

## CNG DÖNÜŞÜMÜ YAPILAN BİR HAFİF TİCARİ ARACIN SÜSPANSİYON BÖLGESİNİN CAE METODLARI İLE GELİŞTİRİLİP TESTLER İLE DOĞRULANMASI

Fatih Kağncı \*, Sertaç Dileroğlu \*

\*Hexagon Studio, Araç Mühendisliği Bölümü

### ÖZET

Araç geliştirme projelerinde bilgisayar destekli mühendislik metodları, sanal prototipler ve komponentler üzerinde analizler yapılmasına olanak vererek tasarım sürelerinin kısalması yönünde önemli katkılar sağlamaktadır. Bilgisayar ortamında oluşturulan sanal prototiplerle benzetimler yapılabilmekte beraber sanal prototip aşamasında yapılan mühendislik kabulleri nedeniyle oluşturulan sanal model ile gerçek model birebir aynı şartları taşımadığı için güvenlik açısından risk oluşturabilecek durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle kritik bölgeler için yapılan analizlerin gerçek model üzerinde yapılacak testlerle doğrulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, hafif ticari bir aracın bi-fuel (CNG ve Benzinli) versiyonunun tasarımının yapılarak seri üretime hazır hale getirilmesini içeren bir proje kapsamında, sanal ortamda modellenmesi sırasında çok kabul içeren ve kritik bölgelerden biri olan yaprak yay bölgesinde yapılan değişikliklerin bilgisayar destekli mühendislik yöntemleri kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiş ve bu analizler testlerle doğrulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yaprak Yay, Dinamik Simülasyon, Dayanım Analizi, Test ve Doğrulama

### SUSPENSION DEVELOPMENT VIA CAE METHODS OF A CNG INTEGRATED LIGHT COMMERCIAL VEHICLE AND VALIDATION WITH DURABILITY TESTS

### ABSTRACT

Methods of the computer aided engineering provide a significant contribution for the R&D projects because of the fact that these methods enable the analysis on virtual prototypes and components also shortening the duration of the project. Analysis on virtual prototypes and components are very similar with real ones on the other hand this virtual models cannot meet exactly same conditions as real models. In this case, validation tests are necessary for real models to validate results of the computer aided analysis which are performed on critical areas.

In this study, analysis of the changes on the spring leaf area of a light commercial vehicle were performed by using computer aided engineering methods in the scope of a bi-fuel (CNG & gasoline) vehicle design project. Because of difficulties on modeling of spring leaf area, this area is very critical to investigate via CAE methods. So, the results of CAE analysis were validated the results by performing tests on real prototype.

**Keywords:** Leaf Springs, Dynamic Simulation, Durability Analysis, Test and Validation

### 1. GİRİŞ

Araç konforu ve sürüş kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri aracın süspansiyon bölgesinin tasarımıdır. Çeşitli araç tipleri için farklı süspansiyon sistemleri geliştirilmiştir. Süspansiyon bölgesi aracın sürüş kalitesini arttırmasının yanında aynı zamanda yoldan kaynaklanan dinamik zorlanmalara karşı araç gövdesine

aktarılabilecek yükleri de belli ölçüde sönmeler. Bu nedenle süspansiyon sistemini oluşturan parçaların tasarımı dayanım açısından detaylı olarak irdelenmelidir.

Otomotiv sektöründe kullanımı hızlı bir şekilde artan bilgisayarlı destekli mühendislik çalışmaları (CAE) sayesinde araç alt sistemleri ve parçaları oldukça hızlı ve daha düşük maliyetli olarak tasarlanmaktadır. Burada ön plana çıkan konu ise bu CAE çalışmalarının gerçeği

temsil etme oranının artırılması için testlerle korelasyonunun yapılmasıdır. Özellikle süspansiyon gibi yay ve damperden oluşan karmaşık sistemlerin bilgisayar ortamında yapılan analizlerinin testlerle doğrulanması gerekmektedir.

Yaprak yaylı süspansiyon sistemleri ticari araçlarda sıklıkla kullanılan bir çözümdür. Bu sistemlerin araç dinamiğine ve sürüş kalitesine önemli etkileri vardır. Bu sistemlerin hem CAE hem de test ile doğrulanması ile ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 2002 yılında Qin P. ve diğ. [1] farklı yükler altında iki katmanlı yaprak yayın non-liner sonlu elemanlar analizini yapıp gerilme ve gerinme değerlerini incelemişler ve buldukları sonuçları laboratuvar ortamında yaptıkları test sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Lin S.-H ve diğ. [2] 2007 yılında yaptıkları çalışmada ise aracın test düzeniğinden aldıkları çok eksenli yol yükleri ile süspansiyon sisteminin dayanıklılık analizlerini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar ile süspansiyon sisteminin yorulma ömürlerini tahmin etmeye çalışmışlardır.

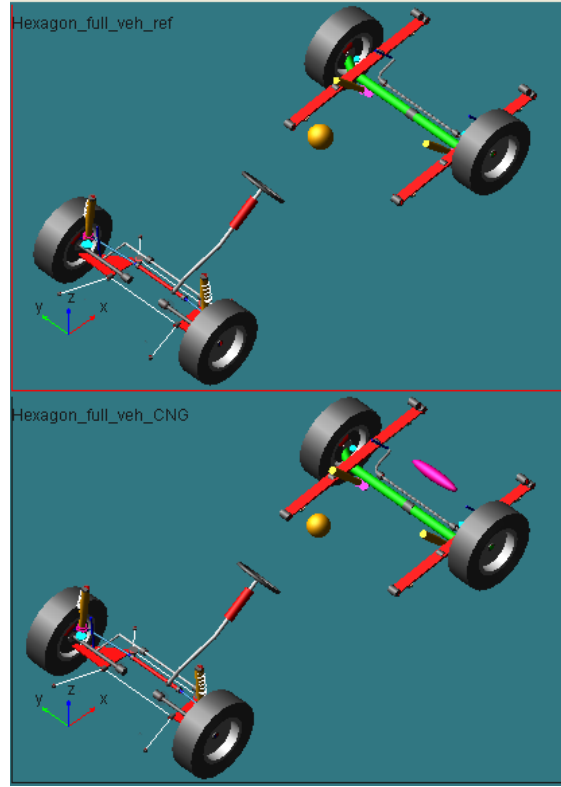
2011 yılında yapılan diğer bir çalışmada, Kanbolat A. ve diğ. [3] CAE ortamında yaprak yayda kullanılan malzemenin etkisini, üretim metodunu ve geometrik toleranslarını içeren bir parametre çalışması yapmışlar, elde ettikleri sonuçları testler ile karşılaştırmışlardır.

Aynı yıl yapılan diğer bir çalışmada ise Arora V. ve diğ. [4] yaprak yaylı simülasyon sisteminin CAE çalışmalarını kurdukları test düzeneği ile doğrulamışlardır.

Bu çalışmada ticari bir aracın, bi-fuel (CNG ve Benzinli) versiyonunun tasarımının yapılarak seri üretime hazır hale getirilmesini içeren bir proje kapsamında süspansiyon bölgesinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. CNG tanklarının aracın arka aks bölgesine konumlandırılması sonucunda aracın yere en yakın olduğu mesafe (ground clearance) değerinde değişiklik meydana gelmiştir. Gerekli olan mesafenin sağlanabilmesi için yaprak yaylar üzerine yükseltme takozları konularak araç yükseltilmiştir. Yapılan bu değişikliğin araç dinamiğine ve aracın yapısal dayanımına etkisi analizlerle hesaplanmış ve bulunan sonuçlar dayanım testleri ile doğrulanmıştır.

## 2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ MÜHENDİSLİK (CAE) ÇALIŞMALARI

CNG dönüşümü yapılan aracın arka süspansiyon bölgesine yerleştirilen CNG tankları nedeniyle yer ile minimum mesafede meydana gelen değişim nedeniyle bu bölgeye mevcut mesafeyi koruması için 40 mm yüksekliğinde takozlar konulması kararlaştırılmıştır. Konumlandırılacak bu takozun araç gövdesi ve aks bölgesinde herhangi bir dayanım sorunu oluşturmaması için öncelikle aracın takozsuz ve takozlu durumu için ADAMS/Car programı kullanılarak araç dinamiği modeli oluşturulmuştur. (Şekil 1)



Şekil 1. Araç dinamiği modelleri

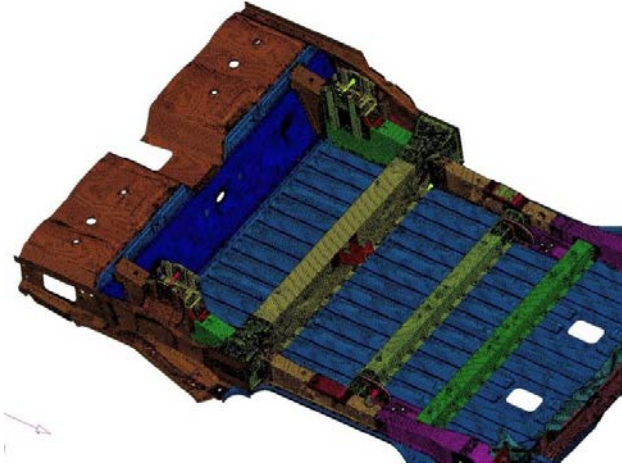
Oluşturulan dinamik model ile önceden belirlenmiş statik durum senaryolarına göre araç gövdesine ve arka aks bölgesine gelen yükler hesaplanmıştır. Bu senaryolar süspansiyonlara etkiyebilecek maksimum yükleri oluşturacak potansiyel durumlardır ve aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- "1g Weight"
- "3g Bump"
- "1g Cornering"
- "Braking"
- "Reverse Braking"
- "Lateral Kerb Strike"
- "Longitudinal Shock"
- "Reverse Shock"
- "Pothole Braking"

Belirlenen bu senaryolara göre dinamik simülasyonlar yapılmış olup araç gövdesine aktarılan ve arka aks bileşenlerinde oluşan yükler hesaplanmıştır. Daha sonra bu yükler kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle statik analizler yapıp takozlu ve takozsuz durumda dayanım durumları karşılaştırılmıştır.

### 2.1 Araç Gövdesine Gelen Yükler ile Yapılan Statik Analizler

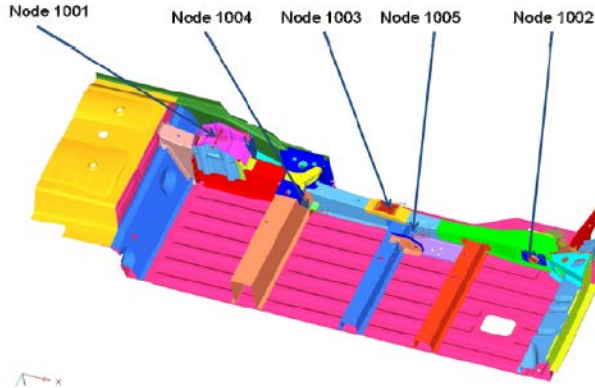
Araç gövdesinin sonlu elemanlar modeli HYPERMESH yazılımı ile oluşturulmuştur. (Şekil 2)



Şekil 2. Gövde sonlu elemanlar modeli

ADAMS/Car programından elde edilen yükler gövdenin sağ ve sol tarafından süspansiyon bağlantılarını temsil eden beşer noktaya uygulanmıştır. Bu noktalar sol taraf için aşağıdaki gibi belirlenmiştir. (Şekil 3)

- Ön yay bağlantı noktası (Node 1001)
- Arka yay bağlantı noktası (Node 1002)
- "Bumpstop" bağlantı noktası (Node 1003)
- Damper bağlantı noktası (Node 1004)
- "Droplink ARB" bağlantı noktası (Node 1005)



Şekil 3. Yüklerin gövdenin sol tarafına uygulandığı noktalar

NASTRAN programıyla çözdürülen statik analizlerin her bir durum için maksimum gerilme sonuçları aracın ilk hali ve CNG dönüştürülmüş hali için Şekil 4'de gösterilmiştir.

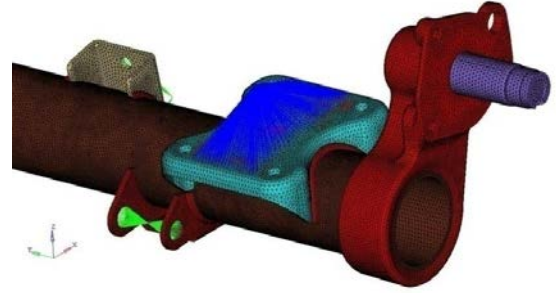
Şekilden görüldüğü üzere farklı durumlar için yapılan analizlerin sonuçlarda önemli bir farklılık görülmemektedir. En yüksek farklılık %1,9 ile "Braking" durumu için bulunmuştur.

LOADCASE	CNG VEHICLE VM STRESS (Mpa)	CNG VEHICLE WITH 40 mm. SPACER	% CHANGES
1g Weight	149	151	1.34
3g Bump	589	590	0.17
1g Cornering	897	908	1.23
Braking	158	161	1.90
Reverse Braking	140	141	0.71
Lateral Kerb Strike	1080	1080	0.00
Longitudinal Shock	489	490	0.20
Reverse Shock	520	524	0.77
Pothole Braking	583	588	0.86

Şekil 4. Gövde statik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

## 2.2 Arka Aksa Gelen Yükler ile Yapılan Statik Analizler

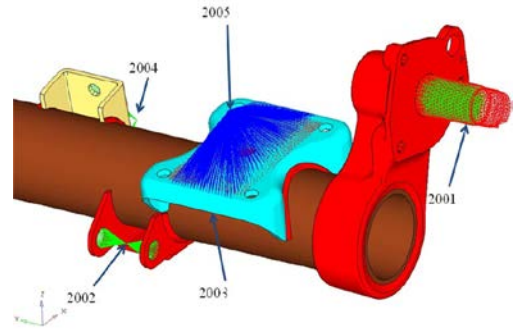
Benzer şekilde arka aks bölgesinin sonlu elemanlar modeli HYPERMESH yazılımı ile oluşturulmuştur. (Şekil 5)



Şekil 5. Arka aks sonlu elemanlar modeli

ADAMS/Car programından elde edilen yükler arka aksın sağ ve sol tarafından beşer noktaya uygulanmıştır. Bu noktalar sol taraf için aşağıdaki gibi belirlenmiştir. (Şekil 6)

- Tekerlek merkez noktası (Node 2001)
- Damper bağlantı noktası (Node 2002)
- Yaprak yay U-Civata bağlantı noktası (Node 2003)
- "ARB Bushing" bağlantı noktası (Node 2004)
- "Bumpstop" bağlantı noktası (Node 2005)



Şekil 6. Yüklerin arka aksın sol tarafına uygulandığı noktalar

Yapılan analizlerin sonuçları her bir durum için hesaplanan maksimum gerilmeler karşılaştırılarak Şekil 7'de gösterilmiştir.

LOADCASE	CNG VEHICLE VM STRESS (Mpa)	CNG VEHICLE WITH 40 mm. SPACER	% CHANGES
1g Weight	118	119	0.85
3g Bump	488	488	0.00
1g Cornering	505	503	-0.40
Braking	289	290	0.35
Reverse Braking	111	111	0.00
Lateral Kerb Strike	431	450	4.41
Longitudinal Shock	409	409	0.00
Reverse Shock	347	355	2.31
Pothole Braking	761	769	1.05

**Şekil 7.** Arka aks statik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz sonuçlarına göre en büyük farklılık %4.41 "Lateral Kerb Strike" durumu için görülmektedir. Fakat bu değer de %5 in altında olduğu için kritik bir durum oluşturmayacağı öngörülmüştür.

Genel olarak incelendiğinde takoz kullanımının dayanım açısından hem gövde hem de aks için bir farklılık yaratmadığı bilgisayar destekli mühendislik araçları yardımıyla görülmüştür. Bu durumun doğrulanması için testler ile benzer bir çalışma yapılması gerekmektedir.

### 3. CAE ÇALIŞMALARININ TESTLER İLE DOĞRULANMASI

Aracın ilk versiyonu ve CNG dönüşümü yapılmış prototipi ile yolda belirlenmiş senaryolara göre dayanım testleri yapılmıştır. Bu senaryolar ve test şartları Tablo 1'de listelenmiştir.

**Tablo 1.** Araç dayanım testi koşulları

Senaryo	Vites	Motor Devri	Araç Hızı	Yol Uzunluğu
"Speed Bump"	2. Vites	1750 d/d	30 Km/h	0.04 Km
"Bump"	2.Vites	1750 d/d	30 Km/h	0.1 Km
Köy Yolu	3.Vites	2250 d/d	50 Km/h	9.9 Km
	4.Vites	3000 d/d	60 Km/h	

Test ölçümü için kullanılan ekipmanlar ise şunlardır;

- 3 antenli Racelogic VBOX VB2SL3 veri toplama cihazı ve bu cihazın 3 eksende ivme ve moment ölçen IMU modülü

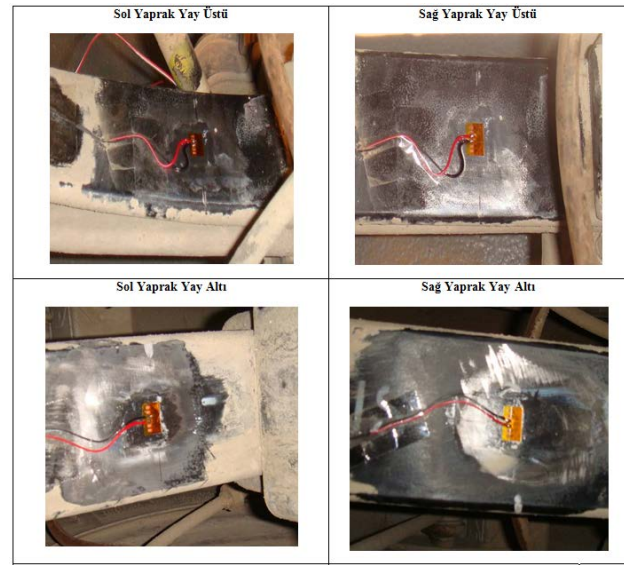
- eDAQ veri toplama cihazı ve "strain-gauge"

Yaprak yay civarında belirlenmiş noktalara "strain-gauge" enstrümantasyonu yapılmıştır. Bu noktalar;

- Sol yaprak yayın üstü
- Sağ yaprak yayın üstü
- Sol yaprak yayın altı
- Sağ yaprak yayın altı

şeklinde belirlenmiştir. (Şekil 8)

3 eksende ivme ve 3 eksende moment ölçümü yapabilen modül araca yerleştirilmiş ve VBOX'a bağlanmıştır.



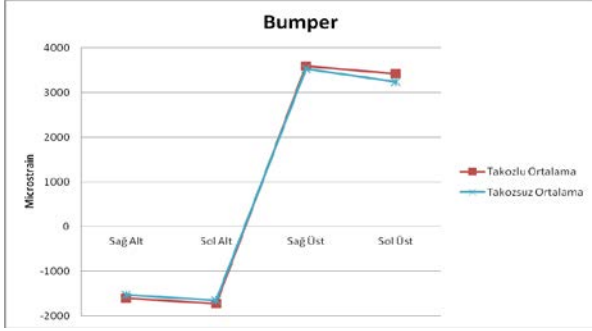
**Şekil 8.** "Strain-gauge" lerin yerleri

Test sonuçlarında ise hem aracın ilk versiyonu hem de CNG dönüştürülmüş versiyonlarının gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. [Tablo 2; Şekil 9; Tablo 3]

**Tablo 2.** "Bumper" senaryosu için gerilme sonuçları

	Takozlu			
	Ölçüm Noktası	Maksimum ( $\mu$ -strain)	Ortalama ( $\mu$ -strain)	Minimum ( $\mu$ -strain)
Bumper	Sağ Alt	408.363	-1602.37	-4074.48
	Sol Alt	110.357	-1722.43	-4182.16
	Sağ Üst	5950.24	3589.42	1498.09
	Sol Üst	5878.85	3421.42	1630.33
	Takozsuz			
	Ölçüm Noktası	Maksimum ( $\mu$ -strain)	Ortalama ( $\mu$ -strain)	Minimum ( $\mu$ -strain)
	Sağ Alt	-652.535	-1528.47	-3593.1
	Sol Alt	-143.216	-1650.76	-3732.93
	Sağ Üst	5492.8	3536.23	2034.65
	Sol Üst	5930.91	3237.84	1731.15



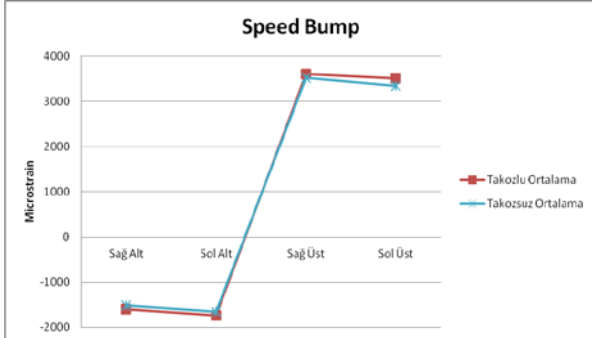


Şekil 9. "Bumper" senaryosu için ortalama gerinme karşılaştırmaları

Tablo 3. "Speed Bump" senaryosu için gerinme sonuçları

	Takozlu			
	Ölçüm Noktası	Maksimum ( $\mu$ -strain)	Ortalama ( $\mu$ -strain)	Minumum ( $\mu$ -strain)
Speed Bump	Sağ Alt	-1010.8	-1599.46	-2219.58
	Sol Alt	-1033.11	-1729.75	-2554.12
	Sağ Üst	4190.82	3601.48	3067.94
	Sol Üst	4447.43	3504.94	2877.15
	Takozsuz			
	Ölçüm Noktası	Maksimum ( $\mu$ -strain)	Ortalama ( $\mu$ -strain)	Minumum ( $\mu$ -strain)
	Sağ Alt	-1056.1	-1518.13	-2359.25
	Sol Alt	-919.35	-1647.09	-2489.13
	Sağ Üst	4295.01	3528.23	3049.06
	Sol Üst	3982.25	3336.84	2610.43

Şekil 10'da "Speed Bump" senaryosu için ortalama gerinme değerleri karşılaştırılmıştır.

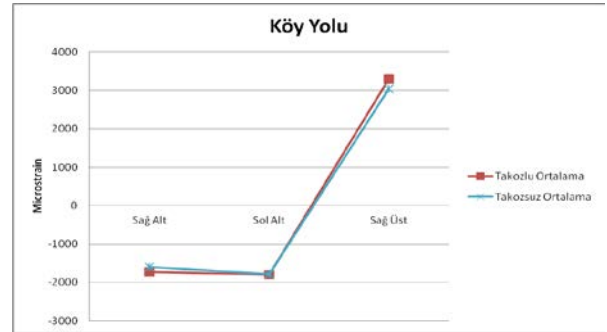


Şekil 10. "Bumper" senaryosu için ortalama gerinme karşılaştırmaları

Köy yolu senaryosu için sağ üst strain-gauge ekipmanı bağlantılarında kopma olduğu için bu yerden ölçüm alınmamıştır.

Tablo 4. Köy Yolu senaryosu için gerinme sonuçları

	Takozlu			
	Ölçüm Noktası	Maksimum ( $\mu$ -strain)	Ortalama ( $\mu$ -strain)	Minumum ( $\mu$ -strain)
Köy Yolu	Sağ Alt	95.65	-1720.66	-3785.48
	Sol Alt	100.66	-1793.39	-3829.85
	Sol Üst	5179.81	3296.84	-16.12
	Takozsuz			
	Ölçüm Noktası	Maksimum ( $\mu$ -strain)	Ortalama ( $\mu$ -strain)	Minumum ( $\mu$ -strain)
	Sağ Alt	88.53	-1590.2	-3547.24
	Sol Alt	167.87	-1776.49	-4019.19
	Sol Üst	5076.59	3038.82	24.11



Şekil 11. Köy Yolu senaryosu için ortalama gerinme karşılaştırmaları

Test sonuçlarına bakıldığında her bir senaryo için iki versiyonun ortalama gerinme değerlerinde bir farklılık görülmektedir. [Tablo 4, Şekil 11]

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada ticari bir aracın, bi-fuel (CNG ve Benzinli) versiyonunun tasarımının yapılarak seri üretime hazır hale getirilmesini içeren bir proje kapsamında süspansiyon bölgesinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. CNG tankları aracın arka aks bölgesine konumlandırılması sonucunda aracın yere en yakın olduğu mesafe (ground clearance) değerinde değişiklik meydana geldiğinden dolayı gerekli olan mesafenin sağlanabilmesi için yaprak yaylar üzerine yükseltme takozları konularak araç yükseltilmiştir.

Bu yükseltme neticesinde aracın ilk versiyonu ve CNG dönüştürülmüş versiyonu arasında dayanım açısından bir sorun olmaması için karşılaştırmalı CAE çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde takoz eklemenin araç gövdesi ve şasi bileşenleri üzerinde dayanım açısından kritik bir farklılık oluşturmadığı tespit edilmiştir..

Süspansiyon bölgesi CAE metodlarıyla incelenirken yapılan kabuller ve bölgenin kritikliği nedeniyle yapılan sanal çalışmaların testlerle doğrulanması ihtiyacı doğmuştur. Akabinde, araç üzerindeki yaprak yaylara kritik durumları simule eden farklı senaryolara göre

dayanım testi uygulanarak gerinme sonuçları karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarına göre takoz eklemenin yaprak yaylara dayanım açısından bir farklılık yaratmadığı testlerle ispat edilmiştir.

#### **KAYNAKLAR**

1. Qin, P., Dentel G., Mesh M., 2002, “**Multi-Leaf Spring and Hotchkiss Suspension CAE Simulation**”, ABAQUS User's Conference, Newport, USA, May.
2. Lin, S., Cheng, C., Liao C., Shan, Y., 2007, “**CAE Analyses for Suspension System and Full Vehicle under Durability Road Load Conditions**”, SAE Technical Paper 2007-01-1649.
3. Kanbolat A, Soner M., Karaagac M., Erdogus T., 2011, “**Parabolic Leaf Spring Optimization and Fatigue Strength Evaluation on the Base of Road Load Data, Endurance Rig Tests and Non Linear Finite Element Analysis**”, SAE Technical Paper 2011-01-0438.
4. Arora V., Aggarwal M.L., Bhushan G., 2011, “**A Comparative Study of CAE and Experimental Results of Leaf Springs in Automotive Vehicles**”, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol.3, pp. 6856-6866 .

