömür testinde helisel yayların daha başarılı oldukları bu sebeple de kılavuzlama işleminin yay ömürlerinde oldukça önemli bir işlem olduğu bildirilmiştir (Gönen, 2009).

Yapılan literatür araştırmaları neticesinde silah sektöründe yerine getirene yay gibi önemli bir silah parçasının mekanik özellikleri ve çalışma prensipleri hakkında yeterli bilimsel çalışmanın olmadığı, bununla birlikte yapılan bazı hesaplamalar ile gerçek yerine getiren yay dinamikleri hakkında kabaca tahminlerin yapılarak uygulamaya geçirildiği fakat bununla silahlardan beklenen dayanımın alınmasında yetersiz olduğu görülmektedir. Yapılan bu çalışmada silah üretiminde kullanılan yerine getiren yay imalatı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi ile sektöre ve ülkemiz savunma sanayi literatürüne katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu sayede hem uygulama altında elde edilen verilen kullanılması ile uygun yayların seçilmesi yüksek dayanımlı silahların üretimi hem de gerçekleştirilecek olan devam niteliğindeki çalışmalara da ışık tutulmuş olacaktır.

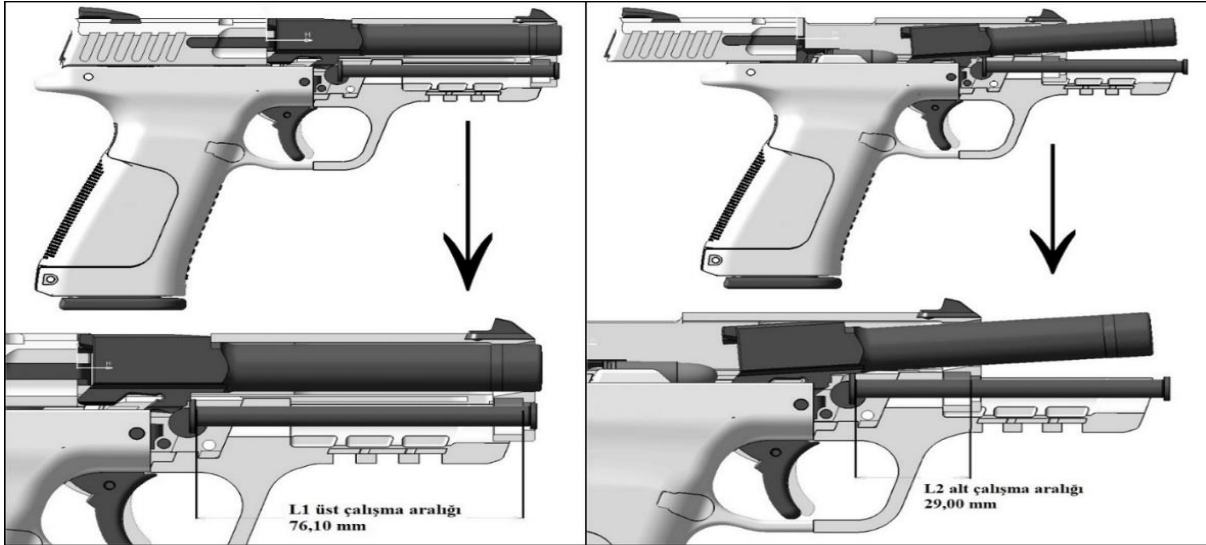
## 2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalar kapsamında ilk kısımda testlerde kullanılacak tabanca modeline uygun yuvarlak ve yassı tel yerine getiren yay tasarımları yapılmıştır. Daha sonra tasarıma uygun olarak üretilen numune yaylara baskıya alma, yorulma ve ömür testleri uygulanarak her iki yayda meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Kullanılacak olan örnek tabanca modeli ülkemiz EGM tarafından kadro silahı olarak da kullanılan polimer gövdeli, 9x19 mm kalibre bir tabancadır. Bu tabanca modeline ait yerine getiren yay çalışma aralıklarına uygun yuvarlak ve yassı tel yay tasarımları yapılmıştır. Örnek tabanca incelendiğinde yerine getiren yayın sağa sola kaymadan ve burulmadan kılavuzlama amacıyla yayın düzgün bir şekilde durmasını sağlayan, yerine getiren yay mili diye adlandırılan mile geçirildiği görülmektedir. Bu nedenle bu milin ve milin takılacağı kapak ve namlu parçasının ölçülerinin de yay tasarımını gerçekleştirebilmek için bilinmesi gerekmektedir. Bu ölçüler silah üzerinde ölçülerek belirlenmiş ve üç boyutlu model olarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

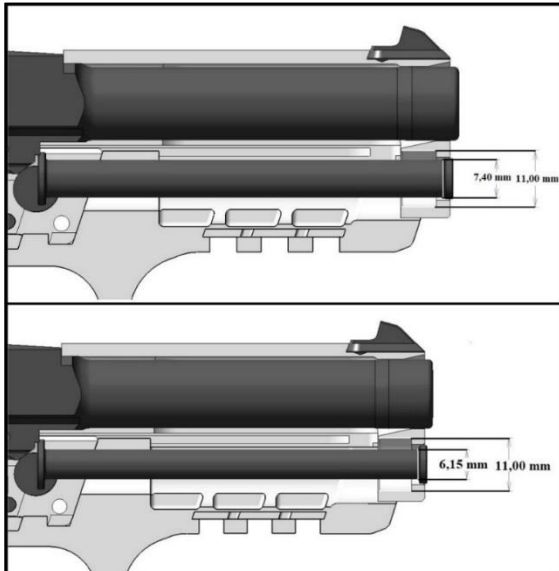
Yerine getiren yay tasarımında kullanacağımız  $L_1$  üst çalışma ve  $L_2$  alt çalışma aralık değerleri Şekil 7'de gösterilmiştir.

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 68,6 N olduğu testlerde kullanabilmek için elimizde bulunan örnek tabancanın yerine getiren yay kuvveti ölçülerek belirlenmiştir.



**Şekil 7.** Yerine getiren yay tasarımında kullanılacak çalışma aralığı değerleri (Gürel, 2020)  
**Figure 7.** Working range values to be used in the recoil spring design (Gürel, 2020)

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 oldukça önemlidir. Bu ölçümler silah üzerinde yapılmış olup yuvarlak ve yassı tel yerine getiren yay için yapılan ölçümler Şekil 8’de gösterilmiştir. Yassı tel yayın kesit genişliği yuvarlak tel yayın tel kalınlığından büyük olacağı için yassı tel yay için kullanılacak



**Şekil 8.** Yuvarlak (üstte) ve yassı (altta) tel yerine getiren yay tasarımında kullanılacak çap ölçüleri (Gürel, 2020)

**Figure 8.** Diameter measurements to be used in the design of the recoil spring that round (top) and flat (bottom) wire (Gürel, 2020)

milin çapı daha küçük olacaktır. Bu şekilde  $P_2$  değeri olan 68,6 N sağlanmaya çalışılacaktır.

Yapılan ölçümler sonucu yay tasarımında kullanacağımız ve değerleri bilinen parametreler 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): 68,6 N

$D_i$  (iç çap): > 7,40 mm (yuvarlak tel yerine getiren yay için)

$D_i$  (iç çap): > 6,15 mm (yassı tel yerine getiren yay için)

$D_a$  (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. Belirlenen tasarım çıktıları kullanılarak yuvarlak ve yassı tel yerine getiren yay numunelerinin üretimleri CNC yay makinesi kullanılarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. 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.

Üretimi gerçekleştirilen yay numunelerinden 4'er adet numunelere, oda sıcaklığında baskıya alma testi uygulanmıştır. Baskıya alma testi yayların blok boyuna getirilmesi ve belli bir süre blok boyunda bekletilmesini kapsayan bir testtir. 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.

Yay numunelerine uygulanan yorulma testi yayların tabanca üzerine montajlanması ile olur. Yayların montajlı bulunduğu tabancalar, yerine getiren yayların yorulma performansları incelenmek üzere rodaj test cihazına yerleştirilir. Bu test cihazında tabancanın atış pozisyonlarında almış olduğu pozisyonlar birebir simüle edilerek yayların yorulma performansı değerlendirilir. Yorulma (rodaj) testi oda sıcaklığında gerçekleştirilir. 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. Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 4'er adet yay yorulma testine tabii tutulmuştur. Bazı tabanca mukavemet testlerinde 20.000 adet atış yapılması gerektiği göz önüne alınarak, yorulma testinde toplam her yay ile 20.000 rodaj döngüsü yapılmıştır. Yorulma test cihazının görseli Şekil 9'da gösterilmiştir.

Ömür testinde ise yaylar, yüksek sayıda döngü yapılarak tabancanın atış öncesi çalışma aralığı ( $L_1$  üst çalışma aralığı) ile blok boyu ( $L_{bi}$ ) arasında çalıştırılır. Bu test ile yayların kırılma

zamanının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ömür testi için Şekil 10'da verilen yay ömür test cihazı kullanılarak 2'şer adet numune yaylara 50.000 adet ömür döngüsü (çevrim) uygulanmıştır. Ömür testleri de oda sıcaklığında yapılmıştır.



Şekil 9. Yorulma (rodaj) test cihazı (URL-3)  
Figure 9. Fatigue (running-in) tester (URL-3)



Şekil 10. Ömür test cihazı (Gürel, 2020)  
Figure 10. Life tester (Gürel, 2020)

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tasarım değerlerine göre ASTM A401 (SAE J157S) malzemeden 10'ar adet numune üretilen yuvarlak tel ve yassı tel yayların, tasarım ve numune ölçüm değerlerinin ortalamaları karşılaştırmalı olarak Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde tasarımı yapılan yayların üretim sonrası değerlerinin beklenen toleranslar içinde olduğu tespit edilmiştir. Testlerde kullanılan numune yayların genel olarak tasarımı temsil ettikleri ve test silahında kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.



**Tablo 2.** Yuvarlak tel yerine getiren yayların tasarım ve numune ölçüm değerleri  
**Table 2.** Design and sample measurement values of round wire recoil springs

	Tasarım değeri	Numune ölçüm değeri
Malzeme	ASTM A401	ASTM A401
d (tel çapı)	1,05 mm	1,05 mm
D <sub>i</sub> (iç çap)	7,70 mm	7,71 mm
D <sub>a</sub> (dış çap)	9,80 mm	9,81 mm
L <sub>0</sub> (serbest boy)	107,00 mm	114,80 mm
L <sub>1</sub> (üst çalışma aralığı)	76,10 mm	76,10 mm
L <sub>2</sub> (alt çalışma aralığı)	29,00 mm	29,00 mm
P <sub>1</sub> (üst çalışma aralığı yay kuvveti)	27,44 N	29,90 N
P <sub>2</sub> (alt çalışma aralığı yay kuvveti)	68,1 N	68,1 N
İ <sub>g</sub> (toplam sarım sayısı)	22,50 sarım	22,50 sarım
İ <sub>r</sub> (yaylanan sarım sayısı)	20,50 sarım	20,50 sarım
Sarım yönü	Sağ	Sağ
Uç yapısı	Kapatma ve Taşlama	Kapatma ve Taşlama

**Tablo 3.** Yassı tel yerine getiren yayların tasarım ve numune ölçüm değerleri  
**Table 3.** Design and sample measurement values of flat wire recoil springs

	Tasarım değeri	Numune ölçüm değeri
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 <sub>i</sub> (iç çap)	6,40 mm	6,46 mm
D <sub>a</sub> (dış çap)	10,40 mm	10,68 mm
L <sub>0</sub> (serbest boy)	146,00 mm	148,55 mm
L <sub>1</sub> (üst çalışma aralığı)	76,10 mm	76,10 mm
L <sub>2</sub> (alt çalışma aralığı)	29,00 mm	29,00 mm
P <sub>1</sub> (üst çalışma aralığı yay kuvveti)	40,67 N	40 N
P <sub>2</sub> (alt çalışma aralığı yay kuvveti)	68,1 N	67,9 N
İ <sub>g</sub> (toplam sarım sayısı)	31,00 sarım	31,00 sarım
İ <sub>r</sub> (yaylanan sarım sayısı)	29,00 sarım	29,00 sarım
Sarım yönü	Sağ	Sağ
Uç yapısı	Kapatma ve Taşlama	Kapatma ve Taşlama

Üretimi yapılan numune yaylara uygulanan baskıya alma testi esnasında her 24 saatte bir yay değerleri ölçülerek kaydedilmiş olup toplam 72 saat baskıya alma testi uygulanmıştır. Baskıya alma testi test sonuçları Tablo 4'te, baskıya alma test sonucuna göre yaylarda meydana gelen kayıpların yüzdelik olarak gösterimi Tablo 5'de verilmiştir.

Baskıya alma test sonuçları incelendiğinde genel olarak yayların ilk 24 saatte büyük bir değişime uğradıkları, baskı testinin devamında

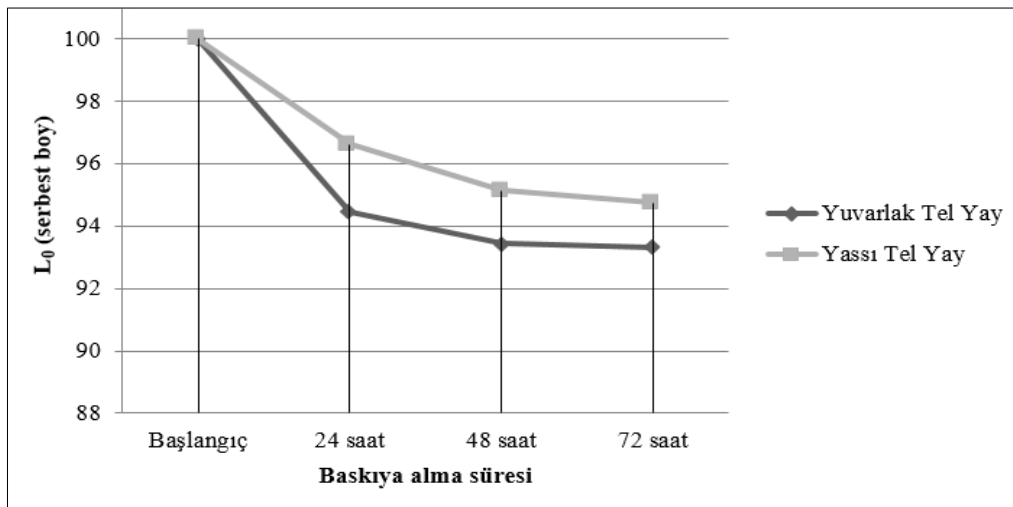
ise yaylarda ki değişimin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca yuvarlak tel yayların L<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> ve P<sub>2</sub> değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle yuvarlak tel yayların P<sub>1</sub> değerlerinde ilk 24 saatte meydana gelen kayıpların hem yassı tel yaylara göre hem de kendi L<sub>0</sub> ve P<sub>2</sub> değerlerine göre çok yüksek oranlarda olduğu sonucuna varılmıştır. L<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> ve P<sub>2</sub> değerlerinde meydana gelen değişimin yüzdelik sonuçlarını gösteren değişime ait grafikler Şekil 11, 12 ve 13'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Baskıya alma testi sonuçları  
**Table 4.** Compressive strength test results

		Yuvarlak tel yay			Yassı tel yay		
		L <sub>0</sub> (mm)	P <sub>1</sub> (N)	P <sub>2</sub> (N)	L <sub>0</sub> (mm)	P <sub>1</sub> (N)	P <sub>2</sub> (N)
<b>Başlangıç</b>	N1	114,70	29,89	68,11	148,55	39,78	67,71
	N2	114,80	29,89	68,11	148,80	40,27	69,28
	N3	114,90	29,98	67,71	148,60	40,27	68,6
	N4	115,10	29,98	67,91	148,80	40,27	69,18
	<b>Ortalama</b>	<b>114,88</b>	<b>29,93</b>	<b>67,96</b>	<b>148,69</b>	<b>40,2</b>	<b>69,69</b>
<b>24 saat</b>	N1	109,00	25,97	63,6	143,55	37,73	66,24
	N2	109,00	25,08	63,3	143,80	38,02	64,48
	N3	107,80	24,2	62,72	143,50	37,92	64,38
	N4	108,20	24,69	62,52	143,80	38,02	64,68
	<b>Ortalama</b>	<b>108,50</b>	<b>24,99</b>	<b>63,03</b>	<b>143,66</b>	<b>37,92</b>	<b>64,94</b>
<b>48 saat</b>	N1	107,65	24,696	63,308	141,55	37,04	64,58
	N2	107,95	24,206	62,328	141,70	37,04	64,09
	N3	106,70	23,324	61,936	141,15	36,84	63,5
	N4	107,15	24,01	61,74	141,50	36,94	64,58
	<b>Ortalama</b>	<b>107,36</b>	<b>24,05</b>	<b>62,32</b>	<b>141,48</b>	<b>3,77</b>	<b>64,19</b>
<b>72 saat</b>	N1	107,60	24,5	63,21	141,00	36,45	63,6
	N2	107,75	21,10	60,66	140,90	36,55	63,3
	N3	106,65	23,22	61,44	140,30	36,26	62,72
	N4	106,85	23,81	61,64	141,30	36,35	64,58
	<b>Ortalama</b>	<b>107,21</b>	<b>23,91</b>	<b>61,74</b>	<b>140,88</b>	<b>36,4</b>	<b>63,55</b>

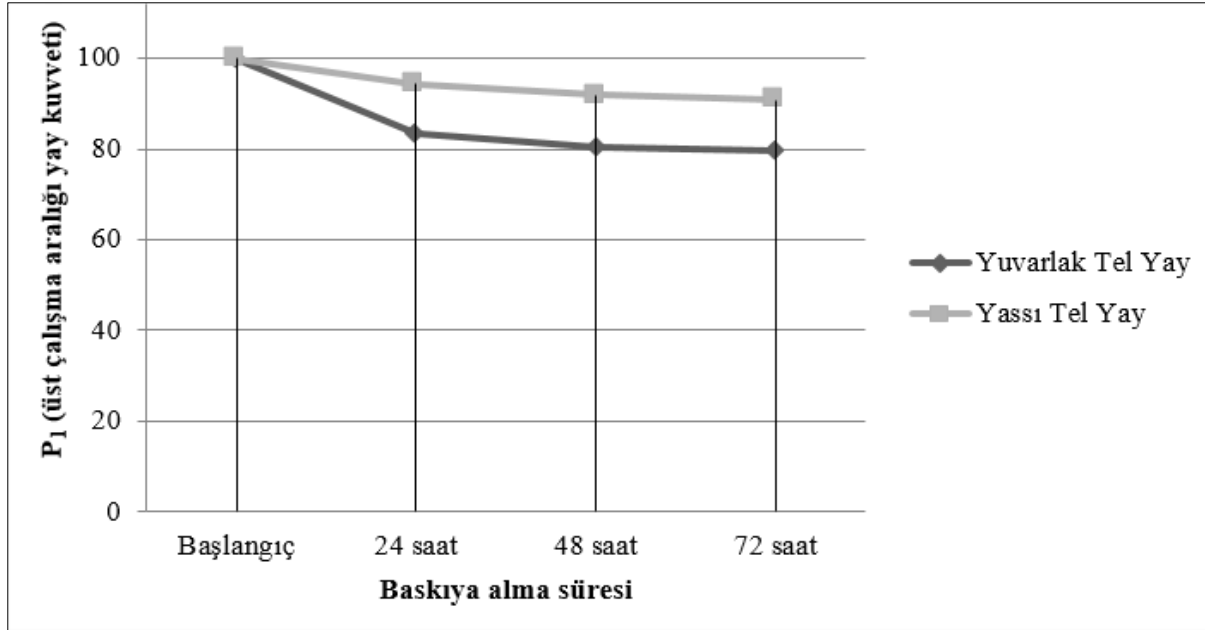
**Tablo 5.** Baskıya alma testi yüzdelik sonuçları  
**Table 5.** Compressive strength test percentile results

	Yuvarlak tel yay			Yassı tel yay		
	L <sub>0</sub> (%)	P <sub>1</sub> (%)	P <sub>2</sub> (%)	L <sub>0</sub> (%)	P <sub>1</sub> (%)	P <sub>2</sub> (%)
<b>Başlangıç</b>	% 100	% 100	% 100	% 100	% 100	% 100
<b>24 saat</b>	-% 5,55	-% 16,67	-% 7,35	-% 3,38	-% 5,61	-% 5,42
<b>48 saat</b>	-% 6,55	-% 19,61	-% 8,36	-% 4,85	-% 8,05	-% 6,56
<b>72 saat</b>	-% 6,67	-% 20,26	-% 9,22	-% 5,25	-% 9,27	-% 7,42



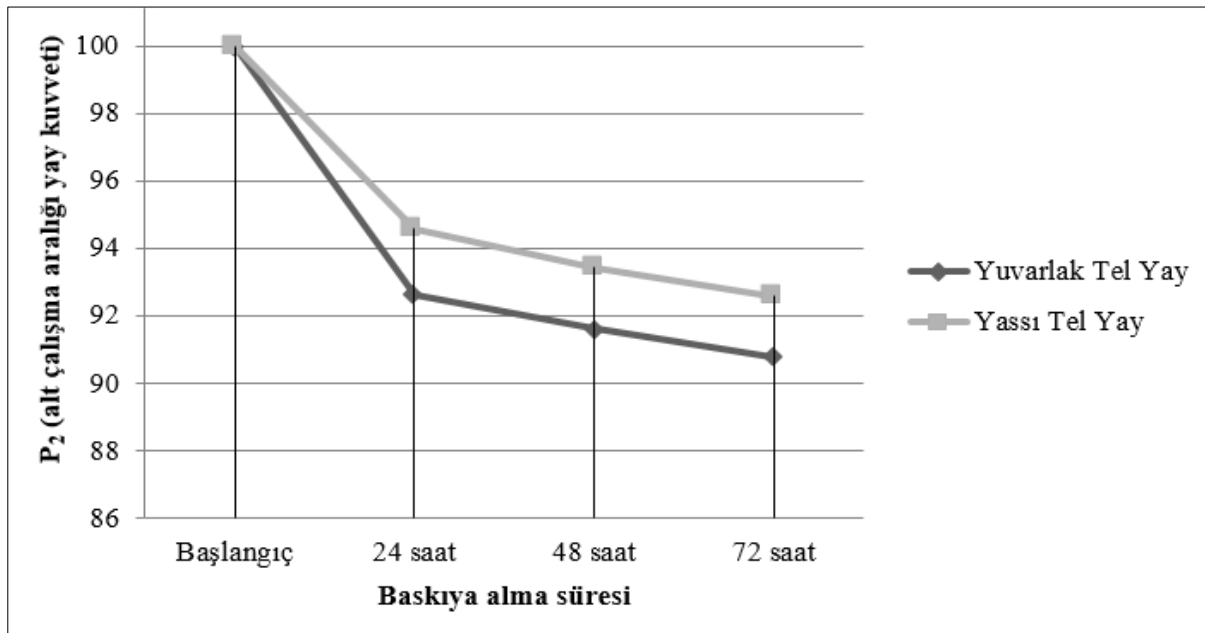
**Şekil 11.** Baskıya alma testi sonucu L<sub>0</sub> (serbest boy)'da meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik

**Figure 11.** The graph showing the percentage change in L<sub>0</sub> (free size) as a result of the compressive strength test



Şekil 12. Baskıya alma testi sonucu  $P_1$  (üst çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik

Figure 12. The graph showing the percentage change in  $P_1$  (upper working range spring force) as a result of the compressive strength test



Şekil 13. Baskıya alma testi sonucu  $P_2$  (alt çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik

Figure 13. The graph showing the percentage change in  $P_2$  (lower working range spring force) as a result of the compressive strength test

Grafikler incelendiğinde yuvarlak tel yayların  $L_0$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu tespit edilmektedir. Konuyla ilgili yapılan literatür incelemesinde bulunan sonuçlara paralel olarak yayların baskıya

alındığında yassı tel yayların yuvarlak tel yaylardan daha fazla enerji depolama kabiliyetlerinin olduğu, bunun sebebi olarak da yassı tel yayların dikdörtgen kesitli olması gösterilmiştir (ASM Hand Book, 1982). Yorulma testi tabancalar için olduğu kadar

yerine getiren yaylar içinde çok önemlidir. Tabancanın yorulma ömrü dolayısıyla yaylarının yorulma ömrü, tabancanın ömrünü belirleyen en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Bu bağlamda yerine getiren yaylara uygulanan yorulma testi başlangıcında, 5.000'inci, 10.000'inci ve 20.000'inci döngülerde (çevrimlerde) yay değerleri

ölçülerek kaydedilmiştir. Belirlenen çevrimlerde ölçülerek kaydedilen enerji değerlerindeki kayıp yayların performansları hakkında önemli bulgular elde edilmesini sağlamıştır. Yorulma testi sonuçları Tablo 6'da, yorulma testi sonucuna göre yaylarda meydana gelen kayıpların yüzdelik olarak gösterimi Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 6.** Yorulma testi sonuçları

*Table 6. Fatigue test results*

		Yuvarlak tel yay			Yassı tel yay		
		L <sub>0</sub> (mm)	P <sub>1</sub> (N)	P <sub>2</sub> (N)	L <sub>0</sub> (mm)	P <sub>1</sub> (N)	P <sub>2</sub> (N)
<b>Başlangıç</b>	N5	115,50	30,38	68,404	148,60	40,474	67,718
	N6	115,10	29,596	67,718	148,70	40,18	67,914
	N7	114,60	29,694	68,11	148,50	40,866	68,306
	N8	115,10	30,184	68,6	148,75	40,768	68,012
<b>Ortalama</b>		<b>115,10</b>	<b>29,96</b>	<b>68,2</b>	<b>148,65</b>	<b>40,57</b>	<b>67,98</b>
<b>5000. döngü</b>	N5	113,40	29,204	66,934	146,90	39,69	67,522
	N6	113,90	28,91	67,13	147,10	39,396	67,228
	N7	113,70	28,812	66,64	147,60	40,278	66,836
	N8	114,25	29,694	67,522	147,55	40,082	67,816
<b>Ortalama</b>		<b>113,80</b>	<b>29,155</b>	<b>67,05</b>	<b>147,29</b>	<b>39,86</b>	<b>67,35</b>
<b>10000. döngü</b>	N5	113,10	27,636	66,052	146,85	39,592	67,424
	N6	113,75	28,814	67,032	146,50	39,298	67,032
	N7	113,20	28,714	66,346	147,45	39,984	66,738
	N8	11410	29,302	67,424	147,40	39,886	67,718
<b>Ortalama</b>		<b>113,54</b>	<b>28,616</b>	<b>66,71</b>	<b>147,05</b>	<b>39,69</b>	<b>67,228</b>
<b>20000. döngü</b>	N5	112,50	27,44	65,464	146,35	39,2	66,64
	N6	113,15	28,616	66,836	146,40	39,1	65,856
	N7	112,95	28,518	65,954	146,85	39,78	66,15
	N8	113,65	28,91	67,228	146,75	39,59	66,738
<b>Ortalama</b>		<b>113,06</b>	<b>28,37</b>	<b>66,37</b>	<b>146,59</b>	<b>39,42</b>	<b>66,34</b>

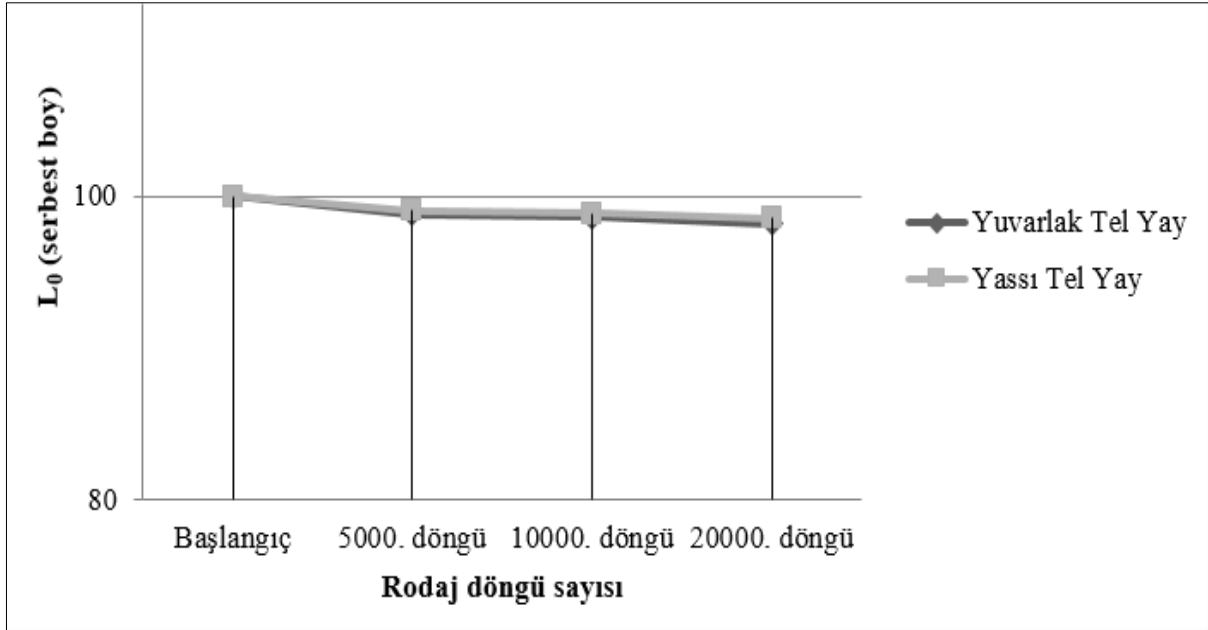
**Tablo 7.** Yorulma testi sonucuna göre yaylarda ki kayıpların yüzdelik olarak gösterimi

*Table 7. The percentage of losses in the springs according to the fatigue test result*

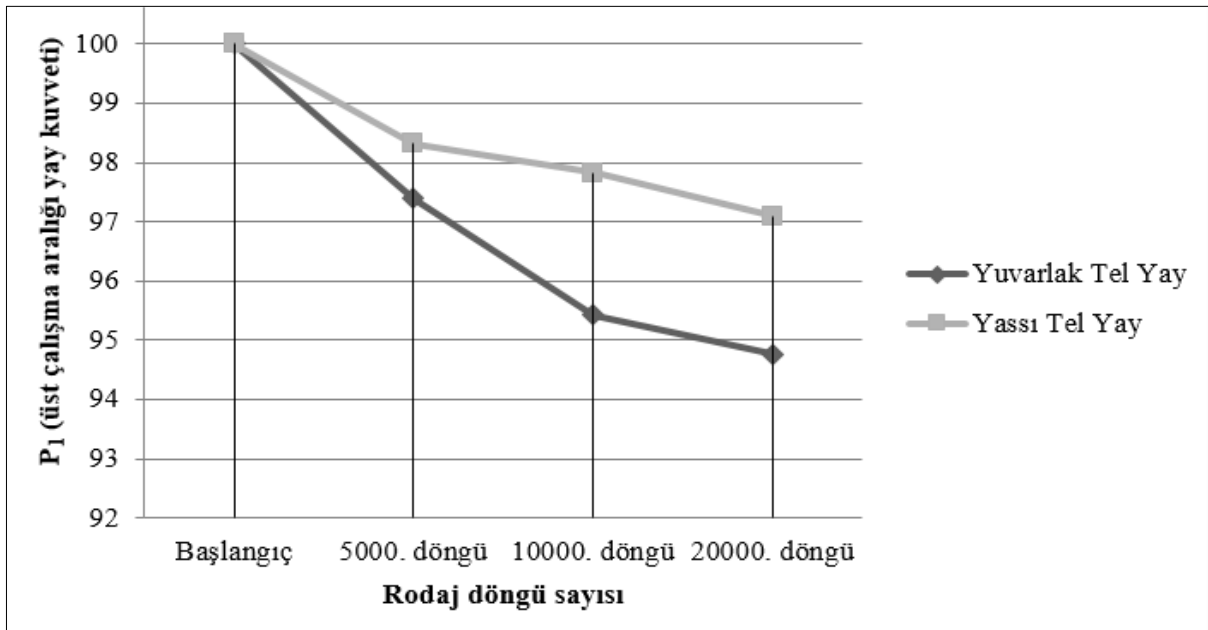
	Yuvarlak tel yay			Yassı tel yay		
	L <sub>0</sub> (%)	P <sub>1</sub> (%)	P <sub>2</sub> (%)	L <sub>0</sub> (%)	P <sub>1</sub> (%)	P <sub>2</sub> (%)
<b>Başlangıç</b>	% 100	% 100	% 100	% 100	% 100	% 100
<b>5000. döngü</b>	-% 1,13	-% 2,61	-% 1,72	-% 0,91	-% 1,69	-% 1,01
<b>10000. döngü</b>	-% 1,36	-% 4,58	-% 2,16	-% 1,08	-% 2,17	-% 1,15
<b>20000. döngü</b>	-% 1,77	-% 5,23	-% 2,73	-% 1,39	-% 2,90	-% 2,45

Yorulma testi sonucuna göre L<sub>0</sub>, P<sub>1</sub> ve P<sub>2</sub> değerlerinde meydana gelen değişimin

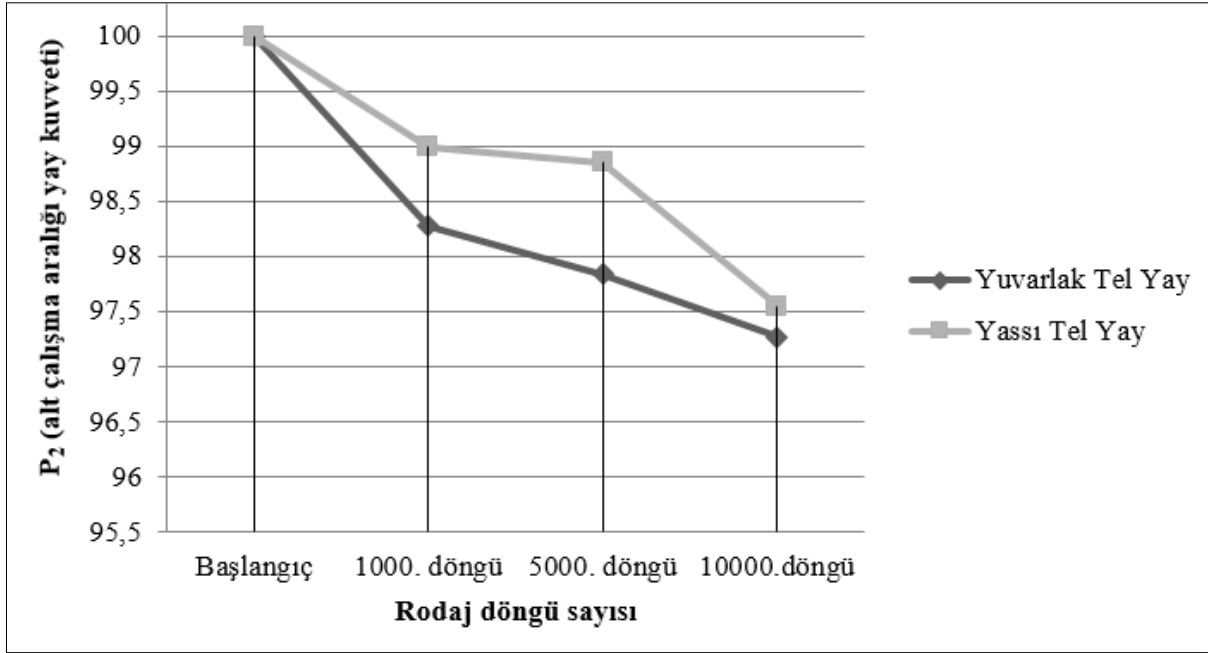
yüzdelik sonuçlarını gösteren değişime ait grafikler Şekil 14, 15 ve 16'da verilmiştir.



Şekil 14. Yorulma testi sonucu  $L_0$  (serbest boy) 'da meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik  
 Figure 14. The graph showing the percentage change in  $L_0$  (free length) as a result of the fatigue test.



Şekil 15. Yorulma testi sonucu  $P_1$  (üst çalışma aralığı yay kuvveti) 'de meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik  
 Figure 15. The graph showing the percentage change in  $P_1$  (upper working range spring force) as a result of the fatigue test.



**Şekil 16.** Yorulma testi sonucu  $P_2$  (alt çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik

**Figure 16.** The graph showing the percentage change in  $P_2$  (lower working range spring force) as a result of the fatigue test.

Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarına uygulanan yorulma testi sonuçlarına göre ilk 5.000 rodaj döngüsünde yaylar büyük bir değişime uğramış olup yorulma testinin devamında yaylarda ki değişim azalmıştır. Ayrıca yorulma testi sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların  $L_0$  ve  $P_1$  değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olmasına rağmen  $P_2$  değerlerinde ki kuvvet kayıplarının iki numune için birbirlerine daha yakın değerlerde oldukları tespit edilmiştir.

Yapılan yorulma testi sonuçlarına benzer olarak literatürde, yassı tel yayların yuvarlak tel yaylara göre daha fazla enerji absorbe ettikleri, bununla birlikte yassı tel yayların bükülmeye ve yüksek frekanslarda sürtünme kaynaklı martensit oluşumu göstermediklerinden daha yüksek yorulma ömrüne sahip olmaktadır (ASM Hand Book, 1982).

Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarından 2'şer adet yay ömür testine tabii tutulmuştur. Toplam 50.000 adet ömür döngüsü yapılmış olup yassı tel yayların bir tanesinde 47.258.

döngüde kırılma meydana gelmiş olup kırılan yayın görüntüsü Şekil 17'de verilmiştir.



**Şekil 17.** Yassı tel yayda kırılma

**Figure 17.** Fracture in flat wire spring

50.000'inci, döngü sonrası kırılmayarak ömür testini tamamlayan yayların değerleri ölçülerek Tablo 8'de, ömür testi sonucuna göre yaylarda meydana gelen kayıpların yüzdelik olarak gösterimi Tablo 9'da gösterilmiştir.

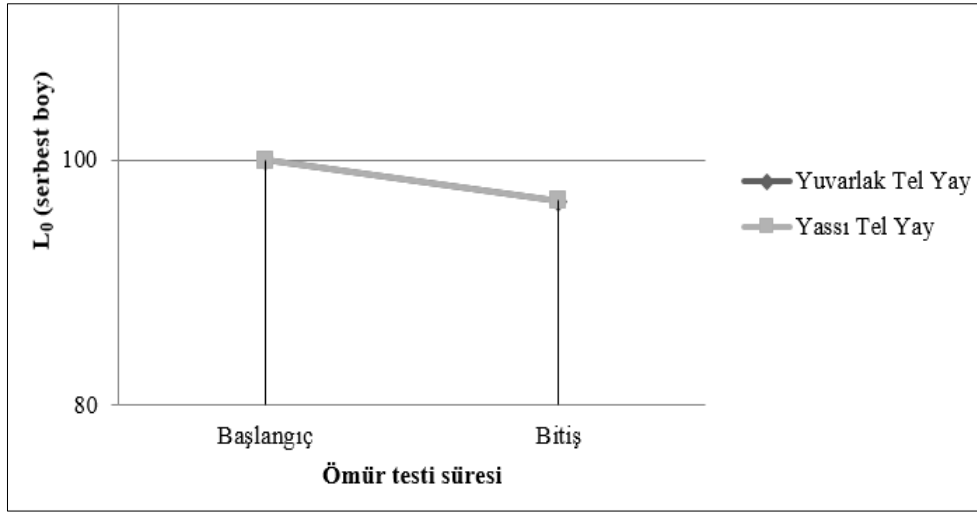
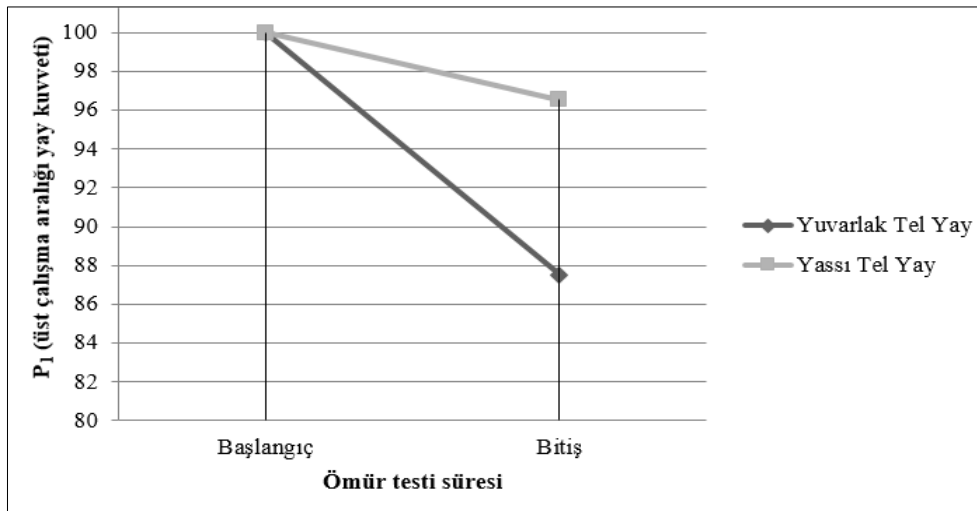
Ömür testi sonucuna göre  $L_0$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde meydana gelen değişimin yüzdelik sonuçlarını gösteren değişime ait grafikler Şekil 18, 19 ve 20'de verilmiştir.

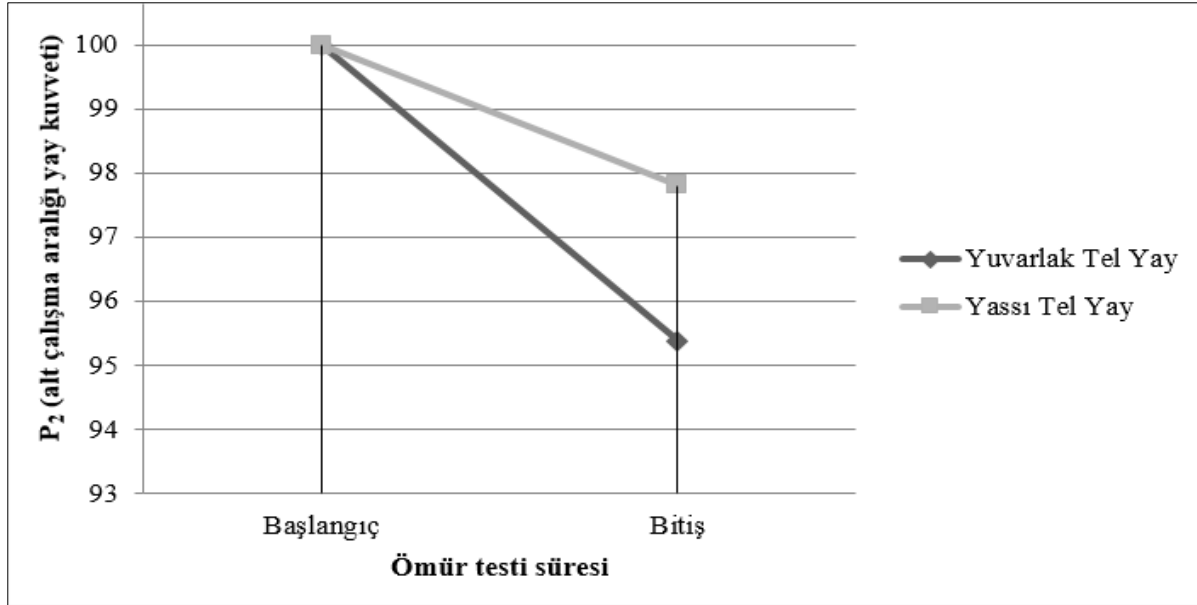
**Tablo 8.** Ömür testi sonuçları**Table 8.** Life test results

		Yuvarlak tel yay			Yassı tel yay		
		L <sub>0</sub> (mm)	P <sub>1</sub> (N)	P <sub>2</sub> (N)	L <sub>0</sub> (mm)	P <sub>1</sub> (N)	P <sub>2</sub> (N)
Başlangıç	N9	114,70	29,596	67,914	148,55	39,78	67,22
	N10	114,70	29,89	68,11	148,60	40,47	67,42
Bitiş	N9	110,70	25,774	64,28	143,70	38,416	65,75
	N10	110,80	26,362	65,36	<b>KIRILDI (47258. döngü)</b>		

**Tablo 9.** Ömür testi sonucuna göre yaylardaki kayıpların yüzdelik olarak gösterimi**Table 9.** The percentage of losses in the springs according to the life test result

	Yuvarlak tel yay			Yassı tel yay		
	L <sub>0</sub> (%)	P <sub>1</sub> (%)	P <sub>2</sub> (%)	L <sub>0</sub> (%)	P <sub>1</sub> (%)	P <sub>2</sub> (%)
Başlangıç	% 100	% 100	% 100	% 100	% 100	% 100
Bitiş	-% 3,32	-% 12,50	-% 4,61	-% 3,26	-% 3,45	-% 2,19

**Şekil 18.** Ömür testi sonucu L<sub>0</sub> (serbest boy)'da meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik  
**Figure 18.** The graph showing the percentage change in L<sub>0</sub> (free length) as a result of the life test**Şekil 19.** Ömür testi sonucu P<sub>1</sub> (üst çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen yüzdelik değişimi gösteren grafik**Figure 19.** The graph showing the percentage change in P<sub>1</sub> (upper working range spring force) as a result of the life test



**Şekil 20.** Ömür testi sonucu  $P_2$  (alt çalışma aralığı yay kuvveti)'de meydana gelen yüzdellik değişimi gösteren grafik

**Figure 20.** The graph showing the percentage change in  $P_2$  (lower working range spring force) as a result of the life test

Ömür testi tabloları incelendiğinde yassı tel yay numunelerden bir tanesinde ömür testinde kırılma meydana gelmesine rağmen, kırılmayan yassı tel yay numuneleri ömür testi sonuçlarına göre yuvarlak tel yaylara göre daha az kayıplar vermiştir. Özellikle yassı tel yayların  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde meydana gelen kayıplar yuvarlak tel yaylara göre çok daha düşük değerlerdedir. Ömür testinde yassı tel yayların 1 tanesi meydana gelen kırılma, üretim prosesi esnasında yay telinde basma yönünde oluşan artık gerilmelerden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Bu artık gerilmeler, üretim prosesinde alınacak önlemlerle giderilebileceği gibi gerilim giderme tavlama da uygulayarak kontrol altına alınabilir.

#### 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 deneysel testler uygulanmış ve her iki yay çeşidi için 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 değişimler ve kayıplar hesaplanarak değerlendirilmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Baskıya alma test sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların  $L_0$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle  $P_1$  değerlerinde meydana gelen kayıpların yuvarlak tel yaylarda çok daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır.

2. Yuvarlak tel ve yassı tel numune yaylarına 20.000 adet rodaj döngüsü ile uygulanan yorulma testi sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların  $L_0$ , ve  $P_1$  değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olmasına rağmen  $P_2$  değerlerinde ki kuvvet kayıplarının yaklaşık olarak eşit seviyede meydana geldiği tespit edilmiştir.

3. Yaylara uygulanan ömür testi esnasında yassı tel yaylardan bir tanesinde 47258. döngüde kırılma görülmüştür. Ayrıca 50.000'inci döngü sonrası kırılmayan yayların yay değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.



Kırılmayan yayların  $L_0$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde meydana gelen kayıplar incelendiğinde (özellikle  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde) yassı tel yaylarda meydana gelen kayıplar, yuvarlak tel yaylara göre daha düşüktür.

4. Uygulanan test sonuçlarına göre yuvarlak tel yayların  $L_0$ ,  $P_1$  ve  $P_2$  değerlerinde meydana gelen kayıpların yassı tel yaylara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu nedenlerle yassı tel yay numunelerinden bir tanesinde ömür testi döngüsü sonuna yaklaşırken kırılma meydana gelmiş olmasına rağmen yapılan testler sonrasında kayıpların daha az olması nedeniyle iğne ateşlemeli sistem silahlarda yerine getiren yay olarak yassı tel tercih edilmesi daha uygundur.

### Kaynaklar

- Akkurt, M., Savcı M. (1972). Makine elemanları, Sirketi Mürettebiye Basımevi, İstanbul.
- Associated Spring, Barnes Group, Design Handbook, (1982). Engineering guide to spring design, Associated Spring.
- Babalık, F.C. (1993). Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri, Cilt 1, Uludağ Üniversitesi.
- Gönen, D. (2009). Kalıp yayı olarak dikdörtgen kesitli yaylar yerine dairesel kesitli yayların kullanılabilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Güneş, A.T. (1977). Yaylar, *Mühendis ve Makine*, 21(224).
- Gürel, S. (2020). Hafif ateşli silahlarda kullanılan yuvarlak ve yassı telden üretilmiş yerine getiren yaylarda kuvvet kayıplarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Hall, A. (1980). Holowenko, A.R., Laughkin, H.G., McGraw-Hill Book Company, Machine Design.
- Karslı, M. (2016). Hafif silahlar için polimer kompozit malzeme seçimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Pavani, P.N.L., Prafulla, B.F., Pola Rao, C., Srikan, S. (2014). Design, modeling and structural analysis of wave springs, *Procedia Materials Science*, 6, 988–995.
- Shigley, J.E., Mischke C.R. (1996). Standard handbook of machine design, McGraw-Hill.
- Top-3-2-045, (2007). Test operations procedure: small arms-hand and shoulder weapons and machineguns, Small Arms Systems Division/Us Army Aberdeen Test Center.
- URL-1, (2020). <https://www.acxesspring.com/english/recoil-springs.html>, 01 Mayıs 2020.
- URL-2, (2020). <https://gallowayprecision.com/smith-and-wesson/m-and-p/assembly-guide-rod-for-m-and-p-full-size-pistols>, 05 Mayıs 2020.
- URL-3, (2020). <http://girsan.com.tr/>, 05 Mayıs 2020.
- Wahl, A.M. (1963). Mechanical Springs, McGraw-Hill Book Company, New York Toronto London.
- Zaloğlu, H. (2013). Finite element modelling and analysis of recoil springs in automatic weapons, Master's Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey.