

## BİR BİNEK ARAÇ GÜNDÜZ FARINA ŞOK TESTLERİNİN UYGULANMASI VE SONLU ELEMANLAR METODU İLE DOĞRULAMA ÇALIŞMALARI

*Barış EDİZ\**

*Erhan AY\**

*Taner ÇAL\**

*Sevda TELLİ ÇETİN\*\**

Alınma: 26.04.2018; düzeltme: 30.07.2018; kabul: 23.11.2018

**Öz:** Çalışmanın amacı, bir binek araç gündüz farının Modal Parametreleri Güncellenmiş Sonlu Elemanlar Modelini (MPGSEM) ve şok testlerinden ölçülen ivme sinyallerini kullanarak sonlu eleman analizini yapmak ve elde edilen sonuçları testlerden ölçülen gerilme ve birim uzama değerleri ile karşılaştırmaktır. Diğer bir amaç ise zamana bağlı analiz sonuçları ile doğrusal bir analiz tipi olan Cevap Spektrumu (CS) analiz sonuçlarının ve analiz sürelerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışmada bir gündüz farına SAE J577 test metodu ile mekanik şok testi ve 30 g genliğinde yarım sinüs şok testleri uygulanmıştır. İvme ölçerler ile bağlantı noktaları üzerinden ivme sinyalleri ve bağlantı braketleri üzerine bağlanan birim uzama ölçerler ile birim uzama sinyalleri ölçülmüştür. Ölçülen ivme sinyalleri MPGSEM bağlantı noktaları üzerinden gündüz farına uygulanmış ve zamana bağlı analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda birim uzama ölçer bağlanan nokta üzerinden birim uzama sonuçları alınmış ve test sonucu ölçülen değerler ile karşılaştırma yapılmıştır. İvme sinyalleri üzerinden şok cevabı ivme spektrumları hesaplanmış ve CS analizi sırasında bağlantı noktalarında yük girdisi olarak kullanılmıştır. CS analiz sonuçları ve çözüm süresi, zamana bağlı analiz sonuçları ve çözüm süresi ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Otomotiv Aydınlatma, Binek Araç Gündüz Farı, Şok, Cevap Spektrumu, SAE J577 Şok Testi, Yarım Sinüs Şok Testi

### Shock Tests on Car Daytime Running Light and FEA Validation Study

**Abstract:** Main aim of this study is to perform Finite Element Analysis (FEA) on a car Daytime Running Light (DRL) with validated system modal parameters (like damping ratio) and with measured acceleration signals during shock tests. As a result, calculated stress and strain values could be closer to real values. In addition, results and calculation time for transient analysis and Response Spectrum (RS) analysis are compared. Outcome of this comparison is to evaluate feasibility of RS calculation during design stage. In this study, SAE J577 shock and 6ms duration 30g amplitude half sine shock tests have been applied on DRL. During tests; acceleration and strain measurements have been performed. Measured acceleration signals have been applied on updated FEA model as load inputs and transient FEA has been performed. Strain results of FEA and measured strain signals during test have been compared. RS calculations have been done from measured accelerations and RS analysis has been performed. Results and calculation time of transient analysis and RS analysis have been compared.

**Keywords:** Automotive Lighting, Car Daytime Running Light, Shock, Response Spectrum, SAE J577 Shock Test, Half Sine Shock Test

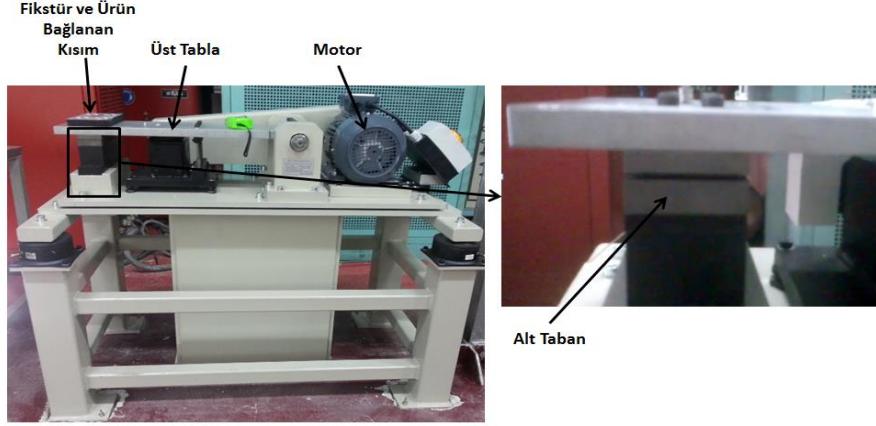
\* Magneti Marelli Mako Elektrik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Organize Sanayi Bölgesi, Yeşil Cadde No:28, Nilüfer-Bursa

\*\*Uludağ Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Görükle-Bursa

İletişim Yazarı: Sevda Telli Çetin (sevda@uludag.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Otomotiv aydınlatma sistemlerinin farklı tiplerde mekanik şok testlerine dayanıklı olması istenmektedir. Bunlardan bir tanesi SAE J577’de belirtilen mekanik şok testidir. Şekil 1’de bu test için hazırlanmış özel test cihazının genel şeması görülmektedir. Burada, test edilecek ürün tablanın üzerine bağlanır ve tabla 12,5Hz  $\pm$ 0,17Hz ile tekrarlı olarak genliği 3,2mm  $\pm$ 0,25mm olacak şekilde altındaki çelik tabana çarpar. Bir saat süren tekrarlı şok testi sonucunda gündüz farı ve parçaları üzerinde herhangi bir kırık, çatlak, ürünün fonksiyonelliğini bozacak herhangi bir deformasyon ve yapısal problem olmaması beklenir.



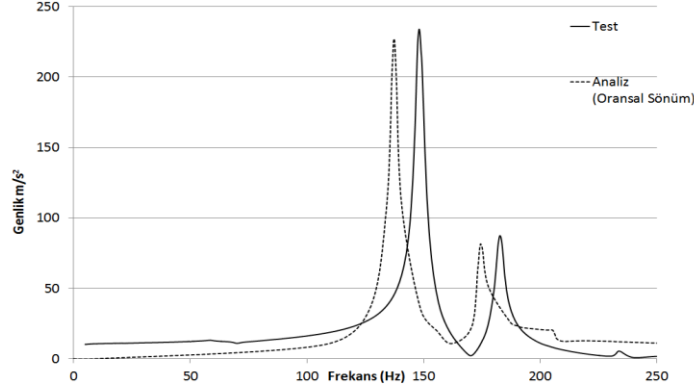
**Şekil 1:**  
*SAEJ 577 Mekanik Şok Makinası*

Başka bir şok testi tipi ise 30g genlikte ve 6ms süren tekrarlı yarım sinüs profilinin kullanıldığı şok testidir. Bu profil ardışık olarak 30.000 adet tekrar eder ve elektrodinamik sarsıcı üzerinde uygulanır. Test sonucunda gündüz farı ve parçaları üzerinde herhangi bir kırık çatlak, fonksiyonelliğini bozacak herhangi bir deformasyon ve yapısal problem olmaması beklenir.

Schrader (2006) SAE J577 test prosedürünü kullanarak bir far üzerinde yapılan şok testlerini ele almış ve bu testlerden elde edilen birim uzama değerleri ile sonlu eleman analizinden elde edilen değerlerin karşılaştırılmasını yapmıştır. Ancak, çalışmada kullanılan malzemenin sönüm oranlarının tam olarak bilinmediği ve bu değerler için bir doğrulama ihtiyacının bulunduğu belirtilmiştir. Sönüm oranının gerilme ve birim uzama değerlerine önemli ölçüde etki ettiği bilinmektedir. Bu sebeple titreşim testleri değerlendirilmeden önce sönüm oranlarının bilinmesi önem taşır. Schrader ve Hilburger (2005) yaptıkları çalışmada far üzerine bir rastgele titreşim test profili uygulayarak hem test hem de sonlu eleman analizlerini yapmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Yazarlar çalışmalarında sönüm oranı ile ilgili bir korelasyon yapmış ancak kullanılan sönüm modeli ve sönüm oranının belirlenmesinde kullanılan test metodu ile ilgili bilgi vermemişlerdir. Bu konu ile ilgili diğer bir çalışmada ise; CS analiz metodu ve hesaplama yöntemleri, analiz metodunun kullanım alanları, sönüm oranının doğrulanmasının gerekliliği, zamana bağlı ivme sinyalinin frekans alanında CS’inin hesaplanması, zamana bağlı analiz ile CS analiz sonuçlarının karşılaştırılması anlatılmıştır. Bu çalışmada genel analiz metodu anlatılmış ama herhangi bir test doğrulama çalışması sunulmamıştır. Tüm karşılaştırma ve anlatım basit bir giriş üzerinde ve sanal ortamda yapılmıştır (Ding 2011). Bu konu ile ilgili diğer bir çalışma ise bir araç sis farının yorulma testleri sırasında üzerinde oluşabilecek hataların gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi ve tespit edilebilmesi için ivme ölçer, mikrofon ve akustik yayılım sensörü olmak üzere üç farklı metod incelenmiştir. SAE J577 şok test makinası ve metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada herhangi bir sonlu elemanlar metodu ile analiz yapılmamıştır (Xie, K. 2007).

Ediz ve Telli Çetin (2017) daha önce bu yapı üzerinde yaptıkları çalışmada; yapının modal

parametrelerini harmonik tarama testi sonucu elde edilen ivme cevap fonksiyonundan hesaplamışlar ve sonlu elemanlar modelini güncellemişlerdir. Elde edilen modal parametreleri kullanarak sonlu elemanlar harmonik tarama analizi yapmışlardır (Şekil 2). Bu çalışmada ise Modal Parametreleri Güncellenmiş Sonlu Elemanlar Modeli (MPGSEM) ve şok testlerinden ölçülen ivme sinyalleri kullanılarak farın sonlu eleman analizi yapılmış ve analizden elde edilen sonuçlar ile testlerden ölçülen gerilme ve birim uzama değerleri karşılaştırılmıştır.



**Şekil 2:**

*Analiz ve Test FRF Karşılaştırma (Ediz ve Telli Çetin, 2017)*

Bu çalışmada SAE J577 ve yarım sinus şok testleri sırasında gündüz farının bağlantı noktalarına yakın yerlerden ivme ölçümü ve bağlantı braketini üzerinden birim uzama ölçümleri yapılmıştır. MPGSEM ve şok testlerinde ölçülen ivme sinyalleri kullanılarak zamana bağlı ve CS metodu ile sonlu elemanlar şok analizleri yapılmıştır. CS analizinde yapı farklı doğal frekanslarına sahip tek serbestlik dereceli bir çok kütle ve yay sisteminden oluşmuş olarak kabul edilmiştir. Kütle ve yay sistemlerinin bir şok sinyaline verdikleri maksimum cevaplar frekans alanında çizdirilerek CS elde edilmiştir. Bu analiz tüm doğal frekanslar için sabit bir sönüm öngörüsü ile yapılmıştır. Zamana bağlı analiz sonucu elde edilen birim uzama ve gerilme sonuçları ile doğrusal bir analiz olan CS analiz sonuçları ve analiz çözüm süreleri karşılaştırılmıştır. Böylece CS analizinin tasarım sürecinde kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

## 2. SAE J577 ŞOK TESTİ VE SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

### 2.1. SAE J577 Testi Sırasında Ölçümler ve Sinyallerin İşlenmesi

MPGSEM kullanılarak şok analizi yapabilmek için test sırasında test fikstürünün ürün bağlantı noktalarına yakın yerlerinden ivme ölçerler ile X,Y ve Z yönlerinde ivme sinyalleri ölçülmüştür (Şekil 3). Test sırasında ürün üzerine birim uzama ölçerler takılarak analiz sonuçları ile karşılaştırılmak üzere birim uzama ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4). Bu işler için 16 kanallı bir sinyal ölçüm sistemi kullanılmıştır (Şekil 5).



**Şekil 3:**

*İvme Ölçer Pozisyonu*



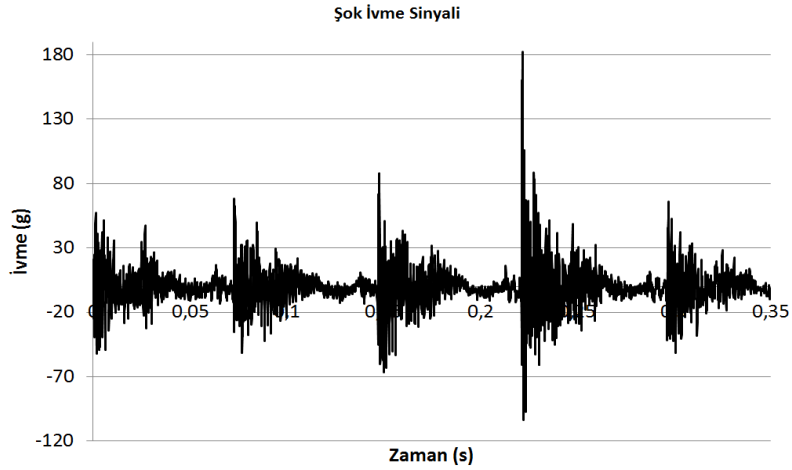
**Şekil 4:**

*Birim Uzama Ölçer Pozisyonu*

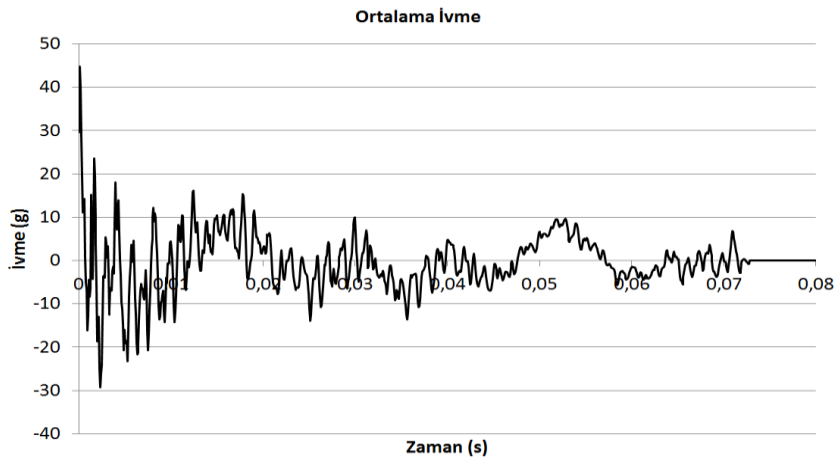


**Şekil 5:**  
*Çok Kanallı Sinyal Ölçüm Cihazı*

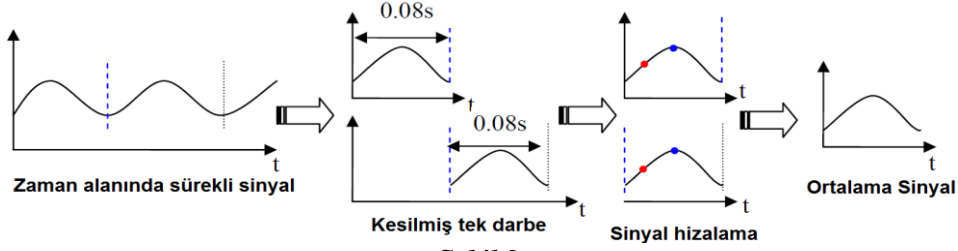
Her bağlantı noktası ve X,Y,Z yönleri için ölçülen ivme sinyallerinden (Şekil 6) zamana bağlı analizde girdi olarak kullanılmak üzere ortalama ivme sinyalleri (Şekil 7) hesaplanmıştır. 0,08 saniye süren ardışık ivme şok sinyalleri başlangıç noktalarından itibaren kesilmiş ve çok sayıda şok sinyali elde edilmiştir. Daha sonra bu sinyaller toplanmış ve toplam sinyal sayısına bölünerek ortalama ivme şok sinyali elde edilmiştir. Şekil 8’de ortalama sinyal elde etme metodu gösterilmiştir (Xie, 2007).



**Şekil 6:**  
*Şok İvme Sinyali*



**Şekil 7:**  
*Ortalama İvme Sinyali*



**Şekil 8:**

*Ortalama İvme Sinyali Elde Etme Metodu (Xie, 2007)*

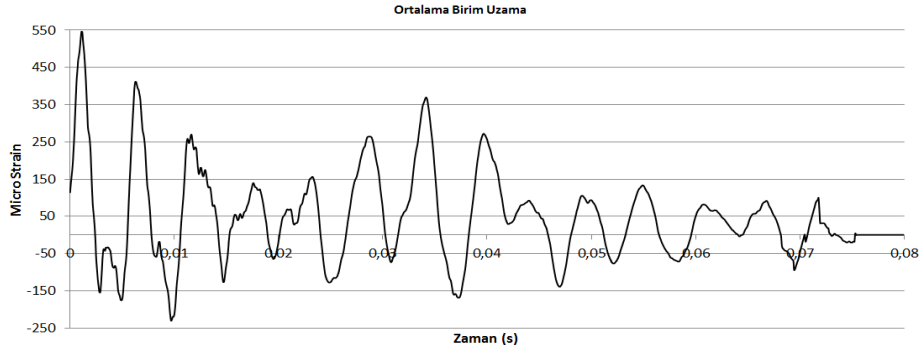
Tablo 1’de her üç bağlantı braketinden ölçülen ivme sinyalleri ile ilgili Karekök Ortalama (KO) ve Tepe Noktası gibi istatistik bilgiler verilmiştir.

Aynı metot kullanılarak birinci braket üzerinden ölçülen birim uzama sinyalinden ortalama birim uzama sinyali sonlu elemanlar analiz sonucu ile karşılaştırılmak üzere elde edilmiştir (Şekil 9).

Ortalama birim uzama sinyali incelendiğinde tepe değerinin 546,5  $\mu$ s, KO değerinin ise 145,4  $\mu$ s olduğu görülmüştür.

**Tablo 1. Ortalama İvme Sinyali İle İlgili İstatistikler**

	X		Y		Z	
	Tepe (g)	KO (g)	Tepe (g)	KO(g)	Tepe (g)	KO (g)
Braket 1	44,8	7,177	84,29	9,473	95,97	16,81
Braket 2	68,44	9,192	66,25	12,58	133	13,64
Braket 3	38,11	7,525	55,71	6,626	81,31	10,51



**Şekil 9:**

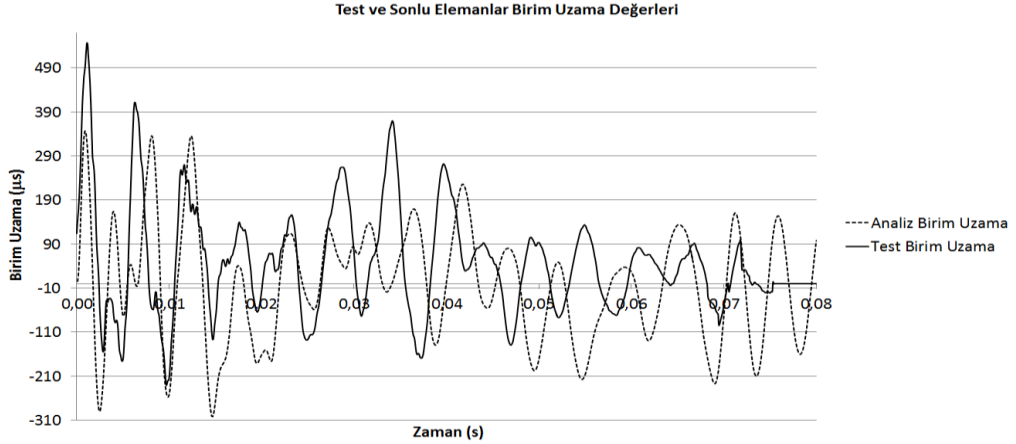
*Braket 1’den Ölçülen Birim Uzama Sinyalinin Ortalaması*

## 2.2. SAE J577 Şok Testi İçin Sonlu Elemanlar Analizleri ve Sonuçların Karşılaştırılması

### 2.2.1. Zamana Bağlı Analiz

Hesaplanan ortalama ivme sinyalleri MPGSEM üzerinde bağlantı noktalarından uygulanarak zamana bağlı analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda birim uzama ölçer bağlanılan noktaya yakın yerden normal birim uzama değerleri alınmıştır.

Sonlu elemanlar programından alınan zamana bağlı birim uzama sinyali ve test sonucu ortalama birim uzama sinyali üstüste konularak incelenmiş ve birim uzama sinyallerinin kabul edilebilir mertebede uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. (Şekil 10)



**Şekil 10:**  
*Test ve Sonlu Elemanlar Birim Uzama Sonuçlarının Karşılaştırılması*

Tablo 2’de özet karşılaştırma yapılmıştır.

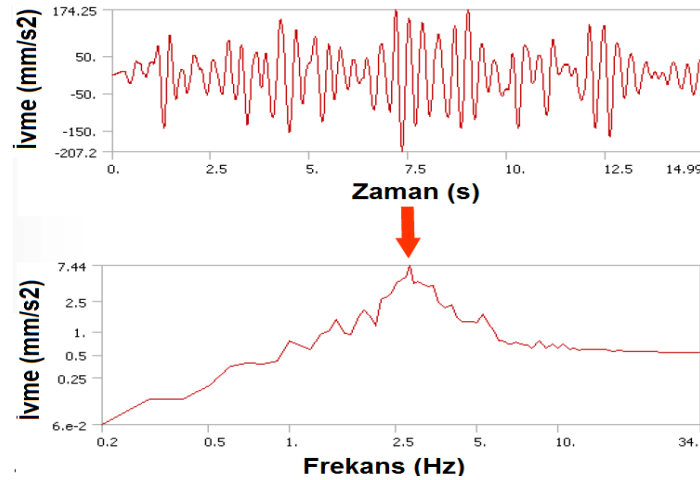
**Tablo 2. Birim Uzama Değerlerinin Karşılaştırılması**

	Tepe (µs)	KO (µs)
Test	546,5	145,4
Analiz	351,2 (hata=%35,7)	132 (hata=%9,2)

Birim uzama sinyalinin KO değerinin %9,2 hatayla sağlandığı tespit edilmiştir. Tepe noktalarındaki farkın ivme ve birim uzama ölçümleri arasında senkronizasyonun sağlanamaması ve ortalama alma işlemindeki hatalardan kaynaklandığı söylenebilir, çünkü ivme ve birim uzama değerleri üç eksenli ivmeölçer kullanılmadığı için aynı anda ölçülememiştir.

### 2.2.2. CS Analizi

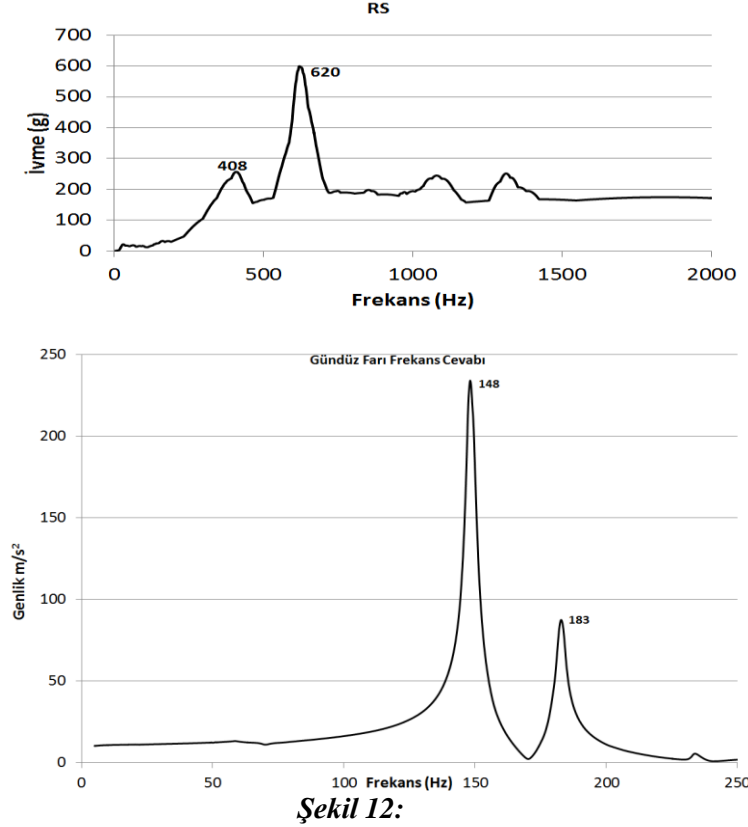
Çoğunlukla deprem mühendislerinin kullandığı bu analiz tipinde CS ivme girdisi olarak kullanılır. CS,kısaca, tek serbestlik dereceli sistemin doğal frekanslarına bağlı olarak bir ivme sinyaline verdiği maksimum cevaptır. Sabit bir sönüm öngörüsü yapılıır. Şekil 11’de zamana bağlı veri ve ondan hesaplanmış CS gösterilmiştir.



**Şekil 11:**  
*CS Hesaplama (Ding,2011)*

Hesaplanmış ortalama ivme sinyalleri kullanılarak her bağlantı noktası ve X,Y,Z yönleri için CS ivme spektrumları hesaplanmıştır.

Yapının doğal frekanslarının bulunduğu bölgeye göre farklı CS analiz tipleri uygulanır.(Ding, 2011) Gündüz Farı doğal frekanslarıyla CS ivme spektrumunun maksimum genliğinin olduğu frekans karşılaştırıldığında gündüz farı doğal frekanslarının bu frekanstan düşük olduğu tespit edilmiş ve rijit cevap ve eksik kütle etkilerini gözönüne almaya gerek kalmamıştır. Doğal frekanslar ayrık olduğu için karelerin toplamının karekökü (KTKK) mod kombinasyon metodu ile çözüm yapılmıştır (Şekil 12). Eğer modların frekansları yeterli bir şekilde ayrıksalar KTKK metodu ile iyi sonuçlar elde edilebilir.



**Şekil 12:**

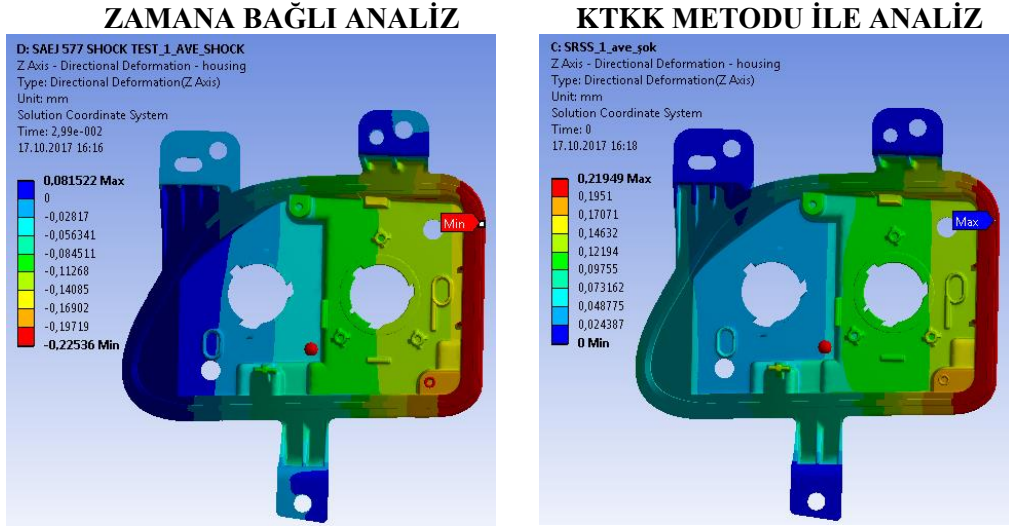
*CS Maksimum Genlik Frekansı ile Gündüz Farı Doğal Frekanslarının Karşılaştırılması*

### 2.2.3. Zamana Bağlı Analiz ve CS Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

CS analizi ve zamana bağlı şok analizi sonucunda Z yönünde maksimum yer değiştirme değerlerinin %2,62'lik bir hata ile sağlandığı tespit edilmiştir. Y yönünde normal gerilme değerleri karşılaştırıldığında CS analizinin daha konservatif bir sonuç verdiği görülmüştür (Tablo 3). Her iki analizde de yer değiştirme ve gerilme haritasının benzer olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13 – Şekil 14). Zamana bağlı analiz sonucunun mutlak değeri göz önüne alınmıştır.

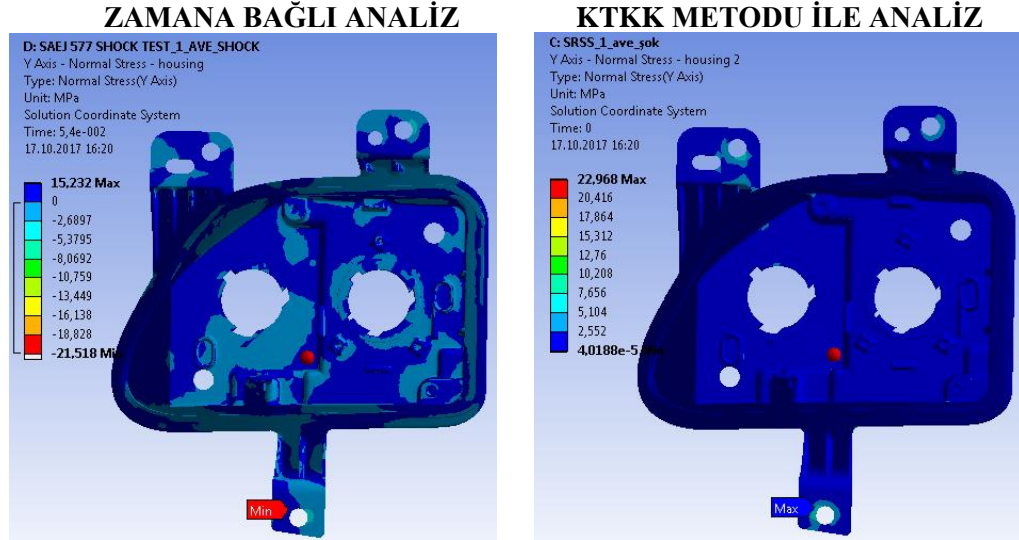
**Tablo 3. Zamana Bağlı Analiz ve CS Analizi Sonuçlarının Karşılaştırılması**

	Z Yönü Yer Değiştirme (mm)	Y Yönünde Normal Gerilme (MPa)
Zamana Bağlı Analiz	0,2253	21,5179
CS	0,21949 (hata=%2,62)	22,968 (hata=%6,74)



Şekil 13:

Z Yönünde yer değiştirme



Şekil 14:

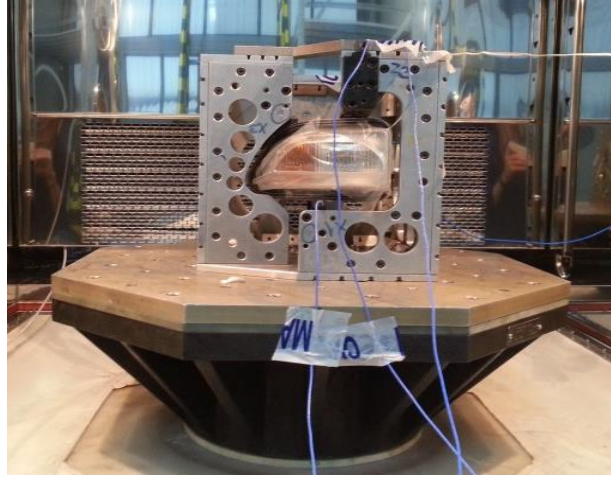
Y Yönünde normal gerilme

### 3. YARIM SİNÜS ŞOK TESTİ VE SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

#### 3.1. Yarım Sinüs Şok Testi Sırasında Ölçümler ve Sinyallerin İşlenmesi

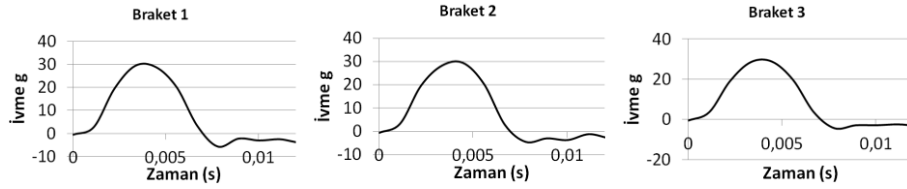
SAE J577 şok testinde olduğu gibi yarım sinüs şok testi sırasında her üç bağlantı noktasından üç yönde ivme sinyalleri ve aynı anda ürün bağlantı braketini üzerinden birim uzama ölçer ile birim uzama sinyali ölçülmüştür. Test elektrodinamik sarsıcı üzerinde (Şekil 15) bu sefer üç eksenli ivme ölçerler kullanılarak yapılmıştır. Tek bir test ile senkronize olarak tüm sinyaller aynı anda ölçülmüştür.





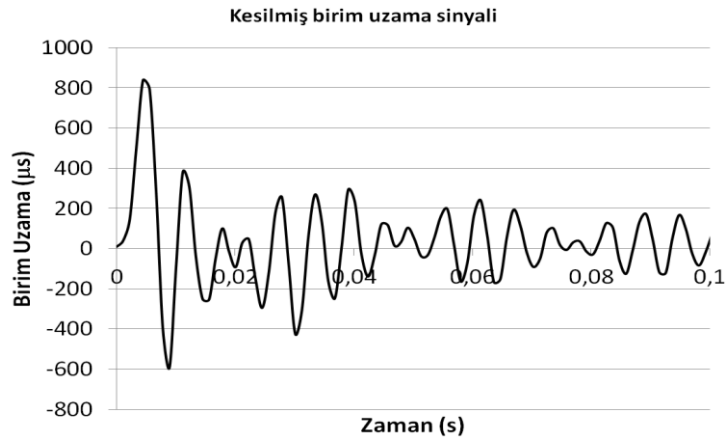
**Şekil 15:**  
*Elektrodinamik Sarsıcı Üzerinde Yarım Sinüs Şok Testi*

Teorik şok ivmesi ile ölçülen ivme sinyalleri Şekil 16'daki gibi karşılaştırılmış ve teorik şok ivme girdi sinyalinin %98 oranında temsil edildiği tespit edilmiştir.



**Şekil 16:**  
*Gündüz Farı Bağlantı Noktaları Üzerinden Ölçülen İvme Sinyali*

Test sırasında ölçülen birim uzama sinyali zamana bağlı analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmak amacıyla işlenmiş ve 0,1s'lik kısmı kesilmiştir. (Şekil 17) 0,5s'lik bir süre içinde şok sinyalinin sistem tarafından sönmüldüğü gözlenmiştir.

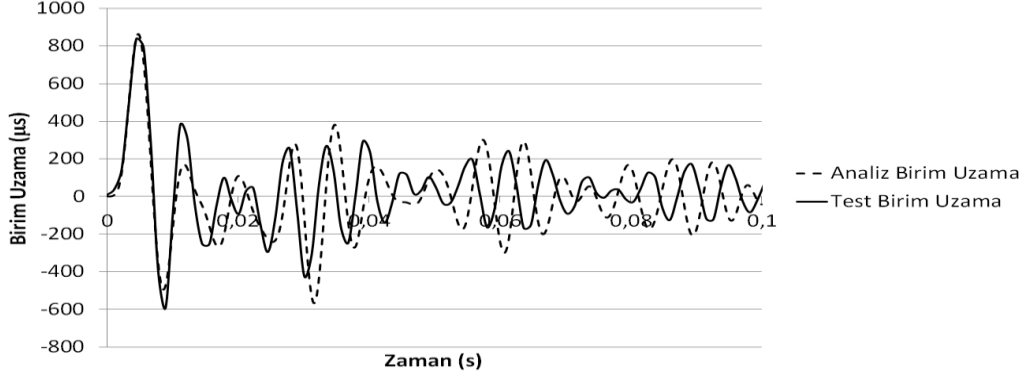


**Şekil 17:**  
*Kesilmiş Birim Uzama Sinyali*

Kesilmiş birim uzama sinyali incelendiğinde tepe değerinin 837,6 µs, KO değerinin ise 210,1 µs olduğu görülmüştür.

### 3.2. Zamana Bağlı Yarım Sinüs Şok Analizi

Ölçümler üç eksenli ivme ölçerler kullanıldığı için tamamen senkronizedir, bu durumda ortalama ivme ve birim uzama hesaplamaya gerek kalmamıştır, test verisi üzerinden kesilen ivme verisinin 0,1s'lik bir kısmı sonlu elemanlar analiz programında bağlantı noktaları üzerinden uygulanmış ve bu kısma denk gelen ölçülmüş birim uzama sinyali ile analiz sonucu elde edilen normal birim uzama sinyali karşılaştırılmıştır (Şekil 18).



**Şekil 18:**

*Test ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu Birim uzama Sinyali Karşılaştırma*

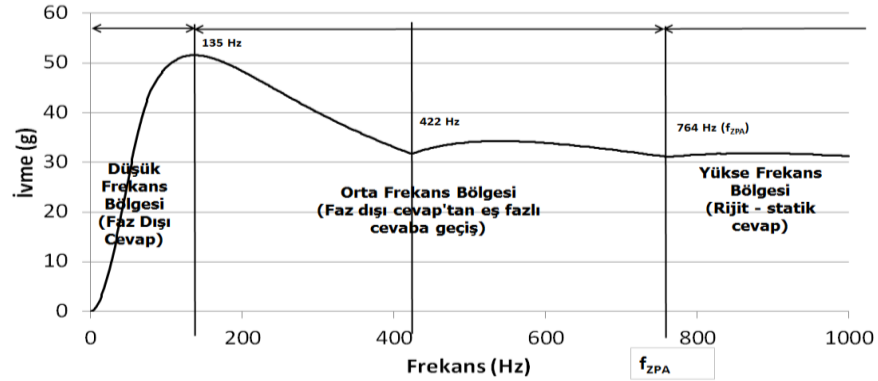
Tablo 4'da test ve sonlu elemanlar analiz sonucu elde edilen birim uzama sinyallerinin tepe ve KO değerleri karşılaştırılmıştır. Test ve sonlu elemanlar analiz sonuçları karşılaştırıldığında birim uzama sinyalinde tepe noktada %3'lük bir hata, KO değerinde ise %2,1'lik bir hata tespit edilmiştir. Ölçümlerin tamamen senkronize olması sebebiyle ortalama hesaplama işlemine gerek olmaması hatayı azaltmıştır.

**Tablo 4. Test ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonucu Karşılaştırma**

	Tepe (µs)	KO (µs)
Test	837,6	210,1
Analiz	862,4 (hata=%3)	205,7 (hata=%2,1)

### 3.3. CS Analizi

Zamana bağlı analizde kullanılan şok ivmelerinin CS'leri hesaplanarak (Şekil 19) CS analiz yapılmıştır.



**Şekil 19:**

*Yarım Sinüs Şok Sinyali İçin Hesaplanan CS*

Gündüz farının doğal frekansları CS'in orta (faz dışı cevaptan eş fazlı cevaba geçiş) frekans bölgesinde olduğu ve doğal frekanslar ayırık olduğu için KTKK mod kombinasyon metodu ile çözüm yapılmış ama bu sefer yüksek frekanslardaki doğal frekansların etkisini de görebilmek için kayıp kütle opsiyonu açık bırakılmıştır. Yüksek frekanslardaki rijit - statik cevap etkileri Lindley metodu ile göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 20'de belirtilen  $f_{ZPA}$  statik cevabın başladığı sıfır periyot ivme frekansıdır.

### 3.4. Zamana Bağlı Analiz ve CS Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

CS analizi ve zamana bağlı şok analizi sonucunda Z yönünde maksimum yer değiştirme değerlerinin %12,51'lik bir hata ile sağlandığı tespit edilmiştir. Y yönünde normal gerilim değerleri karşılaştırıldığında CS analizinin %12,76'lık bir hata ile sağlandığı tespit edilmiştir (Tablo 5). Her iki analizde de yer değiştirme ve gerilim haritasının benzer olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 5. Zamana Bağlı Analiz ve CS Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması**

	Z Yönü Yer Değiştirme (mm)	Y Yönünde Normal Gerilme (MPa)
Zamana Bağlı Analiz	0,7322	53,5484
CS	0,6406 (e=%12,51)	46,713 (e=%12,76)

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada SAE J577 şok testi sırasında ivme ve birim uzama sinyalleri ölçülerek MPGSEM'nde yük girdisi olarak kullanılmak üzere işlenmiştir. Ardından zamana bağlı ve KTKK metodu kullanılarak MPGSEM üzerinde şok analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Benzer metodlar kullanılarak aynı çalışma 6ms süren 30g'lik yarım sinüs şok testi içinde yapılmıştır. İvme ölçümlerinde bu sefer üç eksenli ivme ölçerler kullanıldığı için veri toplama işlemi tamamen senkronize bir şekilde yapılmıştır.

SAE J577 testi için yapılan sonlu elemanlar CS analizi 805522 düğüm noktası sayısına sahip bir matematik model için 918s sürmüş zamana bağlı analiz ise 41310s sürmüştür. Sonuç dosyaları karşılaştırıldığında ise, zamana bağlı analiz sonuç dosyası toplam 200,253 GB, CS analizi sonuç dosyasının ise 3,1GB olduğu görülmüştür. CS analizi oldukça kısa analiz süresi ve düşük sonuç dosyası boyutları gözönüne alındığında tasarım aşamasında tasarımın zayıf yönlerinin kısa sürede ortaya çıkartılarak iyileştirmeler yapılabilmesi amacıyla kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Bathe, K.G. (1982) *Finite element procedures in engineering analysis*. Prentice-Hall, Inc. 199 pp.
2. Ding ,MY. (2011) *Shock Analysis of Electronic Components*, ANSYS Inc.
3. Ediz, B. ve Telli Çetin, S. (2017). Binek Araç Gündüz Farının Modal Parametrelerinin Belirlenmesi ve Sonlu Elemanlar Modelinin Güncellenmesi, *Uludag University Journal of The Faculty of Engineering*, 22 (3), 1-10. doi: 10.17482/uumfd.338843.
4. J577-201509 , (2015). *Vibration test machine and operation procedure*, SAE International, United States.
5. Schrader, CD. (2006) *Dynamic Structural Simulation of the SAE J577 Vibration Test*, *SAE Technical Paper Series*. doi: 10.4271/2006-01-048.

6. Schrader, CD. and Hilburger, FKN. (2005) Development and Correlation of Three Axes Random Vibration Simulation on Automotive Lighting, *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2005-01-1570.
7. Xie ,K. (2007) Automotive Light Assembly Failure Detection, *MSc Thesis*, Queen's University Kingston, Ontario, Canada.