

KUZEY AMERİKA PAZARI İÇİN GELİŞTİRİLEN BİR ARACIN FMVSS 208 REGÜLASYONUNA UYGUNLUĞUNUN SANAL OLARAK DOĞRULANMASI

Alper Arslan* , Mertcan Kaptanoğlu* , Erman Şenocak*

* Hexagon Studio A.Ş., KOCAELİ

ÖZET

Bu çalışmada Kuzey Amerika pazarı için geliştirilen bir aracın FMVSS-208 regülasyonunda belirtilen 35 mph (56 km/saat) hız ile rijit duvara önden çarpması durumunda regülasyona uygunluğu incelenmiş ve sonuçlar kullanılarak tasarım geliştirme çalışmaları yürütülmüştür. Öncelikle RADIOSS çözücüsünde açık çözüm (explicit) metoduyla çarpışma süresince sürücüye gelen ivmeler ve aracın yapısal durumu tespit edilmiş ve sonrasında bir yolcu güvenliği yazılımı ile (MADYMO) bu ivmelerin, gerçeğiyle önceden doğrulanmış sanal çarpışma mankeni üzerindeki etkileri regülasyondaki başarı kriterlerine göre incelenmiştir. Mevcut durumun tespiti sonrasında hem yapısal geliştirme çalışmaları hem de yolcu güvenliği parçalarının (hava yastığı, emniyet kemeri vb.) parametreleri için iterasyonel geliştirme çalışmaları yürütülmüştür.

Anahtar kelimeler: FMVSS-208, çarpışma güvenliği, sürücü ve yolcu güvenliği

VIRTUAL VERIFICATION OF A VEHICLE DEVELOPED FOR THE NORTH AMERICAN MARKET WITH RESPECT TO THE FMVSS 208 REGULATION

ABSTRACT

In this work, a vehicle that has been developed for the North America market was investigated in order to meet the requirements of FMVSS-208 with a frontal impact of 35 mph (56 km/h) velocity to the rigid wall and by using the results, design developments were conducted. Firstly, accelerations coming over to the driver during the crash and vehicle's structural integrity was determined by using RADIOSS explicit solver. Secondly, accelerations that were taken from the previous step were used to determine the effect of the accelerations on a pre-validated virtual manikin in order to satisfy the regulational success criterias by using an occupant safety software (MADYMO). After evaluating the results, iterational development processes were done for both structural development parameters and occupational safety development (airbag, seatbelt etc.) parameters.

Keywords: FMVSS-208, crash safety, occupational safety

geçtikçe ürün geliştirme çalışmalarında sanal çalışmaların ağırlığı artmaktadır.

1. GİRİŞ

Sanal doğrulama yöntemleri ve yazılımları günümüzde araştırma-geliştirme yapan şirketlerin sıkça kullandığı araçlardır. Sanal prototip üzerinde yapılan sanal doğrulama faaliyetleri sayesinde hem ürün geliştirme döngüsü daha hızlı döndürülebilmekte hem de fiziksel prototip ve test maliyetleri azaltılmaktadır. Özellikle otomotiv sektörü için çok önemli olan zaman ve maliyet parametreleri üzerindeki bu olumlu etkisi nedeni ile gün

Araç projelerinde çarpışma güvenliği ve sürücü-yolcu güvenliği parametreleri aracın kullanılacağı ülkelere/bölgelere göre farklılıklar gösterebilmektedir. Her ülkenin/bölgenin kendine özgü bazı değerlendirme kriterleri bulunmaktadır. Genellikle “regülasyon” olarak bilinen bu şartların ilgili araçta sağlanması beklenmektedir.

Bu çalışmada Kuzey Amerika pazarı için geliştirilen

bir aracın, FMVSS-208'e göre [2]"rijit düz bir duvara önden çarpma testi" koşullarının sağlanması için çarpışma güvenliği ve sürücü-yolcu güvenliği parametrelerinin sanal doğrulama ile iyileştirilmesi esas alınmıştır.

Çalışmanın birinci kısmında çarpışma güvenliği ile ilgili olan konular üzerinde durulmuş, ikinci kısmında ise sürücü-yolcu güvenliği ile ilgili konular aktarılmıştır.

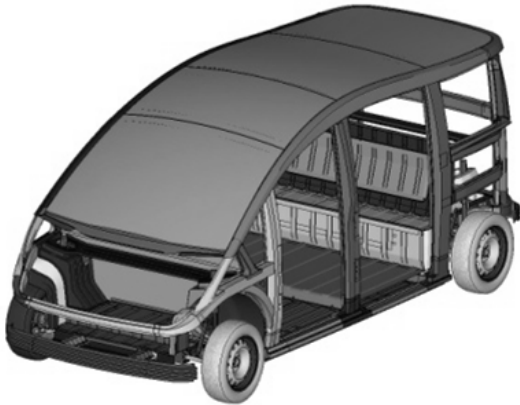
Çarpışma güvenliği ile ilgili olan birinci kısımda, çarpışma modelinin hazırlanması ve açık (explicit) yöntem ile RADIOSS [4] çözdürücüsünde çözümün yapılıp, sonuçların incelenmesi üzerinde durulmuş; ikinci kısımda ise çarpışma modelinden alınan ivme-zaman verilerinin Madymo [3] yazılımı kullanılarak sürücü-yolcu hasar derecelerinin ölçülmesi ve hem çarpışma modelinin hem de sürücü-yolcu modelinin iyileştirilme çalışmaları anlatılmıştır.

2. ÇARPIŞMA GÜVENLİĞİ

FMVSS 208 regülasyonu [2], motorlu taşıtlar için önden çarpma durumunda yolcu güvenliğinin sağlanmasını incelemektedir. Farklı çarpışma senaryoları ve mankenler ile gerçekleştirilen testler vasıtasıyla araçların önden çarpmada yapısal performansları ve sürücü ile yolcuların yaralanma miktarları değerlendirilmektedir.

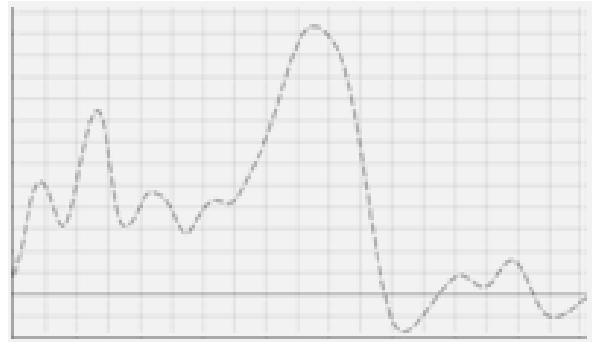
Çalışmanın bu bölümünde bir ticari aracın önden çarpma performansı geliştirme çalışmaları kapsamında, FMVSS 208 regülasyonunda [2] belirtilen 35 mph (56 km/h) "rijit duvara önden çarpma" yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirme çalışmalarının gerçekleştirildiği araç modeli, boyasız gövde, camlar, motor ve şasi komponentlerini içermektedir. Aracın diğer komponentleri (trim parçaları, motor aktarma organları vb..) ise bağlantı noktalarından kütle tanımlanarak modellenmiştir. Modelde (Şekil 1, Şekil 3) toplam 1.150.000 eleman bulunmaktadır

Şekil 1. Aracın ana yapısal elemanlarının sonlu elemanlar modeli

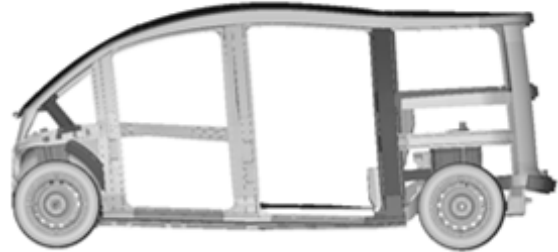


Yapısal analiz sonuçları değerlendirilirken, çarpışma sonrası kapıların fonksiyonelliği ve sürücü ve yolcu ayak bölgesi girişimleri kontrol edilmiştir. Bununla birlikte, MADYMO yazılımı [3] ile yaralanma değerlendirmesi yapılması amacıyla aracın 35 mph hız ile rijit duvara çarpması durumunda sürücü ve yolcu bölgesinde oluşan ivme çıktıları (Şekil 2) alınmıştır. Çarpışma esnasında maksimum seviyede enerji emilmesi ve yolculara minimum seviyede ivme aktarılması için, kuvvet aktarım yolları tasarlanmış, enerji emici kontrollü katlanma bölgeleri üzerinde iteratif yaklaşımla kalınlık ve şekil optimizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2. Çarpışma analizi sonucunda ölçülen ivme-zaman değerleri



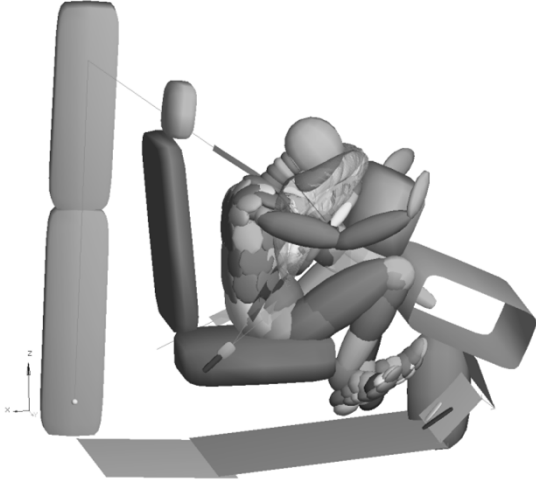
Şekil 3. Çarpışma sonrası araç modeli



3. SÜRÜCÜ - YOLCU GÜVENLİĞİ

Bu bölümde çarpışma analizleri neticesinde elde edilen ivme-zaman değerleri (Şekil 2) MADYMO yazılımında geliştirilen araç modeline uygulanarak (Şekil 4), sürücü ve/veya yolcu için hasar değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1). Daha sonra bu hasar değerlerinin mertebelerine göre yine aynı yazılımın derecelendirme aracı kullanılarak FMVSS için [1,2] "geçti/kaldı (pass/fail)" sonuçları elde edilmiştir. Benzer şekilde NCAP testleri için de bahsi geçen derecelendirme sistemi kullanılabilir. Ancak NCAP testleri için derecelendirilen sonuçlar "yıldız(lar)" olarak karşımıza çıkar. Amaç "beş yıldız" üzerinden hedeflenen "yıldız" sayısını elde etmektir.

Şekil 4. %50'lik ATD ile sürücü için hazırlanan MADYMO modeli



Şekil 4'te de gösterildiği üzere, önden çarpma durumunda araçta sürücü-yolcu güvenliğini etkileyebilecek tüm yüzeyler çoklu cisim (multibody) ve sonlu elemanlar modeli kullanılarak modellenmektedir. Çoklu cisim yöntemiyle ön panel, direksiyon, taban sacı, diz desteği, pedallar ve koltuk yüzeyleri modellenmiştir. Hava yastığı ve emniyet kemeri sistemi de sonlu elemanlar modeli kullanılarak modellenmiştir. Burada doğru tekniklerle ve kabullerle modelleme yapıldığı zaman çoklu cisim ağırlıklı modelleme ve çözüm işlemi sonuçlara ulaşmak açısından çok daha hızlıdır. Bu da daha fazla itereasyonun daha kısa sürelerde yapılabilmesine yardımcı olarak, iyileştirme çalışmalarında çok büyük avantajlar sağlamaktadır.

3.1 Çoklu Cisim (Multibody) Modeli

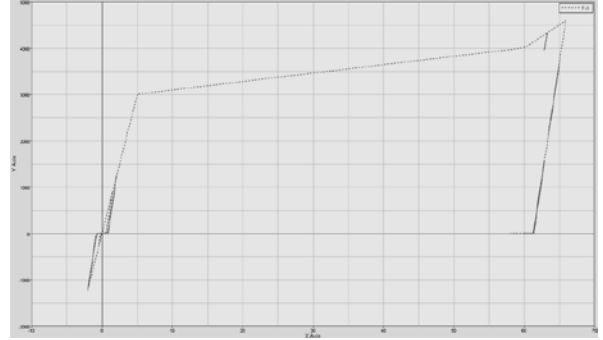
Çoklu cisim yöntemini kullanarak yüzeyleri modellemenin yanısıra çoklu cisimleri mafsallarla birbirine tutturmak gerekmektedir. Bu mafsalların tipleri ve özellikleri çoklu cisim sisteminin davranışını belirlemek için yapılır. Aynı zamanda bahsedilen mafsallara belirli karakteristikler atanabileceği gibi, bu noktalardan ölçümler yapabilmek de mümkündür. Yazılım bu noktalardan ölçümler yaparak ve sinyalleri işleyerek/filtreleyerek bize çıktı olarak sunmaktadır. Derecelendirme aracı da önceden tanımlı bu noktalardan ölçümler yaparak sonuçların hızlı bir şekilde görüntülenmesini sağlar. Derecelendirme aracı sadece baş, boyun, göğüs ve ayak çoklu cisimlerinden aldığı verileri işleyip sunduğu için, farklı bölgelerden alınması ve kontrol edilmesi gereken sinyallerin bizzat kullanıcı tarafından mevcut sonuç dosyaları içinden çıkartılması gerekmektedir.

Kısacası, FMVSS veya NCAP sonuçları yaşamsal değerler hakkında bilgi verirken, diğer ölçümler mafsallara atanan karakteristik fonksiyonların doğru

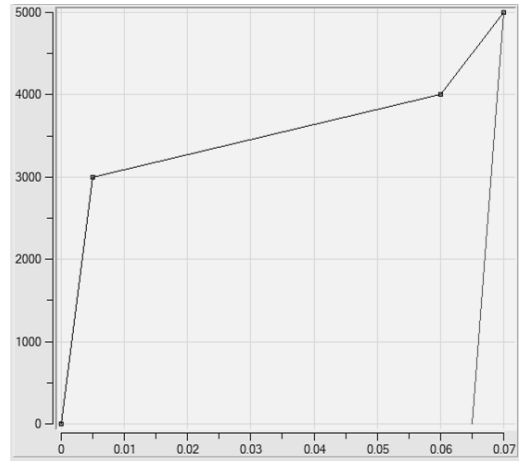
şekilde uygulanıp uygulanmadığı veya bu noktalardan gelen sinyallerin gerekli niteliklerde olup olmadığı gibi sonuçlar vererek, sistemdeki diğer bileşenlerin kontrolünü sağlamamıza yardımcı olur. Bu çalışma için genel olarak bu bileşenleri: yük sınırlayıcı (load-limiter), kemer için ön gerilme sağlayıcı (pretensioner), kemer makarası (retractor), direksiyon kolunu (steering column), diz desteği (kneebolster) olarak sıralayabiliriz. Bu mafsallara atanan karakteristik fonksiyonlar gerçekten de bu parçaların davranışlarını temsil etmelidir.

Örnek olarak, Şekil 5 ve 6'da diz desteğinin davranışının tanımlandığı fonksiyonu ve sistemin çözümü sonrasında diz desteği mafsallının fonksiyonel cevabını "kuvvet-yer değiştirme" olarak görebilmek mümkündür.

Şekil 5. Diz desteği mafsallının "kuvvet [N] - yer değiştirme [m]" cevabı fonksiyonu

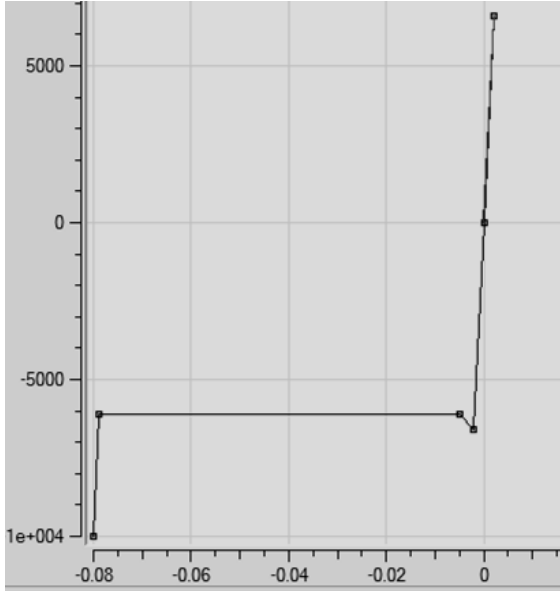


Şekil 6. Diz desteği mafsallının davranışını tanımlayan "kuvvet [N] - yer değiştirme [m]" fonksiyonu

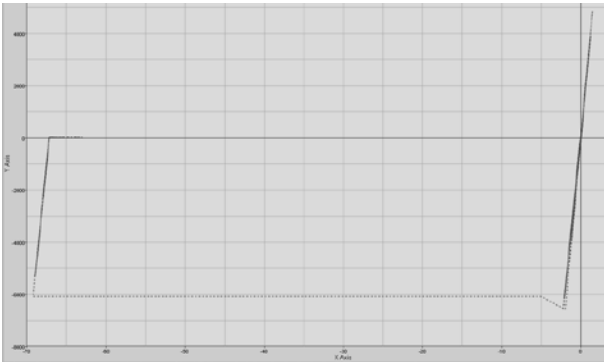


Benzer şekilde enerji sönümlemede etkin rol oynayan direksiyon kolununun da kuvvet-yer değiştirme fonksiyonları Şekil 7 ve 8'de belirtilmiştir [12].

Şekil 7. Direksiyon kolunu mafsalının davranışını tanımlayan “kuvvet [N] - yer değiştirme [m]” fonksiyonu



Şekil 8. Direksiyon kolunu mafsalının “kuvvet [N] - yer değiştirme [m]” cevabı fonksiyonu



3.2 Sonlu Elemanlar Modeli

Emniyet kemeri ve hava yastığı, yapılarının karmaşıklığından ötürü sonlu elemanlar modelleri kullanılarak modellenmiştir. Hava yastığının yapısı, geçirgenliği, içine dolacak gaz bileşiminin içeriği, paketlenmesi vb. parametreler yine programın kendi arayüzü kullanılarak modellenmiştir. Emniyet kemeri için de benzer şekilde lif yapısı, kalınlığı, tutturma noktaları vb. özellikler yine programın kendi arayüzü içinden yapılabilmektedir. Bu şekilde hem çoklu cisimler modellerini hem de sonlu elemanlar modellerini bir arada kullanabilmek mümkündür.

3.3 FMVSS-208 Derecelendirmesi

FMVSS-208'e göre [2], çarpışma süresince %50'lik sürücü ve/veya yolcunun kafa travması geçirmemesi için HIC “Head Injury Criteria = Kafa Travması Değeri” değerinin herhangi bir 15 ms'lik süre içinde 700'ü geçmemesi istenmektedir. Bu değer aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$HIC = \left\{ \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \right\}_{max}$$

Benzer şekilde boyun, göğüs deformasyonu ve ayaklara gelen yüklerin de belirli kritik değerlerin altında olması gerekmektedir. Aksi takdirde ölümcül yaralanmaların olabilmesi kaçınılmazdır. Tablo 1'de tüm ölçümlenen değerler gösterilmiştir.

Tablo 1. Kafa, boyun, göğüs ve uyluk kemiği (femur) için elde edilen derecelendirme sonuçları

HEAD	Value	% of tolerance level
HIC 15ms	139	20
Head Assessment		Passed
NECK	Value	% of tolerance level
Nij	0.288	29
Tension extension	0.222	22
Tension flexion	0.288	29
Compression extension	0.017	2
Compression flexion	0.226	23
Axial Tension (kN)	1.404	34
Axial Compression (kN)	0.200	5
Head & Neck Assessment		Passed
CHEST	Value	% of tolerance level
Compression (mm)	38.253	61
Resultant Acc. 3ms exceedence (g)	37.912	63
Chest Assessment		Passed
FEMUR	Value	% of tolerance level
Left Femur Axial Compression (kN)	0.816	7
Right Femur Axial Compression (kN)	1.521	14
Femur Assessment		Passed

4. İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Sürücü ve/veya yolcu güvenliği bakımından incelendiğinde, iyileştirme çalışmalarını yapabilmek için oldukça karmaşık ve fazla parametreyle çalışma gerekmektedir. Her parametrenin sonuca direkt etkisi olacağından, hedeflenen sonuçlara ulaşabilmek oldukça zahmetlidir. En verimli sonucu elde edebilmek her zaman mümkün olamayabilir, bu durumlarda da dizayn değişikliğine gidilmesi gerekebilir.

5. SONUÇ

Bölüm 3.3'teki sonuçlar daha sonra özetlenerek Tablo 2'deki gibi net bir sonuca ulaşılır. Tablo 1'deki herhangi bir parametre, olması gereken sınırların üzerinde çıkarsa, tüm genel derecelendirmede de bu kısım kırmızı ile "kaldı (fail)" olarak görünecektir. Ancak bu çalışmada ara sonuçlar verilmemiş, sadece son elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 2. Genel derecelendirme sonuçları

Body Region	Rating
Head & Neck Assesment	Passed
Chest Assessment	Passed
Femur Assessment	Passed
Driver Assessment	Passed

Bu çalışmada, Tablo 1 ve 2'deki sonuçlarda da belirtildiği üzere, iyileştirme çalışmalarının da yapılmasından sonra FMVSS-208 regülasyonuna uygunluk tam olarak sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. 49CFR, Part 571, FMVSS 203: "**Impact protection for the driver from the steering control system.**", National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation
2. 49CFR, Part 571, FMVSS 208: "**Occupant Crash Protection**", National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Department of Transportation
3. MADYMO Manuals r7.3, November 2010, TASS
4. RADIOSS Manuals, v11, Altair Engineering, Inc.