



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



**Bir askeri hizmet taşıtında kullanılan parabolik yaprak yayın yay karakteristiğinin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla belirlenmesi**

*Determinaton of the spring characteristic of a parabolic leaf spring used in a military vehicle by using non-linear finite element analysis*

*Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Murat TOPAÇ<sup>1</sup>, İlker BAHAR<sup>2</sup>*

*ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-7462-1796*

*ORCID<sup>2</sup>: 0000-0002-5636-6031*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Topaç M. M., Bahar İ., “Bir askeri hizmet taşıtında kullanılan parabolik yaprak yayın yay karakteristiğinin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 115-120, (2019).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.389639

# Bir Askeri Hizmet Taşıtında Kullanılan Parabolik Yaprak Yayın Yay Karakteristiğinin Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Analizi Yardımıyla Belirlenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mehmet Murat TOPAÇ<sup>1\*</sup>, İlker BAHAR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 09.11.2017 ; Kabul/Accepted : 12.01.2018)

## ÖZ

Dört tekerlekten çekişli çok amaçlı bir hizmet taşıtının sabit ön süspansiyonunda kullanılan parabolik yaprak yayların yük-şekil değişimi karakteristiği, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla belirlenmiştir. Bu amaçla, taşıtın mevcut parabolik yaprak yaylarının ayrıntılı sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve sistemin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde yaprak yayın, düşey kuvvete bağlı şekil değişimi karakteristiği elde edilmiştir. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar simülasyonundan elde edilen sonuçlar, düşey yükleme testi sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Tekerleğin 146 mm'lik düşey yer değişiminde, sonlu elemanlar analizinden hesaplanan yay katsayısının, test sonuçlarından olan sapmasının, % 3,3 değerini aşmadığı belirlenmiştir. Çalışmanın son aşamasında, yay küpesinin yay karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Sunulan uygulama yardımıyla, taşıt gövdesi için hedeflenen düşey titreşim frekansını sağlayacak yaprak yayın tasarım boyutlarının belirlenmesi mümkündür.

**Anahtar Kelimeler:** Parabolik yaprak yay, yay karakteristiği, taşıt süspansiyonu, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, bilgisayar destekli mühendislik.

## Determinaton of the Spring Characteristic of a Parabolic Leaf Spring Used in a Military Vehicle by Using Non-Linear Finite Element Analysis

### ABSTRACT

The load-deflection characteristic of the parabolic leaf springs used in the solid front suspension of a four-wheel-drive multi-purpose service vehicle is determined by using nonlinear finite element analysis. For this purpose, a detailed finite element model of the parabolic leaf springs of the vehicle was created and the non-linear finite element analysis of the system was carried out. By this way, vertical force-deflection characteristic of the leaf spring was obtained. Results obtained from the non-linear finite element simulation are in good agreement with the results of the vertical loading test. It was determined that the deviation between the spring coefficient obtained from the finite element analysis and the test results does not exceed 3.3% for 146 mm of the wheel travel. In the final stage of the work, the influence of shackle on the spring characteristic was investigated. By using the present application, it is possible to determine the leaf spring design dimensions that will provide the targeted vertical vibration frequency for vehicle body.

**Keywords:** Parabolic leaf spring, spring characteristic, vehicle suspension, non-linear finite element analysis, computer aided engineering.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

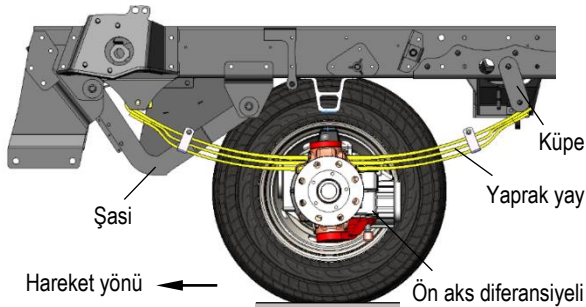
Yaprak yaylar; yüksek yük taşıma kapasiteleri, tekerlek temas noktasına tüm yönlerde etkiyen kuvvetleri karşılayabilmeleri, birden fazla bağlantı noktasına sahip olmaları, kuvvetleri şasiye daha düşük zorlama altında iletmeleri gibi avantajları nedenleriyle, sabit süspansiyon sistemine sahip taşıtların önemli bir bölümünde halen

uygulanmaktadır [1, 2]. Sabit süspansiyonlu bir genel maksat taşıtının ön aksı için örnek bir parabolik yaprak yay uygulaması, Şekil 1'de, yayın temel yapı elemanları ise Şekil 2'de verilmektedir. Yaprak yay uygulamada, bir ya da merkezleme pimiiyle birleştirilmiş birden fazla yay yaprağından oluşmaktadır. Katmanlar temel olarak, sürtünmeler ihmal edilirse, yük altında eğilmeye çalışmaktadır.

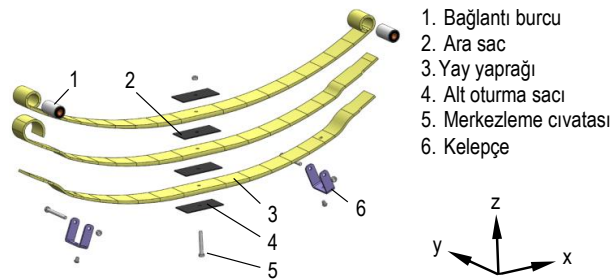
Taşıt süspansiyonunda kullanılacak yayın katsayısı ve amortisör sönüm değeri, gövdenin titreşim davranışını,

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : murat.topac@deu.edu.tr

dolayısıyla taşıtın konfor ve kontrol karakteristiklerini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu nedenle de seçilecek yayın, tasarım aşamasında belirlenen yay katsayısı ihtiyacını karşılıyor olması gerekir. Sonlu elemanlar analizi yardımıyla, bu ihtiyaca uygun bir yayın tasarlanması mümkündür. Açık literatürde, parabolik yaprak yayların yay karakteristiğinin sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla elde edilmesine ve sistemin bilgisayar destekli tasarımına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Qin ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, Hotchkiss tipi sabit bir süspansiyonda kullanılan parabolik yaprak yay üzerinde oluşan gerilme ve şekil değişimini farklı yükleme koşulları için doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla incelemişler ve sayısal olarak elde ettikleri yay karakteristiğini test sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır [3]. Kong ve arkadaşları, yayınladıkları çalışmalarında, parabolik tip bir yaprak yayın yükleme karakteristiğini, eksplisit doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle belirlemişlerdir [4]. Bhandarkar ve arkadaşları, arkadan motorlu bir taşıtın arka aks parabolik yaprak yayının tasarımını ve gerilme analizini sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir [5]. Literatürde sunulan çalışmalar genellikle, yayın süspansiyon sistemine ya da bir şasiye bağlanmadığı serbest durum için gerçekleştirilmiştir. Ancak yayın aks ve şasi bağlantılarının tipi; (yay oturma uzunluğu, yayın etkin yaylanma boyu ve yay küpesi) yayın karakteristiğini etkilemektedir [6].



Şekil 1. Bir genel maksat taşıtının sabit ön aksı (Solid front axle of a general purpose vehicle)



Şekil 2. Yaprak yayın yapı elemanları ve kullanılan eksen takımı (Structural elements of the leaf spring and the axis convention)

Bu çalışmada, parabolik yaprak yay karakteristiklerinin, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla elde edilmesine yönelik örnek bir inceleme sunulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında, mevcut bir askeri hizmet taşıtının ön aksında kullanılan parabolik yaprak yayın ayrıntılı katı modeli oluşturulmuştur. Daha sonra bu model, ANSYS® Workbench ticari sonlu elemanlar yazılımına aktarılmıştır. Yay bağlantı bölgeleri için gerekli sınır koşulları tanımlandıktan sonra, sistemin doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiş ve yükleme-şekil değişimi (F-δ) karakteristiği elde edilmiştir. Bu sonuçlar, aynı yayın yükleme testlerinden elde edilen karakteristikle doğrulanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, etkin yay uzunluğunun ( $L_{ef}$ ) ve serbest yay gözünün yaylanma sırasında taşıt boyuna eksenindeki hareketini mümkün kılan küpenin yay karakteristiğine etkileri de incelenmiştir. karşılaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

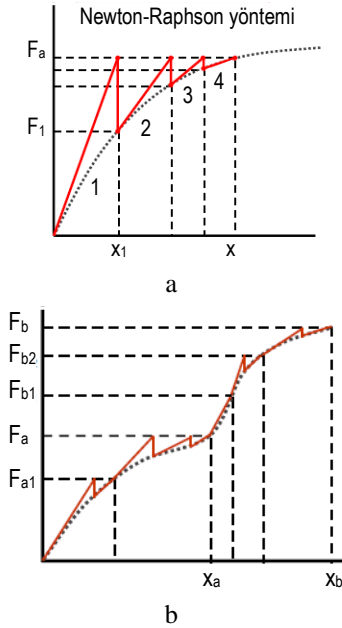
Elastik bir sisteme etkiyen kuvvet  $\{F\}$  ve bunun oluşturduğu şekil (ya da yer) değişimi  $\{u\}$  arasındaki doğrusal ilişki:

$$\{F\} = [K]\{u\} \quad (1)$$

şeklinde [7]. “Hooke Kanunu” olarak bilinen bu ifadede  $[K]$ , yapının elastikiyetini temsil eden direngenlik matrisidir. Uygulamada ise sistemler, geometrik olarak ya da malzeme açısından doğrusal olmayan özellik gösterebilir. Ayrıca, artan şekil değişimine bağlı olarak temas yüzeylerinin birbirinden ayrılması veya yeni temas yüzeylerinin oluşması, incelenen yapının katılığını, dolayısıyla da  $[K]$  matrisini değiştirmekte ve sistemi doğrusal olmayan hale getirmektedir. Sistemin yapısına göre, sayılan bu üç durumun, aynı anda ortaya çıkabilmesi mümkündür. Kuvvet etkisi altında, sistemde çok büyük şekil değişimleri ortaya çıkıyorsa, bu sistem geometrik olarak doğrusal olmayan özellikte kabul edilir.

Parabolik yaprak yayın yük altındaki şekil değişimi analizi de yukarıda sayılan durumları içerdiğinden, bu çalışmada doğrusal olmayan analizi uygulanmıştır. Doğrusal olmayan şekil değişimi etkisi, doğrusal denklem sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulabilir. Denklem sistemlerinin çözümü ise iterasyonlar yardımıyla gerçekleştirilir [8]. ANSYS® sonlu elemanlar paketi, bu iterasyonları, Newton-Raphson algoritmasını kullanarak gerçekleştirmektedir. Çözüm sırasında gerçekleştirilen her iterasyon, “denge iterasyonu” olarak adlandırılır. Newton-Raphson metodunda, sisteme ilk olarak bir  $F_a$  kuvveti uygulanır. Daha sonra bu kuvvetin oluşturduğu şekil değişimi  $x_1$  ve iç kuvvet ( $F_1$ ) hesaplanabilir (Şekil 3.a). Eğer  $F_a = F_1$  eşitliği sağlanamazsa, sistem dengede değildir. Bu durumda, o koşullar için yeni bir  $[K]$  matrisi hesaplanır. Sistemin kararlı hale gelmesi için  $F_a$  ile  $F_1$  arasındaki farkın, seçilen bir tolerans değerine kadar azaltılması gerekir. İterasyon, bu koşul sağlanan kadar sürer. Şekil 3.a’da görülen örnekte sistem, dört adet denge iterasyonu ile dengeye ulaşmaktadır. Problem

çözümlerinde yakınsamayı kolaylaştırmak amacıyla uygulanan kuvvetler ya da şekil değişimleri, kendi içinde parçalara bölünebilir. Bu parçalar, zamana bağlı olarak ya da alt adımlar şeklinde uygulanabilir. Şekil 3.b'de, problem çözümü için  $F_a$  ve  $F_b$  olmak üzere iki adet kuvvet adımı uygulanmıştır.  $F_a$  kuvveti,  $F_{a1}$  alt adımıyla uygulanırken,  $F_b$  kuvveti,  $F_{b1}$  ve  $F_{b2}$  alt adımlarıyla uygulanmıştır. Diyagram üzerinde, kırmızı ve siyah karakteristiklerin kesişim noktaları, problem çözümünde yakınsamanın sağlandığı değerleri göstermektedir. Kuvvet alt adımlarının, zamana bağlı olarak uygulanması da mümkündür.



Şekil 3. a. Newton-Raphson yönteminin şematik gösterimi b. Doğrusal olmayan analizi için kuvvet alt adımları [7, 8] (a. Schematic for Newton-Raphson method b. force substeps for non-linear finite element analysis)

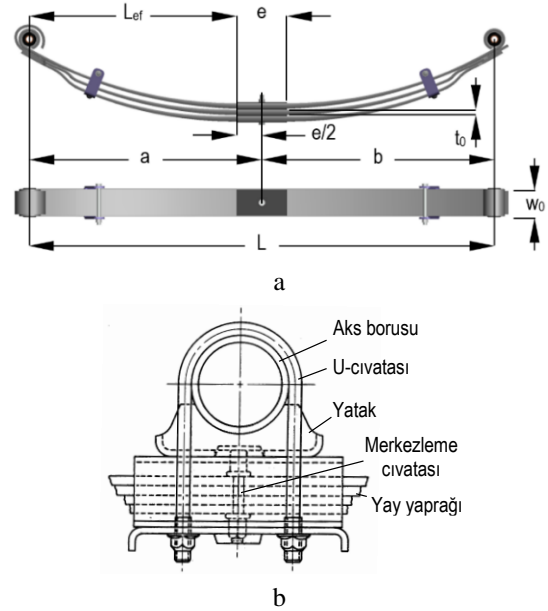
### 3. SONLU ELEMANLAR MODELİ (FINITE ELEMENT MODEL)

Çalışma kapsamında incelenen parabolik yaprak yayın, imalat resimleri yardımıyla oluşturulan katı modeli ve temel boyutları, Şekil 4.a'da verilmektedir. Oluşturulan katı model, toplam yirmi üç yapı elemanından oluşmaktadır (Şekil 2). Yay yaprağının merkezdeki kalınlığı,  $t_0$  (mm):

$$t_0^3 = c_F \frac{4a^2b^2}{Ew_0L c_v} \quad (2)$$

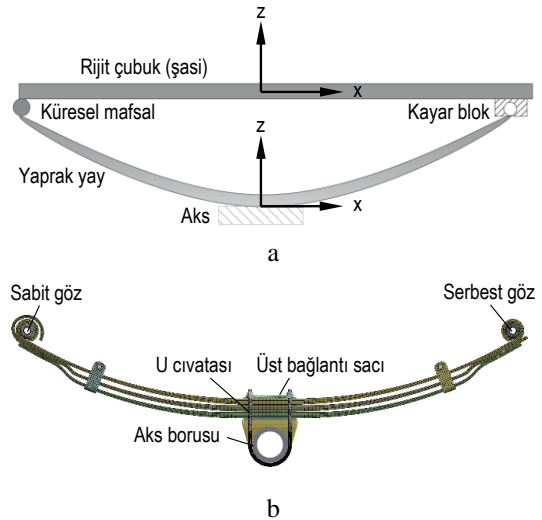
denklemleriyle verilmektedir. Burada,  $c_F$ , serbest halde yay katsayısı (N/mm),  $a$  ve  $b$ , sabit ve serbest gözlerin merkezleme civatası eksenine uzaklığı (mm),  $E$ , elastisite modülü,  $w_0$ , yaprak genişliği (mm),  $L$ , yaprak yay boyu (mm),  $c_v$ , düşey yay katsayısı için faktör [6] şeklindedir. Yayın temel boyutları kullanılarak, yayın serbest durumdaki katsayısı hesaplanabilir. Yaprak yaylar uygulamada, sabit akslara, Şekil 4.b'de görülen U civataları ve diğer yardımcı yapı elemanları yardımıyla bağlanır. Bu bağlantı, yayın serbest yaylanan boyunu

( $L_{ef}$ ) kısaltmakta ve yay karakteristiğinin belirli ölçüde değişmesine neden olmaktadır. Buna ilave olarak, yay bağlantı küpesinin de (Şekil 1.b) yay katsayısı üzerinde %50'ye varan ölçüde etkisi olduğu literatürden bilinmektedir [6].



Şekil 4. a. Parabolik yaprak yayın boyutları b. yayın aks bağlantısı [6] (a. Dimensions of parabolic leaf spring b. axle mounting of the spring [6])

Yayın doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizinde, Omar ve arkadaşları tarafından önerilen ve Şekil 5.a'da görülen sınır koşulları uygulanmıştır [9]. Ancak bu modelden farklı olarak, yayın taşıy gövdesine bağlı sabit gözünde, küresel mafsalları yerine, yalnızca y ekseninde dönme serbestliği sağlayan döner mafsalları tanımlanmıştır. Hareketli göz ise x ekseninde boyunca ve y ekseninde serbest bırakılmıştır. Yaprak yayın sonlu elemanlar modeli Şekil 5.b'de görülmektedir.



Şekil 5. a. Yaprak yay için sınır koşulları [9] b. Sonlu elemanlar modeli (a. Boundary conditions for leaf spring [9] b. finite element model)

Sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında, genellikle doğrusal olmayan problemler için tercih edilen bir eleman tipi olan SOLID186 kullanılmıştır. Yirmi düğüm noktasına sahip bu kare eleman, yüksek dereceli yer değiştirme içeren sonlu elemanlar simülasyonlarına olanak sağlamaktadır. Yay malzemesine ait, elastisite modülü (E), Poisson oranı ( $\nu$ ), akma sınırı ( $R_p$ ), çekme dayanımı ( $R_m$ ) ve kopma uzaması (A) gibi temel mekanik değerler, Çizelge 1’de verilmektedir.

Düşey yükleme testini simüle etmek için  $F= 17.000$  N değerindeki düşey kuvvet, sonlu elemanlar modeline, alt oturma sacından z ekseninde ve basamaklar halinde uygulanmıştır. Yer değişimi ve kuvvet için elde edilen iteratif yakınsama adımları, örnek olarak Şekil 6.a ve Şekil 6.b’de verilmektedir.

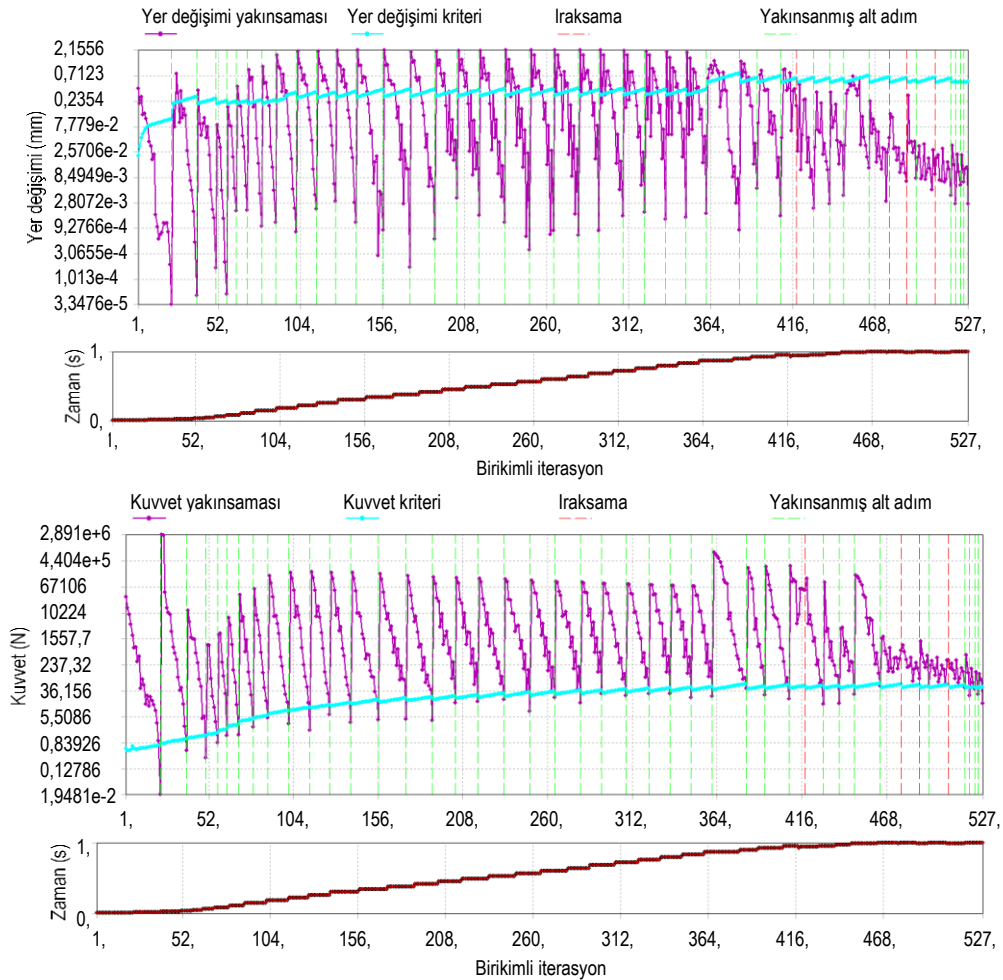
#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Yaprak yayın, aksa bağlanmamış durumda ve  $F= 17.000$  N değerinde düşey yük altında, 146 mm’lik düşey şekil değişimi simülasyonu, Şekil 7.a’da verilmektedir. Şekil 7.b’de ise Denklem 2’ye (SAE) göre hesaplanmış yay katsayısı ( $c_F= F / \delta$ ) ve doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizinden elde edilen yay karakteristiği (SE), üretilmiş yayın düşey yükleme testinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır.

$z= 0-45$  mm düşey şekil değişimi ( $\delta$ ) aralığı için her üç karakteristik arasındaki fark, ihmal edilebilir düzeydedir. 100 mm’lik şekil değişimi için denklem 2’ye göre yapılan hesaplama ile test sonuçları arasında %5,7 fark olduğu görülmektedir. Yayın  $z=146$  mm’lik düşey şekil değişimi aralığında, doğrusal olmayan sonlu elemanlar

Çizelge 1. 50CrV4 (DIN17221) Malzemesinin mekanik özellikleri [10] (Mechanical properties of 50CrV4 (DIN17221) [10])

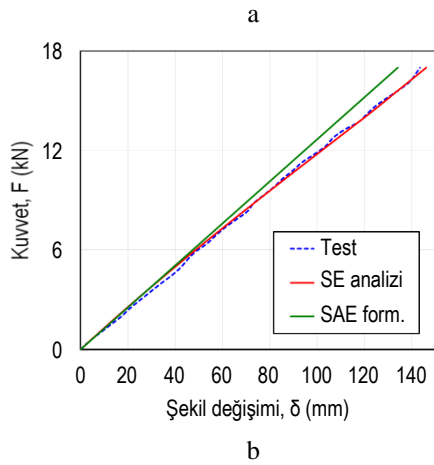
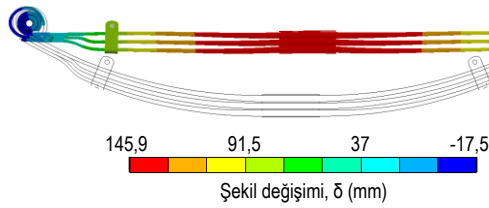
Malzeme	E (GPa)	$\nu$ (-)	$R_p$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	A(%)
50CrV4 (1.8159)	210	0,3	1180	1370-1670	6



Şekil 6. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi için iterasyon adımları: a. yer değişimi b. kuvvet (iteration steps for non-linear finite element analysis: a. displacement b. force)

analizi yardımıyla elde edilen yay karakteristiğinin test sonuçlarından olan sapmasının, % 3,3 değerini aşmadığı belirlenmiştir.

Her üç yöntemden elde edilen yay katsayıları Çizelge 2'de karşılaştırılmaktadır. Buna göre doğrusal olmayan analizinden elde edilen ortalama yay katsayısı, test sonuçlarından %1 kadar saptmaktadır. SAE formülü için ise bu sapma %7,3 mertebesindedir. Ortaya çıkan bu sapmanın nedeni, Denklem 2'de, göz burçlarının elastik özelliğinin ve iç sürtünmelerin dikkate alınmaması olarak açıklanabilir. Üretim sırasında yay çeliğine uygulanan ısıl işlemin, elastisite modülü ve dolayısıyla da yay katsayısı üzerinde dikkate değer bir etkisi bulunmamaktadır.



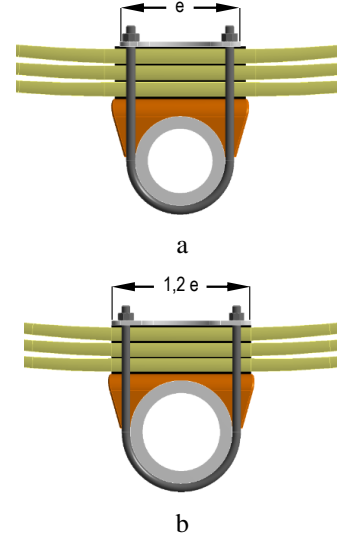
**Şekil 7.a.** Yaprak yayın elastik şekil değişimi simülasyonu **b.** yay karakteristikleri (**a.** Elastic deformation simulation of leaf spring **b.** spring characteristics)

**Çizelge 2.** SAE formülasyonu, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi (DO-SEA) ve test sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of the results of SAE formulation, non-linear finite element analysis and test)

Model tipi	Analitik	DO-SEA	Test
$c_{F,ort}$ (N/mm)	126,93	116,5	117,63

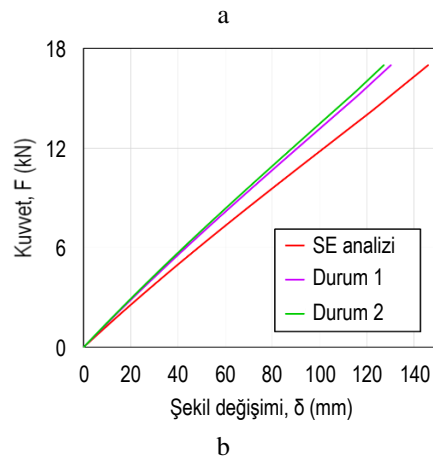
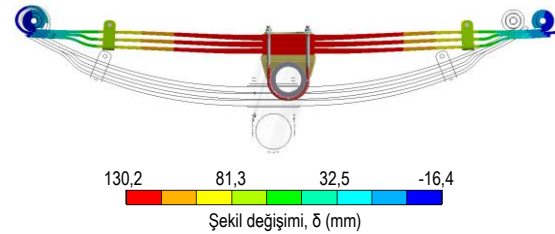
Bir sonraki aşamada, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, yayın aks bağlantı konstrüksiyonu (Şekil 8.) dikkate alınarak tekrarlanmıştır (Durum 1). Bu analizden elde edilen şekil değişimi, Şekil 9.a'da görülmektedir. Yay,  $z=130$  mm'lik düşey şekil değişiminde düzlemsel konuma gelmektedir. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, süspansiyon sistemi için seçilen aks borusu çapının aks oturma uzunluğunda, dolayısıyla serbest yay uzunluğunda meydana getirdiği değişimin, yay katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla oluşturulan model, Şekil 8.b'de görülmektedir. Yeni modelde, üst

bağlantı sacının yay oturma uzunluğu  $e$ , %20 mertebesinde artırılmış (Durum 2) ve düşey yükleme simülasyonu, yük koşulları ve yay geometrisi aynı kalacak şekilde yinelenmiştir. Gerçekleştirilen bu değişikliğin, yay katsayısını %2,5 oranında artırdığı tespit edilmiştir.



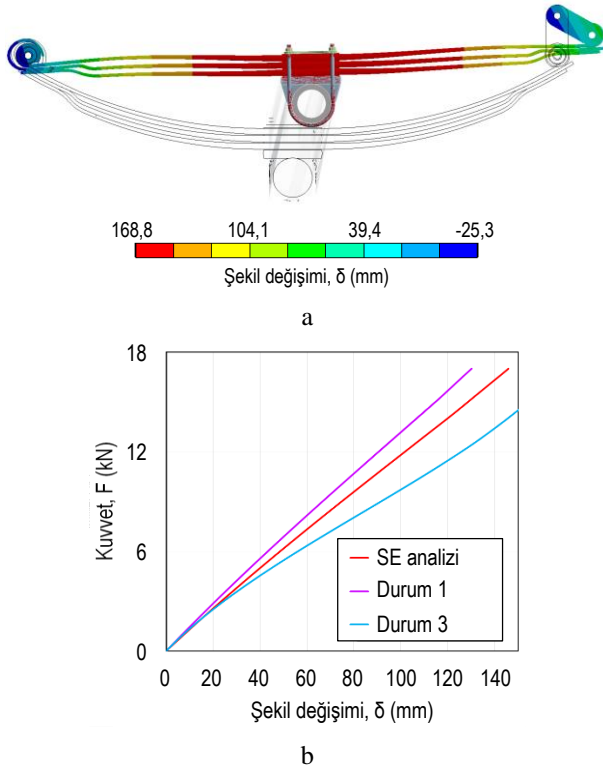
**Şekil 8.a.** Durum 1 **b.** durum 2 (**a.** Case 1 **b.** case 2)

Şekil 9.b'de, yayın serbest doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizinden elde edilen karakteristiği, taşıtın mevcut aks borusu ve U-cıvatası bağlantısı dikkate alınarak gerçekleştirilen (Durum 1) analizden ve oturma uzunluğu %20 artırılmış üst bağlantı sacı uygulamasından (Durum 2) elde edilen karakteristiklerle karşılaştırılmaktadır.



**Şekil 9.a.** Yaprak yayın elastik şekil değişimi simülasyonu **b.** oturma uzunluğunun etkisi (**a.** Elastic deformation simulation of leaf spring **b.** effect of the seat length)

Son olarak, yay küpesinin yükleme karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, oluşturulan yay modeline, Şekil 10.a'da görülen küpe eklenmiştir. Küpenin statik yükleme durumunda düşey konumda olduğu varsayılmıştır. Bu modelde, Omar ve arkadaşları tarafından önerilen modelden [9] farklı olarak, yayın serbest bağlantı gözü, x eksenine ek olarak, z ekseninde de (Şekil 5.a'ya göre) konum değiştirebilmektedir. Şekil 10.b'de görüldüğü gibi, küpenin analize dahil edilmesiyle, aksa monte edilmiş yayın yay katsayısı, yaklaşık %20 oranında azalmaktadır (Durum 3).



Şekil 10.a. Yaprak yayın elastik şekil değişimi simülasyonu b. yay küpesinin etkisi (a. Elastic deformation simulation of leaf spring b. shackle effect)

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

Dört tekerlekten çekişli çok amaçlı bir askeri taşıtın sabit ön aksında kullanılan yaprak yayın yükleme karakteristiği, doğrusal olmayan analizi yardımıyla belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, yay yükleme testinden elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, aynı analiz, yayın süspansiyon sistemine U-cıvatalarıyla bağlandığı durum için tekrarlanmış ve bağlantı uzunluğunun karakteristiğe etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, aşağıda özetlenmektedir:

- Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yardımıyla, yay karakteristiğinin test sonuçlarına oldukça yakın olarak elde edilebildiği görülmüştür. Yayın 0-146 mm'lik düşey şekil değişimi aralığında, yay karakteristiğinin test sonuçlarından olan sapmasının, % 3,3 değerini aşmadığı belirlenmiştir.

- Aks gövdesi bağlantı cıvatasının (U cıvatası) yay rijitliğini, bu tasarım örneğinde, yaklaşık %12 oranında artırdığı belirlenmiştir.
- Yaprak yay oturma uzunluğunun, bu tasarım örneğinde, yay rijitliğini yaklaşık %2,5 oranına kadar değiştirebildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, aks borusu çapının da montajlı durumdaki yay karakteristiğine, dolaylı ve ihmal edilebilir ölçüde bir etkisi bulunmaktadır.
- Yay küpesinin bu tasarım örneğinde, aksa monte edilmiş yayın yay katsayısını yaklaşık % 20 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, yay küpesi etkisi de süspansiyon tasarımında dikkate alınması gereken bir unsurdur.

Bu çalışmada özetlenen yöntem kullanılarak, süspansiyon sisteminde kullanılacak yaprak yayın, ihtiyaca uygun şekilde boyutlandırılması mümkündür.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Reimpell J., "Fahrwerktechnik: Radaufhängungen", *Vogel Buchverlag*, Würzburg, (1988).
- Reimpell J., Stoll H., Betzler J.W., "The Automotive Chassis: Engineering Principles", *Butterworth-Heinemann*, Oxford, (2002).
- Qin P., Dentel G., Mesh M., "Multi-leaf spring and Hotchkiss suspension CAE simulation", *2002 ABAQUS Users' Conference*, Newport, 1-14, (2002).
- Kong Y.S., Omar M.Z., Chua L.B., Abdullah S., "Explicit nonlinear finite element geometric analysis of parabolic leaf springs under various loads", *The Scientific World Journal*, Article ID 261926, (2013).
- Bhandarkar D.K., Shekhawat S.P., "Design, analysis and optimization of leaf spring", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3: 13658-13666, (2014).
- SAE Spring Committee, "Spring Design Manual", *Society of Automotive Engineers*, Warrendale, (1990).
- "ANSYS Mechanical, Introduction to Structural Nonlinearities", *ANSYS, Inc.*, (2014).
- Yıldız H., Kırılı O., "Derin çekme işleminin doğrusal olmayan sonlu elemanlar metodu yardımıyla modellenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10: 317-326, (2004).
- Omar M.A., Shabana A.A., Mikkola A., Loh W.Y., Basch R., "Multibody system modeling of leaf springs", *Journal of Vibration and Control*, 10: 1601-1638, (2004).
- DIN 17221, "Hot rolled steels for quenched and tempered springs quality specifications", (1972).