

YER DÜZLEMİNE DİK YÖNDE ARACA ETKİYEN ŞOK YÜKÜNE KARŞI MÜRETTEBAT GÜVENLİĞİNİN SANAL DOĞRULUMA YÖNTEMLERİYLE İNCELENMESİ

Erman ŞENOCAK ^(a), Mertcan KAPTANOĞLU ^(b), Alper ARSLAN ^(c)

^(a) Hexagon Studio, Dayanım ve Güvenlik Ekibi, Kocaeli, erman.senocak@hexagonstudio.com.tr

^(b) Hexagon Studio, Dayanım ve Güvenlik Ekibi, Kocaeli, mertcan.kaptanoğlu@hexagonstudio.com.tr

^(c) Hexagon Studio, Dayanım ve Güvenlik Ekip Lideri, Kocaeli, alper.arслан@hexagonstudio.com.tr

ÖZET

Bu makalede, yer düzlemine dik yönde araca etkiyen şok yüküne karşı mürettebat güvenliğinin sonlu elemanlar ve çoklu cisim dinamiği metodlarının birleşik çözümü kullanılarak incelenmesi konu edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi ise NATO'nun bu konu ile ilgili yayınladığı teknik makaleler baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şok, Mürettebat Güvenliği, Sonlu Elemanlar, Çoklu Cisim Dinamiği, Birleşik Çözüm.

ABSTRACT

In this paper, crew members' safety of a vehicle in the case of vertical shock load were investigated by using coupling solution through the finite element and multibody dynamic methods. The results were evaluated by using the technical papers that was released by NATO.

Keywords: Shock, Crew Safety, Finite Element, Multibody Dynamics, Coupling Solution.

1. GİRİŞ

Askeri araçlardan şok yüklerine karşı dayanım beklentileri şok sonrasında yapısal bütünlüğün korunması ve daha önemlisi mürettebat güvenliğinin sağlanabilmesidir. Zira mürettebatının sağ kalmayı başaramadığı bir araçtan verim alınabilmesi mümkün olmayacaktır. Bu amaçla bu çalışmamızda bir platforma bağlı koltuk modelinde oturan araç sürücüsünün yer düzlemine dik yönde gelen bir şok yüküne maruz kaldığı anda yaşamsal değerlerinin

ölçümlenebilmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi ise ölçümlenen ivme, zaman, deformasyon vb. parametrelerin NATO'nun diğer birçok savunma sanayii kuruluşlarıyla ortaklaşa hazırladığı ve geliştirdiği "RTO-TR-HFM-090" [1] teknik dökümanına göre yapılmıştır.

Literatürde karşılaşılan bazı çalışmalara göre [4, 5] bu çalışmanın farkı, konsept aşamasında sonuçların hızlı bir şekilde elde edilebilmesi ve sonraki aşamalarda gerçekleştirilecek detaylı modellere daha hızlı yön verebilmesinin istenmesidir. Detaylı çalışmalar sonrasında daha hassas verilerin elde edilmesi kaçınılmazdır.

Yapılan bu çalışmada, platform, yapısal koltuk parçaları ve emniyet kemeri sonlu elemanlar metodu ile HyperMesh, HyperCrash ve Madymo yazılımları kullanılarak oluşturulmuştur. Koltuk süngerleri ise çoklu cisim dinamiği metodu ile sadece Madymo yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Çözüm aşamasında ise hem koltuğun ve platformun dayanımını incelemek hem de çoklu cisim yapılarının (koltuk süngerleri ve Hybrid III FAA ATD mankeni [2]) davranışlarını incelemek için Radioss-Madymo birleşik çözümü gerçekleştirilmiştir. Madymo yazılımının kütüphanesinde bulunan Hybrid III çoklu cisim test mankenleri, hem gerçekleri ile son derece iyi örtüşen sonuçlar vermesi bakımından hem de parça kütleli sistem yaklaşımıyla çoklu cisimleri tanımlaması bakımından tercih edilmiştir [2]. Katı cisim dinamiği korunum denklemleri tek adım açık (explicit) nümerik integrasyon yapan Runga-Kutta metodu ile; sonlu elemanlar metodu ile yapılan çözüm işlemi ise açık (explicit) zaman integrasyonu metodu ile gerçekleştirilmiştir [4].

2. TEORİ VE MODELLEME AŞAMALARI

Sonlu elemanlar metodu ile modellenen parçalar platform, ana koltuk yapısı ve emniyet kemeridir. Çoklu cisim dinamiği metoduyla ise koltuk süngerleri modellenmiştir. Hybrid III FAA ATD mankeni yazılım tarafından sunulan gelişmiş bir mankendir ve aynı şekilde çoklu cisim dinamiği prensiplerine göre çalışmaktadır. Pozisyonlaması ve yerleşimi yapılarak sonlu elemanlar modeliyle birleştirilmiştir. H III FAA mankeni, özellikle havacılık uygulamalarında fırlatma koltuklarının doğrulama analizlerinde kullanılmaktadır [2, 3]. Ancak NATO tarafından yapılan araştırmalarda [1] aynı mankenin, araç altında meydana gelen patlamalar sebebiyle oluşan dikey yönlü şok yüklerinin mürettebat üzerinde meydana getireceği etkileri ve yaralanma derecelerini normal H III mankenlere göre daha hassas ölçeceği belirtilmiştir.

Giriş kısmında da bahsedildiği üzere, koltuk süngerlerinin çoklu cisim dinamiği prensiplerine göre modellenmesinin sebebi tamamen konsept aşamasında analizlerin daha hızlı bir şekilde tamamlanması konusunda yardımcı olacağı düşüncesidir. Şüphesiz ki ilerleyen çalışmalarda gerçekçi malzeme

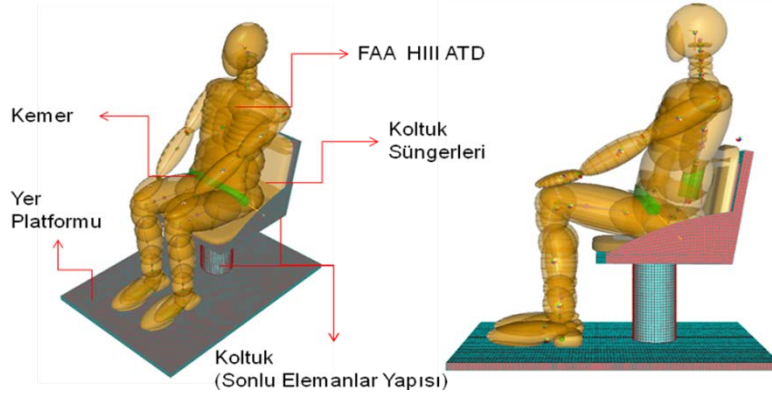
modelleriyle birlikte süngerlerin sonlu elemanlar yapısında modellenmesi de gerçekleştirilecektir, ancak koltuk süngerinin davranışı hakkında temel düzeyde ihtiyaç olunan verilere ulaşmak da bu şekilde daha verimli olmaktadır.

Konsept aşamasında çoklu cisim dinamiği mantığı ile çalışmanın diğer büyük avantajlarından birisi de çözüm sürelerinin sağladığı avantajlardır. Aynı zamanda çoklu cisim mantığıyla modellenen koltuk süngerlerinin davranışlarına da kolay bir şekilde müdahale edilebilmesi mümkün olduğundan, ilerleyen çalışmalarda optimizasyon konusunda da kolaylıklar sağlayacağı düşünülmüştür.

Ana koltuk yapısının sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında kullanılan boyut parametrelili varsayımsal verilere dayalıdır ve koltuk mekanizmasının herhangi bir şekilde ilave şok yutucu bir görevinin olmadığı varsayılmıştır (Şekil 1). Şok yükünün absorbe edilmesi, yapıların burkulma karakteristiğine ve süngerlerin tanımlanan şekilde davranıp davranmadığına bağlıdır. Şok yükünü sönmüleyeyen mekanizmalı bir koltuk yapısının ilerleyen çalışmalarda kullanılması planlanmaktadır.

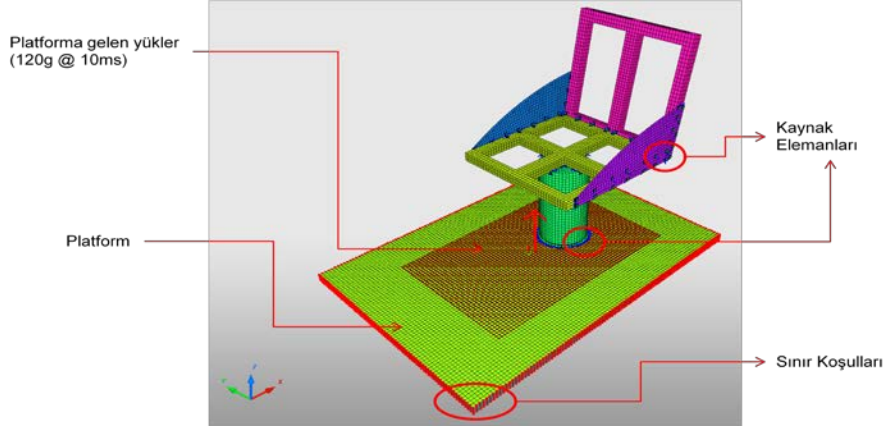
Kullanılan H III FAA mankeni, %50'lik olup (Şekil 1), ilerleyen çalışmalarda, farklı insan profillerine göre de tam uyumluluğun sağlanabilmesi için %5'lik ve %95'lik mankenlerin de kullanılması planlanmaktadır.

Şekil 1. Sonlu elemanlar (FE) ve çoklu cisim dinamiği (MB) metodları kullanılarak gerçekleştirilen modelleme işlemi

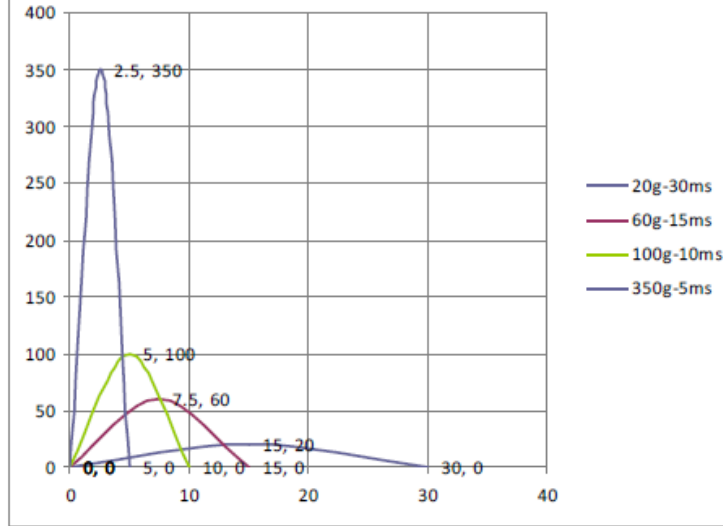


Sınır koşulları olarak, platformun kenarlarındaki düğüm noktaları sadece x, y ve z yönlerinde harekete karşı sınırlandırılmıştır. Aynı bölgelerdeki dönmeler serbest bırakılmıştır (Şekil 2). Burada amaç, araçtan platforma aktarılacak olan şok yükünün kullanılmak istenmesidir. Aracın alt bölgesinde oluşan şok yükünün bir kısmını absorbe edeceği düşünüldüğünde, şok yükünün tamamının direkt olarak platforma aktarılmayacağı varsayımı ile yola çıkılmıştır. Uygulanan şok yükü varsayımsaldır, referans çalışmalardan faydalanılarak elde edilmiştir [4, 5] (Şekil 3).

Şekil 2. Yüklemeler, sınır koşulları ve bağlantı elemanları



Şekil 3. Genel (jenerik) şok yükleri [4, 5]

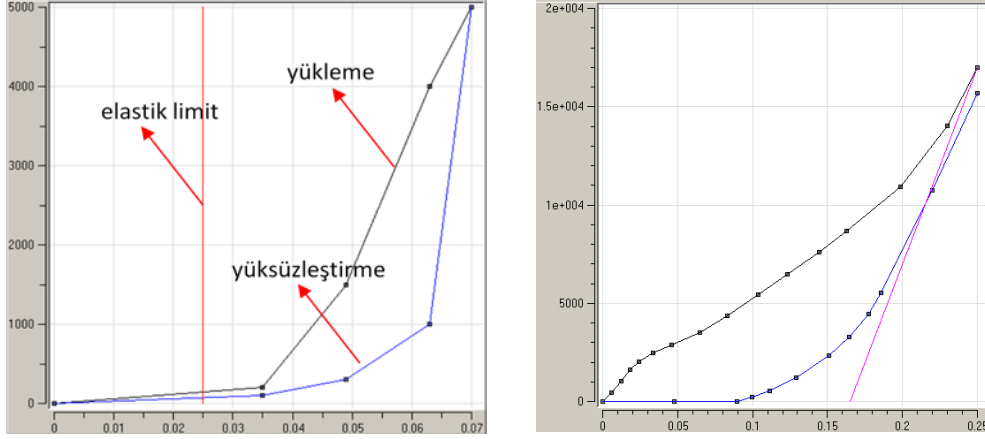


Sonlu elemanlar metoduyla modellenen parçaların kalınlıkları standart olup, 2,5 mm'dir. Açık (explicit) çözüm için kullanılan malzeme modeli plastisiteyi de hesaba katan Johnson-Cook malzeme modelidir. Malzeme hakkında genel bilgiler Tablo-1'de verilmiştir. Diğer malzemelere ait (koltuk süngeri ve kemer) parametreler de Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1. Modelde kullanılan standart çeliğin malzeme parametreleri

Yoğunluk	7,82e-9 Ton/mm ³
Young Modülü	210000 N/mm ²
Poisson Oranı	0,3
Akma Gerilmesi	350 MPa
Kopma Anındaki Şekil Değişirme	0,5
Şekil Değişirme Oranı	4,4
Maksimum Gerilme	450 MPa

Şekil 4. Çoklu cisim olarak modellenen koltuk süngerlerinin (solda) ve sonlu elemanlar olarak modellenen kemerin (sağda) davranışını sergileyen kuvvet (N) – deplasman (m) fonksiyonları



Çözüm için açık çözüm (explicit) metodun tercih edilmesinin nedenleri; yüksek derecede nonlineer davranışların, büyük genlikli deformasyonların ve temas (contact) durumlarının kapalı (implicit) metoda göre daha iyi yakınsaması ve açık (explicit) çözüm metodunun kapalı (implicit) çözüm metoduna göre daha sağlam sonuçlar vermesidir [6].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

HFM-090/TG-25 teknik raporuna göre incelenmesi gereken kritik bölgelerin ivme-zaman ve kuvvet-zaman değerleri, yapılan birleşik çözüm işleminin sonucunda elde edilmiştir (Şekil 5 ~ 7). Bu değerlerin belirli bir andan sonrası önem içermediğinden, bazı grafiklerde 100ms sonrası değerlere yer verilmemiştir. Bunlara ilave olarak temel analiz parametreleri Tablo 2’de, çözüm sürelerine ait detaylı değerler ise Tablo 3’te verilmiştir. Çözüm için 7 CPU Radioss çözücüsü tarafından, 1 CPU ise Madymo çözücüsü tarafından kullanılmıştır.

Tablo 2. Temel analiz parametreleri

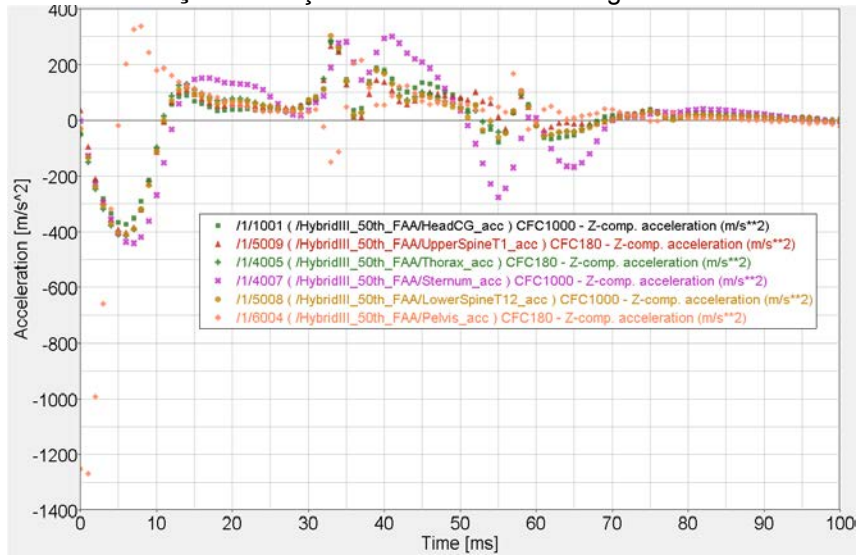
Çözüm aralığı	250 ms
Zaman adımı (sonlu elemanlar)	5.0e-7 s
Zaman adımı (çoklu cisim dinamiği)	1.0e-6 s
Toplam çözüm süresi	11 saat 40 dakika
Kütle ölçeklemesi katsayısı	0,67
Toplam enerji hata oranı	-%0,1
Toplam kütle hatası	%0,227

Tablo 3. Analiz hesaplama zamanları (8 CPU ile çözüm)

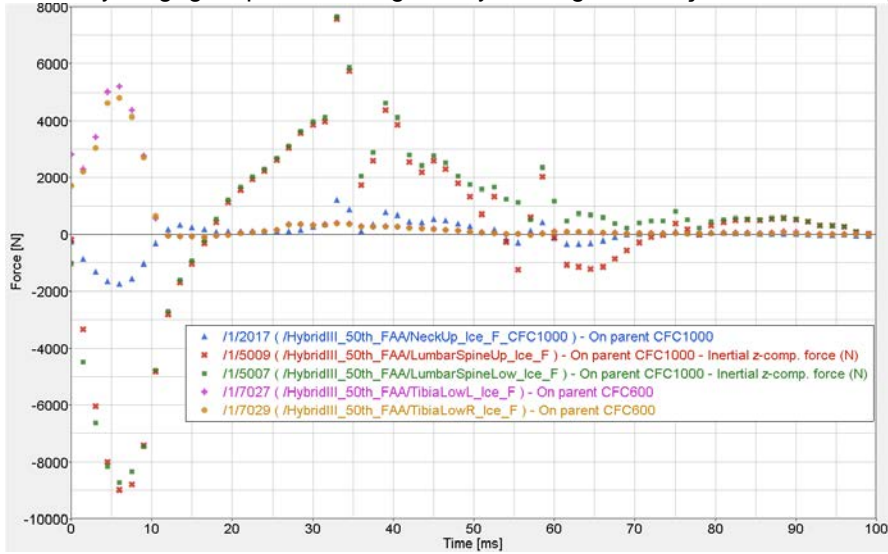
	CPU (saniye)	Sistem (saniye)
Toplam sonlu elemanlar	23075,2 (%55)	78,6 (%7)
Toplam çoklu cisim	480,3 (%1)	4,5 (%0)
Birleşik çözüm için Radioss kullanımı	18359,4 (%44)	934,1 (%84)
Çıktıların yazılması	78,7 (%0)	34,1 (%3)
Filtreleme ve yaralanmaların hesabı	30,2 (%0)	65,8 (%6)

Tablo 2 ve Tablo 3'teki sonuçları incelediğimiz zaman, çoklu cisim metodu ile modellenen sistemler/parçalar için harcanılan sürelerin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Her ne kadar sonlu elemanlar hesabı için harcanılan süreler de az görünse de (sistemin basitliği sebebiyle), birleşik çözümden kaynaklı zaman kayıplarının toplam süre içindeki değeri oldukça yüksek görülmektedir. Buradan çıkarılacak sonuç, konsept aşamasında birleşik çözümün mümkün mertebe düşük derecelerde kullanılmasıdır. Her ne kadar bazı durumlarda sonlu elemanlar yapısını kullanmak kaçınılmaz gibi görünse de, öncelik teşkil etmeyen parçaların çoklu cisim olarak modellenmesi ve çözdürülmesi harcanılacak zaman açısından daima avantajlı görünmektedir.

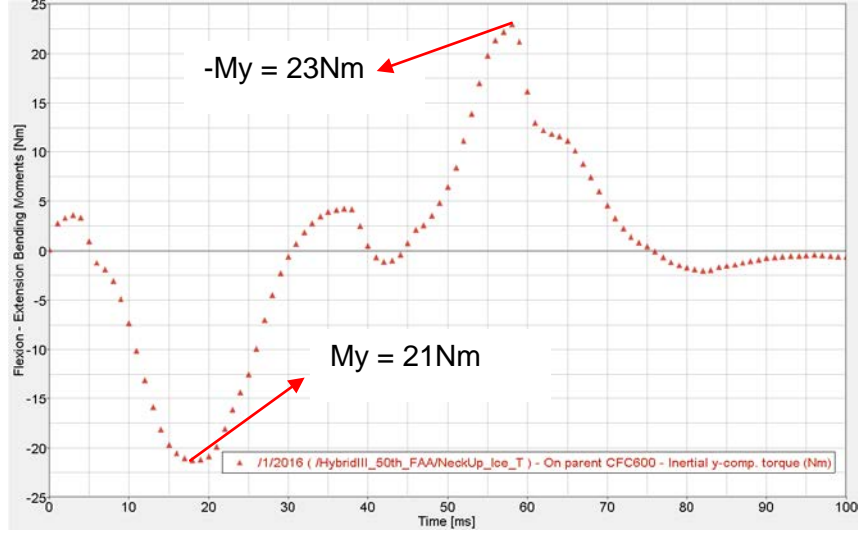
Şekil 5. Ölçümlenen ivme-zaman değerleri



Şekil 6. Boyun, göğüs, pelvis, omurga ve ayaklara gelen sıkıştırma kuvvetleri [N]



Şekil 7. Üst Bboyun bölgesindeki eğilme momentleri



Tablo 4. HFM-090/TG-25'e göre derecelendirme kriterleri ve elde edilen sonuçların kriterlere uygunluğunun tespiti [1]

Bölge	Yaralanma Kriteri	Tolerans Seviyesi	Hesaplanan Değer	Sonuç
Alt kaval kemiği	Alt kaval kemiğine gelen pik sıkıştırma kuvveti (-Fz)	5.4 kN	5.31 kN – Left 4.83 kN – Right	Geçti
Göğüs arkası omurlilik bölgesi	Dinamik Cevap Endeksi (DRI-z)	17.7	67	Kaldı
Boyun	Sıkıştırma Kuvveti (-Fz)	4 kN @ 0 ms 1.1 kN @ 30 ms	1725 N @ 6 ms 1025 N @ 32.5 ms	Geçti Geçti
	Pik Esneme Eğilme Momenti (My)	190 N.m	21 N.m	Geçti
	Pik Uzama Eğilme Momenti (-My)	57 N.m	23 N.m	Geçti
İşitme ile ilgili olmayan diğer iç organlar	Göğüs Duvarı Hız Öngörücüsü (CWVP)	3.6 m/s	Basınç ölçüm cihazına gerek duyulmaktadır	-

Dinamik cevap endeksi (DRI-z) hesaplanırken aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır;

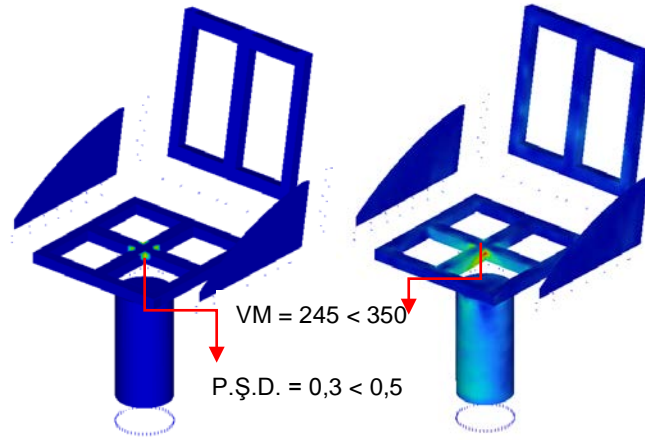
$$DRI-z = \frac{\omega_n^2}{g} \cdot \delta_{max} \quad [1, 4, 5]$$

Burada w_n doğal frekans (52,9 rad/s), d_{max} maksimum izafi deplasman (0,235m) ve g ise yerçekimi ivmesidir (9,81 m/s²). DRI-z değeri beklenildiği şekilde oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun en büyük sebebi ise koltuk sisteminin ayrı bir şok emici mekanizmaya sahip olmamasıdır. Bu sebeple yapıya gelen şok yükünün çok büyük bir miktarı omurgaya ve pelvise aktarılmıştır.

Tablo 4'te belirtilen "İşitme ile ilgili olmayan diğer iç organlar" kısmının incelenmesi test düzeneği yardımıyla mümkün olabilirdiğinen, bu çalışmada sonuçlarına yer verilmemiştir.

Sürücü mürettebata gelen yükler ve derecelendirmeler yapıldıktan sonra, koltuk yapısının da incelenmesi gerekmektedir. Plastik şekil değiştirme ve Von-Misses gerilme değerlerine bakılarak koltuk yapısı hakkında sonuçlar elde edilmiştir. Kritik görülen bölgelerde iyileştirme çalışmaları yapılması uygun görülmektedir.

Şekil 8. Gözlemlenen en kritik durumlarda plastik şekil değiştirmeler (solda) ve Von-Misses gerilme değerleri (sağda)



Şekil 8'de de belirtilği üzere, koltuk yapısının mukavemetinde herhangi bir kritik duruma rastlanılmamıştır. Plastik şekli değiştirme değerinin en yüksek olduğu durumda (0,3) güvenli sınırlar içinde kaldığı tespit edilmiştir. Von-Misses gerilmeleri için de benzer durum söz konusudur. Rastlanılan en yüksek gerilme değeri 245 MPa olarak tespit edilmiştir ve herhangi bir kritik durum söz konusu değildir.

KAYNAKÇA

- [1] The Research and Technology Organisation (RTO) of NATO, (2007), "Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants against Anti-Vehicular Landmine Effects (RTO-TR-HFM-090/TG-25)", RTO Technical Report
- [2] TASS, (2010), "Model Validation of Hybrid III 50 FAA Dummy", MADYMO Model Manual Release 7.3, 116-117
- [3] TASS, (2010), MADYMO Model Manual Release 7.3
- [4] S. Arepally, D. Gorsich, K. Hope, S. Gentner, K. Drotleff, (2008), "Application of Mathematical Modeling in Potentially Survivable Blast Threats in Military Vehicles"
- [5] A. Kendale, R. Jategaonkar, M. Shkoukani, G. Zhang, (2009), "Study of Occupant Responses in a Mine Blast Using Madymo"
- [6] Altair, (2011), Radioss Theory Manual v11