

BİR OTOMOBİL ARKA DİNGİLİNİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE YORULMA ANALİZİ

M. İhsan KARAMANGİL

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059/Görükle/Bursa

Geliş Tarihi : 06.12.2006

ÖZET

Bu çalışmada yerli bir otomobil dingilinin gelen tekerlek yüklerine karşı gerilme analizi yapılmış ve dingil üzerinde oluşan maksimum gerilmelerin yerleri tespit edilerek bu gerilmelerin sınır değerleri aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar yöntemine dayalı yorulma analizi kullanılarak seçilen yüklemeler altında dingilin kaç yük tekrarı sayısında kırılabileceği tespit edilmiştir. Dingildeki en kritik bölgelerin dingilin şasiye bağlantı noktalarına yakın yerlerin olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Dingil (aks), Yorulma analizi, Sonlu elemanlar yöntemi.

FATIGUE ANALYSIS OF AN AUTOMOBILE REAR AXLE BY USING FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT

In this study, stress analysis of a native automobile axle exposed to wheel loads is performed and the location of maximum stresses occurring on the axle is determined. Then, it is controlled whether these stresses exceed the limit values or not. In addition, fatigue life of the axle is calculated under selected loads by using finite element method based fatigue analysis. It is shown that the most critical locations on the axle are the regions near to chassis connection points.

Key Words : Axle, Fatigue analysis, Finite element method.

1. GİRİŞ

Bir taşıtın tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli noktalardan biri de tasarımı yapılan taşıt elemanlarının kendilerinden beklenen mukavemet değerlerini sağlamalarıdır. Taşıtın karoseri, motor, motor aktarma organları, yolcu kabini gibi kısımlarını taşımakta olan dingil de çeşitli zorlanmalara (eğilme, burulma, v.s.) karşı mukavemet göstermek durumundadır. Etki eden kuvvet ve momentler altında çözüme denge denklemleri yardımıyla ulaşılması genellikle zordur. Bu durumda farklı metotların kullanılması gereklidir. Bu metotlardan sonlu elemanlar analizi

kolay ve bilgisayar destekli tasarım sistemleriyle entegre edilebilmesi nedeni ile özellikle otomotiv sanayinde çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin yorulma analizlerinde kullanılması ile parçaların test işlemine tabi tutulmadan yorulma analizleri yapılabilmektedir. Dolayısıyla, parçaların henüz imal edilmeden yorulma davranışları belirlenebilmektedir, (Fatemi ve Kurath, 1988; Beermann, 1989; Ereke, 1989; Chu 1997; Conle 1997; Giglio 1999; Kerr ve ark. 1999; Taylor ve ark. 2000; Colquhoun 2000; Cindemir ve ark. 2002).

Tekrarlı yüklemelere maruz kalan malzemelerin mukavemeti azalır. Malzemenin akma ve kopma mukavemetlerinin çok altındaki gerilme değerlerinde bile malzemede kırılma meydana gelebilir, bunun nedeni yorulma olayıdır. Yorulmadan dolayı oluşan kırılmanın malzemenin neresinde ve ne zaman oluşacağını önceden kestirmek zordur. Geçmişte birçok kazalara neden olan malzeme yorulması konusu üzerinde yoğun çalışmalar yapılmış olup, bu konudaki araştırmalar halen devam etmektedir. Bununla beraber yorulma, çok değişik faktörlerin rol oynadığı karmaşık bir olaydır ve bu nedenle henüz tam olarak anlaşılammıştır, (Kaya ve ark 2002).

Decker ve Savaidis (2002) tekerleklere gelen yüklerin ölçümünü ve analizini yaparak bir taşıtın şasi elemanlarının ömür ve tasarımını üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Rupp ve Grubisic'in geliştirdiği sensörleri kullanarak tekerlek kuvvet ve momentlerini ölçmüşlerdir. Ayaroğlu ve Tahralı (2002) GDT model (4x4) askeri aracın aktarma elemanlarının birikimli hasar durumlarına göre ömürlerini değerlendirmişlerdir. Aracın şehir içinde ve arazi şartlarındaki seyir testleri yapılarak motor ve vites konumlarındaki momentleri, her vites konumunda kalma süreleri ve oranları elde edilmiştir. Klasik ömür hesaplama yöntemlerini kullanarak yük tekrarı ve km olarak eşdeğer ömür değerlerini elde etmişlerdir. Arslan ve Özkan (2002) yeni bir ticari vasıta tasarımında hedeflenen yorulma ömrü değerlerine ulaşılmasında izlenen prosedürü özetlemiş olup çalışmaları bir derlemedir. Ereke (2002) yol datası kullanım yöntemlerini özetleyerek ömür testi yapılan bir ticari taşıt komponenti uygulamasından bahsetmiştir. Ömür testlerinde blok-program yöntemi kullanılmıştır. Ulusoy ve ark (2004) sürekli dört çeker bir otomobil kardan milinin yorulma analizini yapmışlardır. Modelleme Catia programı kullanılarak, yorulma gerilmesi değerleri ve yorulma ömrü ise Msc.Fatigue programı kullanılarak elde edilmiştir. Şener ve ark (2004) bir hafif ticari araç arka süspansiyon yaprak yayının gerilme ve yorulma analizini yapmışlardır. Gerilme analizleri Msc.Patran, yorulma analizleri ise Msc. Fatigue programında yapılmıştır. Ayrıca Türkiye yollarının yorulma karakteristiğine ait çalışma şartlarını çıkarmışlardır. Demir ve ark., (2006) bir taşıtın değişik tümseklerden geçtiği durum için şasi ve karoseride sonlu elemanlar metodu kullanarak gerilme ve titreşim analizlerini yapmışlardır.

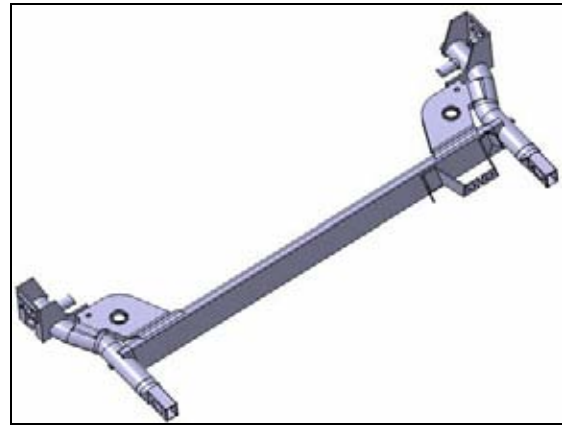
Dingil (aks) tasarımında, işletme şartlarından doğan kuvvetlere karşı dayanıklılık temel hedeflerden biridir. Dolayısıyla, işletme şartlarından doğan zorlanma sonucu oluşacak gerilmelerin hangi yoğunlukta ve hangi şiddette olacağını kestirilmesi büyük önem arz eder.

Bu çalışmada, bir binek otomobil aksının belli bir yüklenme durumu için gerilme analizi yapılarak gerilme yığılmalarının olduğu kritik bölgeler tespit edilmiştir. Bulunan gerilme değerleri aks malzemesinin akma gerilmesi ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra sonlu elemanlar yöntemine dayalı gerilme-ömür yorulma analizinde, aks katı modeli ve elemanlar Catia programında oluşturulmuş ve yorulma analizi Msc.Fatigue programında gerçekleştirilmiştir.

2. ARKA DİNGİLİN KATI MODELİ

Arka dingil otomobillerde arka tekerleklerin, amortisörlerin, helisel yayların ve fren tertibatlarının monte edildiği bir makine elemanıdır. Arka dingil, üzerine monte edilen elemanlarla birlikte şasiye bağlanır. Bağlantı noktalarında aksel yer değiştirmeleri bir miktar karşılamak (1-2 mm) ve sarsıntıları sönmölemek amacıyla kauçuk malzemeler kullanılır. Arka dingil arabanın önden ya da arkadan çekişli olma durumuna göre farklılık gösterebilir. Paslanmalara karşı önlem olarak dingil fosfatlanır. Bu sayede malzemenin korozyona karşı direnci artırılır.

Bu çalışmada, Oyak Renault Otomobil Fabrikalarında üretilen Clio Symbol marka araçta kullanılan arka dingilin yorulma analizi yapılmıştır. Şekil 1'de katı modeli gösterilen dingilin çizimi Catia programında oluşturulmuştur.



Şekil 1. Dingilin katı modeli.

2. 1. Arka Dingil Üzerine Monte Edilen Süspansiyon Elemanları

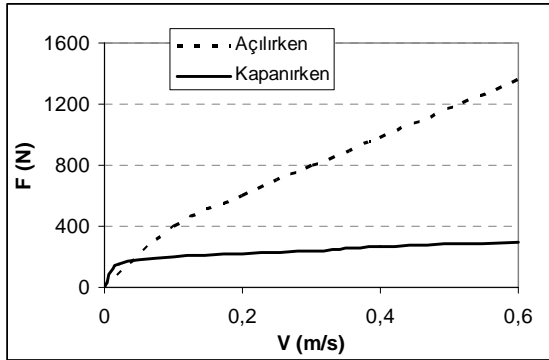
Arka süspansiyon sisteminde kullanılan elemanlar Şekil 2'de de görüldüğü gibi helikon yaylar ve amortisörlerdir.

Kullanılan helezon yayların uzunluğu 221 mm ve kesit çapı 13.2 mm dir. Yay rijidliği ise iki farklı değerde olup sırasıyla $k_1= 33.33$ N/mm ve $k_2= 55.55$ N/mm dir.



Şekil 2: Dingil üzerinde yer alan süspansiyon elemanları.

Amortisörlerin sönüm katsayısını ifade eden F-V (kuvvet-hız) eğrisi amortisör açılırken ve kapanırken farklı değerlerde olup bu değerler Şekil 3'de gösterilmiştir.



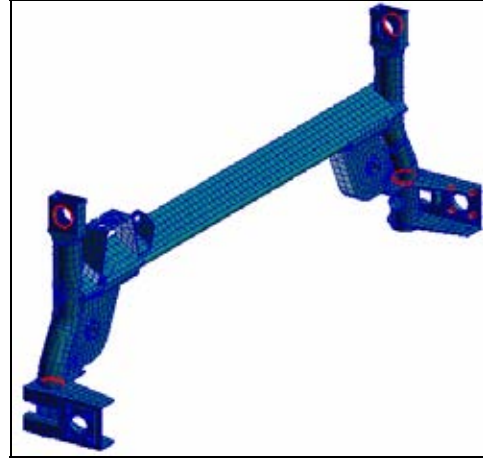
Şekil 3. Amortisör sönüm eğrisi.

3. SONLU ELEMANLAR METODU İLE DİNGİLİN LİNEER STATİK ANALİZİ

Catia programında modellenen dingil 'stp' uzantısı şeklinde kaydedilir. Daha sonra statik analiz için 'Msc.Patran' programına 'import' komutu ile getirilir. Bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri parçanın modellendiği gibi tek bir katı parça olarak gelmesidir.

Dingilin sonlu elemanlar modeli Şekil 4'de gösterilmiştir. Eleman olarak 4 düğüm noktasına sahip üç boyutlu trapezoidal eleman tipi seçilmiştir. Model 117473 düğüm ve 60344 eleman sayısına sahiptir.

Tablo 1 de dingil malzemesinin kimyasal bileşim yüzdesi, Tablo 2'de ise dingil malzemesinin mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4. Parçanın mesh görüntüsü.

Tablo 1. Dingil Malzemesinin Kimyasal Bileşimi, (% Pota Analizi).

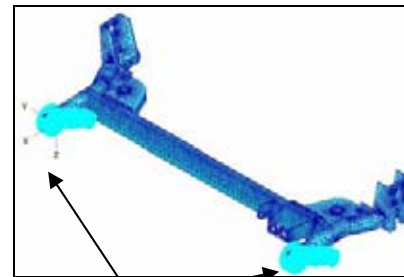
C	0.065
MN	0.749
P	0.010
S	0.003
SI	0.030
AL	0.031
NB	0.039
TI	0.002

Tablo 2. Dingil Malzemesinin Mekanik Özellikleri.

Elestisite modülü, MPa	220430
Akma mukavemeti, MPa	390.438
Çekme mukavemeti, MPa	465.975
Poission oranı (V)	0.33
Yüzde uzama	%30
Kütle, kg	19.676
Hacim, m ³	0.003
Yoğunluk, kg/m ³	7860

3. 1. Sınır Şartlarının Verilmesi

Dingilin şasi bağlantısındaki bölgede silindirik koordinat takımı tanımlanarak 'x', 'y' ve 'z' yönlerinde öteleme hareketi kaldırılmış, sadece 'y' ekseninde dönebilir bırakılmıştır, Şekil 5.



Dingil şasi bağlantısı
Bütün ötelemeler kaldırıldı ve

Şekil 5. Sınır şartlarının tanımlanması.

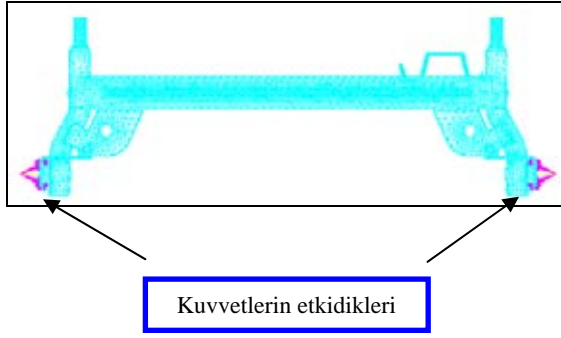
Dingile gelen kuvvetler dingilin tekerlek bağlantı kısmına x, y ve z yönlerinde etki etmektedir. Tablo 3’de tekerleğe etki ettiği düşünülen 27 farklı kuvvet değeri görülmektedir. Bu değerler Renault (Fransa) tarafından İngiltere, Almanya ve Fransa yol şartlarından alınmış kuvvet değerleridir. Statik analiz aşamasında bu kuvvet değerleri içinden her üç yönde de kuvvetin etkili olduğu 15. satırdaki kuvvet

değerleri alınmıştır. Tabloda Z yönündeki kuvvet değerlerinin yer değiştirme olarak verilmiştir.

Şekil 6’da kuvvetlerin dingile uygulama noktası gösterilmiştir. Bu nokta dingilin 50 mm dışında seçilmiştir.

Tablo 3. Tekerleğe Etki Kuvvet Değerleri.

Nokta no	Tekerlekler üzerine uygulanan yatay kuvvetler					
	Fx (N)		Fy (N)		Dikey yer değiştirme (mm)	
	Sol tekerlek	Sağ tekerlek	Sol tekerlek	Sağ tekerlek	Sol tekerlek	Sağ tekerlek
0	0		0		110	
1	0	4415	2649	0	140	129
2	4415	0	0	-2119	129	140
3	0	-3522	-2119	0	140	151
4	-3522	0	0	2649	151	69,8
5	0	4415	2649	0	69,8	129
6	-3522	0	0	2649	151	140
7	4415	0	0	2649	129	140
8	0	4415	-2119	0	140	129
9	-3522	0	0	-2119	151	140
10	0	-3522	2649	0	69,8	151
11	4415	0	0	2649	129	69,8
12	0	4415	-2119	0	140	129
13	-3522	0	0	-2119	151	140
14	0	-3522	2649	0	140	151
15	4415		2207		129	
16	-3532		-1766		91	
17	0		3163	-970		
18	0		-970	3163		
19	0		0		175	
20	0		0			
21	5886		0			
22	-5886		0		0	
23	0		0			
24	0		0		-30	
25	0		0			
26	5886		0			
27	-5886		0			



Şekil 6. Dingile gelen kuvvetlerin uygulama noktası

3. 2. Çözüm

Yorulma analizinden önce dingil üzerindeki gerilme dağılımını belirlemek amacıyla statik gerilme analizi yapılmıştır. Sınır şartları ve yükler verildikten sonra Msc.Nastran programı ile çözüm yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 7 ve 8'de sunulmuştur.

Uygulanan yüklere karşılık malzemede oluşan maksimum gerilme değeri (Von-mises) 306 MPa olup dingilin şasi bağlantı noktalarına yakın

kısımlarında ortaya çıkmıştır. Buna karşılık seçilen malzememizin akma mukavemet değeri 309 MPa dır. Maksimum gerilme değerinin akma mukavemet değerinin altında kaldığı görülmektedir.

4. YORULMA ANALİZİ

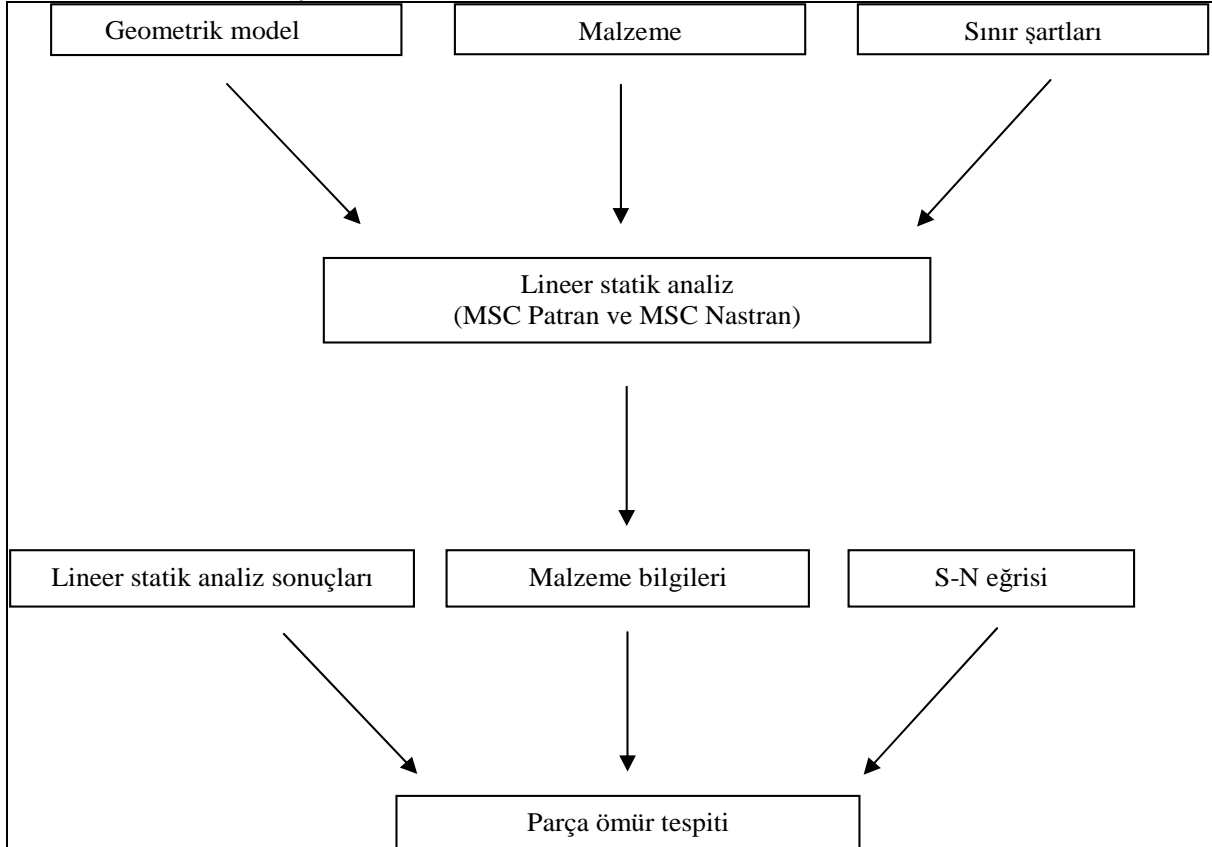
Sonlu elemanlar yöntemine dayalı gerilme-ömür yorulma analizinde bir önceki aşamada gerçekleştirilen statik gerilme dağılımı kullanılmıştır.

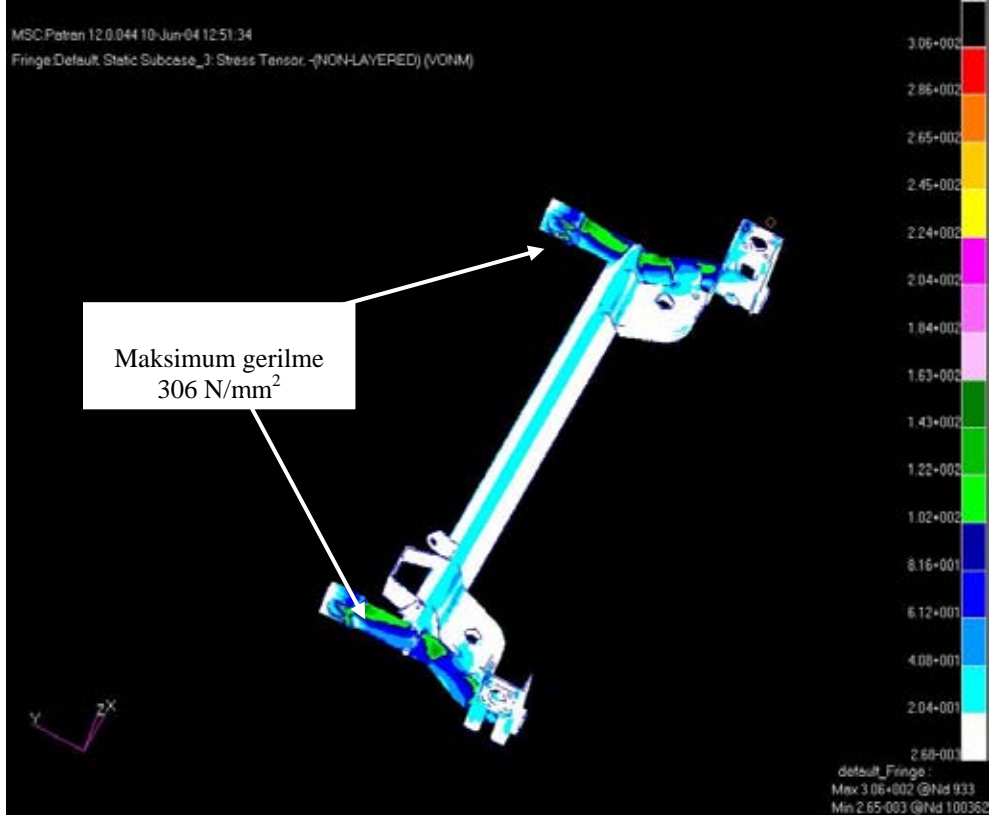
Catia programında oluşturulan sonlu elemanlar modeli, Msc.Patran programına transfer edilmiş ve yorulma analizi modülünde (Nastran.Fatigue) yorulma analizi gerçekleştirilmiştir.

Msc.Fatigue programında aks malzemesinin elastisite modülü, akma mukavemeti ve poisson oranı girilerek malzemeye ait S-N grafiği oluşturulmuştur, Şekil 9.

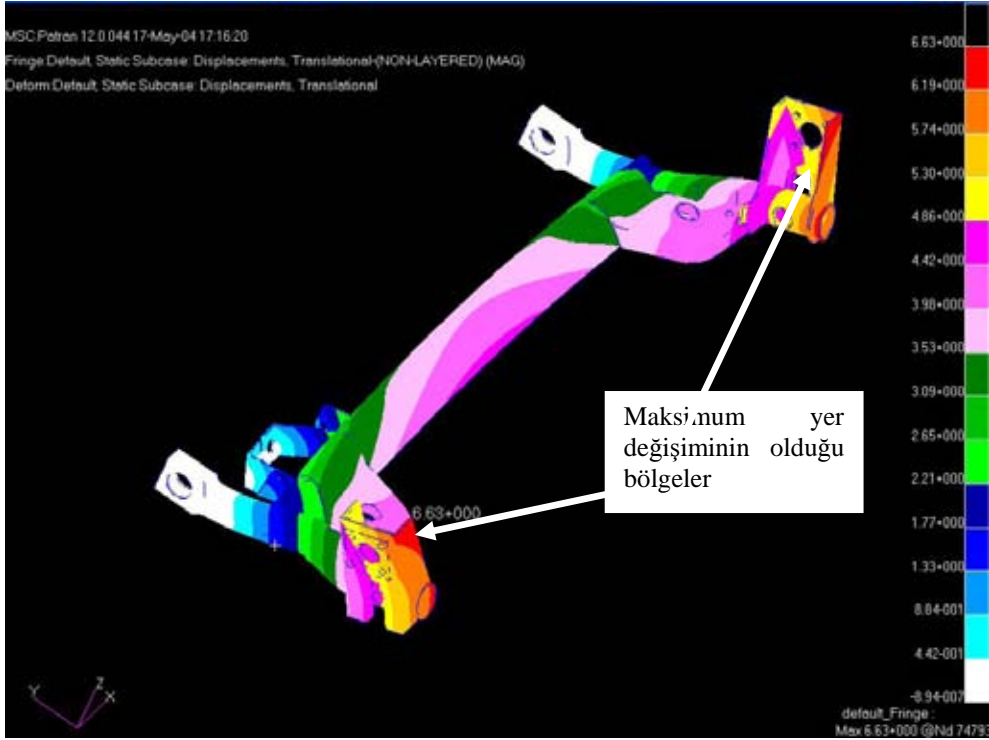
Yorulma analizi işlem adımları Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Yorulma Analizi İşlem Adımları.

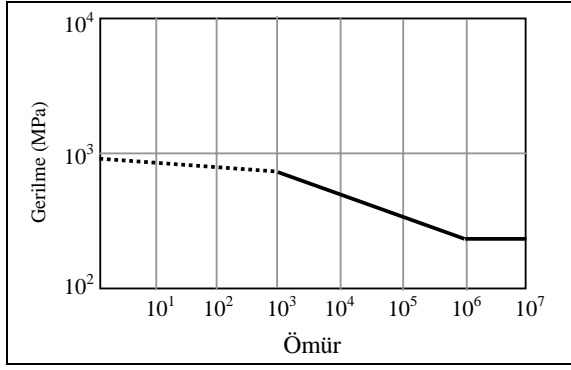




Şekil 7. Statik gerilme analizi

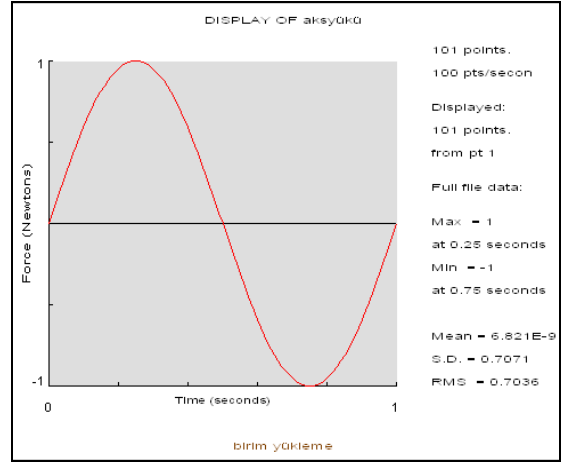


Şekil 8. Yer değişimi dağılımı görüntüsü.



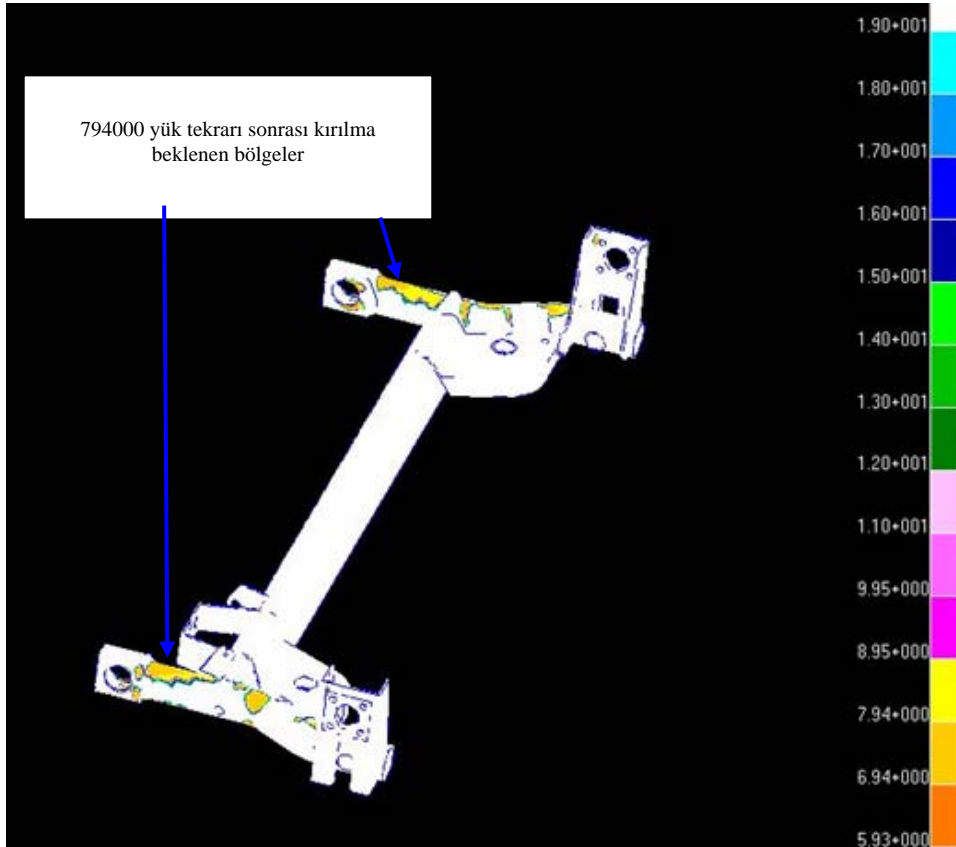
Şekil 9. Aks malzemesinin S-N grafiği.

Arka dingil üzerine etki eden ve zamana göre değişen tekrarlı kuvvet grafiği Şekil 10'da verilmiştir. Statik analizde maksimum kuvvet uygulandığı için, yorulma analizinde birim kuvvet dikkate alınmıştır. Yani dingile gelen maksimum yük 1 birim kabul edilmiştir. Birim yükleme sırasında bir saniyede 100 farklı yükün dingile uygulanması sağlanmıştır.



Şekil 10. Arka dingile uygulanan birim yükleme

Yorulma analizinde de arka dingil üzerindeki yerdeğiştirme ve mesnetleme noktaları statik analizdeki gibi uygulanır. Yorulma analizi sonuçları Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Yorulma analiz sonuçları.

En erken kırılma beklenen noktalar statik analiz sonuçlarında maksimum gerilmenin gerçekleştiği şasi bağlantı noktalarına yakın bölgeler olarak

karşımıza çıkmaktadır. Bu yükleme durumu için dingilin 794000 yük tekrarı sonucunda kopması beklenmektedir.

Yapılan yorulma analizinde malzemenin sürekli mukavemet gerilme değerini etkileyen diğer faktörler 1 olarak alınmıştır, (Msc.Fatigue, 1999).

5. SONUÇ

Geliştirilen ürünlerin imal edilip teste tabi tutulması hem zaman kaybına sebep olmakta, hem de ürün maliyetlerini artırmaktadır. Her bir prototip için yorulma testleri yapılması ekonomik açıdan uygun değildir. Günümüz tasarım yaklaşımında, sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma analizleri yapılarak parçanın optimum şekli belirlenmekte ve fiziksel test en son aşamada yapılarak zamandan ve ürün maliyetinde tasarrufa gidilmektedir.

Bu çalışmada, daha sonraki tasarımlara bir ön fikir vermesi amacıyla bir otomobil arka dingilinin statik gerilme ve yorulma analizi yapılmıştır. Dingildeki en kritik bölgelerin dingilin şasiye bağlantı noktalarına yakın kısımların olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

Arslan, M. ve Özkan, M. 2002. Araç Ömrü Benzetim Yöntemleri. Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 62-70.

Ayaroğlu, M. S. ve Tahralı, N. 2002. GDT Model (4x4) Askeri Aracın Aktarma Elemanlarının Birikimli Hasar Durumlarına Göre Ömür Değerlendirmeleri. Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 47-53.

Beermann, H. J. 1989. The Analysis of Commercial Vehicle Structures. MEP Limited, London.

Chu, C. C. 1997. Multiaxial Fatigue Life Prediction Method in the Ground Vehicle Industry. International Journal of Fatigue, Vol. 19, No. 1, pp. 325-330.

Cindemir, S., Demir, C., Tahralı, N. 2002. GTD Model Jeep Şasisinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi. Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 54-61.

Colquhoun, C. 2000. Fatigue Analysis of an FEA Model of a Suspension Component, and Comparison with Experimental Data. NAFEMS Seminar Notları, www.nafems.org.

Conle, F. A., Chu, C. C. 1997. Fatigue Analysis and the Local Stress-Strain Approach in Complex

Vehicular Structures. International Journal of Fatigue, Vol. 19, No. 1, pp. 317-323.

Decker, M. and Savaidis, G. 2002. Measurement and Analysis of Wheel Loads for Design and Fatigue Evaluation of Fatigue Evaluation of Vehicle Chassis Components. Fatigue Fract Engng Mater Struct, Vol: 25: pp. 1103-1119.

Demir, C., Tahralı, N. ve Edis, K. 2006. 4x4 Aracı Aracının Dinamik Analizi. Otekon'06, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 245-252.

Ereke, İ. M. 2002. Taşıt Ömür Testlerinde Yol Datası Kullanımı. Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 71-78.

Ereke, M. 1989. Şasi ve Karoseri Tasarımında İleri Hesap Yöntemleri. İTÜ makine Fakültesi.

Fatemi, A. and Kurath, P. 1988. Multiaxial Fatigue Life Predictions under the Influence of Mean Stresses. J. Engn Mater. Techn. Vol:110, pp. 380-388.

Giglio, M. 1999. FEM Submodelling Fatigue Analysis of a Complex Helicopter Component. International Journal of Fatigue, Vol. 21, pp. 445-455.

Kaya, N., Karamangil, M. İ. ve Bozkurt, R. 2002. Biyel Üzerine Açılan Yağlama Deliklerinin Yorulma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi. Otekon'02, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 14-19.

Kerr, S. C., Russell, D. L., Patel, U. S., Bishop, N.W.M. 1999. FE-Based Wheel Fatigue Analysis Using Msc.Fatigue. 1st MSC World Automotive Conference, Munich, Germany, September 20-22.

Msc.Fatigue, 1998. *User's Guide*, pp. 1181-1292.

Şener, A.Ş., Bozkurt, R. ve Korkmaz, İ. 2004. Müşteri Kullanım Profiline Göre Taşıt Elemanları Ömrünün Sonlu Elemanlar Metodu ile Tespiti. Otekon'04, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 151-158.

Taylor, D., Bologna, P., Knani K. B., 2000. Prediction of Fatigue Failure Location on a Component Using a Critical Distance Method. International Journal of Fatigue, Vol. 22, pp. 735-742.

Ulusoy, T., Özcan, R. ve Güllü E. 2004. Sürekli Dört Çeker Bir Otomobil Şaftının Yorulma Analizi. Otekon'04, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 113-120.