

SU ALTI PATLAMALARDAN OLUŞAN ŞOK DALGALARINA DAYANACAK GEMİ TASARMININ DENEYSEL ANALİZİ

T. Toprak E. Bozdağ E. Sünbuloğlu
İ.T.Ü. Makina Fakültesi

ÖZET

Sualtı patlamalarından oluşan şok dalgalarına dayanıklı muharip gemilerin tasarımı aşamasında ilgili uluslararası standartların tanımladığı kriterler kullanılır. Deniz platformlarında, şok etkilerine dayanıklılık bakımından, ilgili uluslararası standartların sağlanabilmesi için, tasarım aşamasında şok simülasyon analizlerinin yapılarak tasarım geliştirilir. Ancak, bilhassa darbeli ve şok şeklindeki dış etkilerin sanal ortamda modellenmesi, genellikle gerçek şartlardan uzak kalabilmektedir. Bu nedenle, standartlara uygun olarak geliştirilen tasarıma göre imal edilmiş prototip yapı üzerinde, yine ilgili uluslararası standartların tanımladığı şartlarda testler yapılarak, sonuçları sayısal analiz sonuçlarıyla karşılaştırılır ve gereken tasarım modifikasyonları gerçekleştirilir. İlgili standartlara göre, testler gerçek yapı üzerinde değil, standardın tanımladığı geometri ve boyutlardaki bir tekne üzerinde gerçekleştirilir. Aynı teknenin sanal ortamda oluşturulan modeli üzerinde de sayısal analizler ve simülasyonlar gerçekleştirilerek, sonuçları karşılaştırılır. Amaç, sanal ortamda oluşturulan model ve analizlerin gerçeğe ne kadar yaklaştığının belirlenmesidir.

GİRİŞ

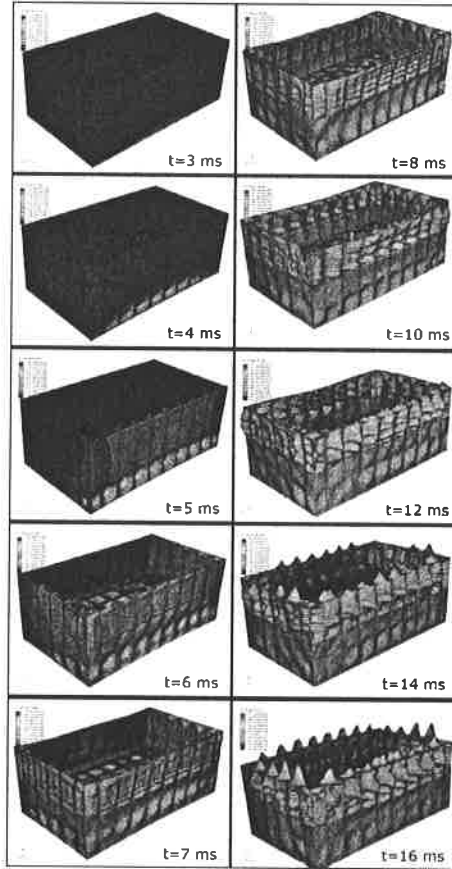
Su altı patlamalarından oluşan şok dalgalarına dayanıklı su üstü platformların tasarımlarının sağlanması ile ilgili kriterler “*MIL-S-901 Military Specification - Shock Tests, H.I. (High-Impact) Shipboard Machinery, Equipment, And Systems*” askeri standardında tanımlanmıştır. Testlerde kullanılacak ve tasarımı ilgili uluslararası standartlarda tanımlanmış olan su üstü yapısının (Şat) imalatı Deniz Kuvvetlerine bağlı, Pendik Tersane Komutanlığında imal edilmiştir.

Adı geçen uluslararası askeri standard da tanımlandığına göre, testlerde ve sayısal analizlerde şok dalgalarının oluşturulacağı patlatmalar için, her biri yaklaşık 25 kg'lık (60 lb) HBX-1 patlayıcı maddesi kullanılacaktır. Testler, patlamanın şata (suüstü platform) olan değişik uzaklıklarında tekrarlanacaktır. Her bir patlamanın konumu ve şiddeti ilgili standard tarafından tanımlanmıştır.

Standartların tanımladığı, test şartları ve ortamı için yapılan araştırmalar sonucunda, en uygun konum olarak, Karadenizde, Riva burnu sahili seçilmiştir. Bu konumda, Deniz Kuvvetleri, Sualtı Komando Birliğinin desteğinde yapılan patlatmalarda, tekne üzerine değişik konumlara yerleştirilen strain gaugeler ve 3-eksenli ivme algılayıcıları ile veriler toplanmıştır. Yapıya şok dalgasının gerçek etkisi mili saniyeler içinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle veri toplama sistemi hem çok kanallı ve hem de çok yüksek örnekleme frekansına sahip olmalıdır. Bu nedenle kullanılan veri toplama sistemi, 128 kanallı ve her bir kanalının

örnekleme frekansı 50 kHz (her bir kanaldan saniyede 50.000 ölçüm kaydetme) dir. Testlerin görüntülenmesi ve ayrıca deformasyon analizi için yine özel Hızlı Kamera Seti kullanılmıştır. Bu hızlı kamera sistemi, yüksek çözünürlükte (1024x1024) saniyede 1000 çerçeve, daha düşük çözünürlüklerde 30.000 çerçeve resim kaydedebilmekte, ayrıca bilgisayar yazılımı ile test sırasında yapının deplasman vektörleri de hesaplanmıştır.

Standardların ölçümler için tanımladığı yükleme koşulları ile yapılan sayısal analizlerle, deformasyon, gerilme durumları ve titreşim modları hesaplanmıştır. Aşağıdaki şekilde, yükleme şartlarının biri için değişik zaman aralıklarında hesaplanan deformasyon durumları görülmektedir. Görüntüde deformasyonlar 1/100 ölçeğinde verilmiştir.

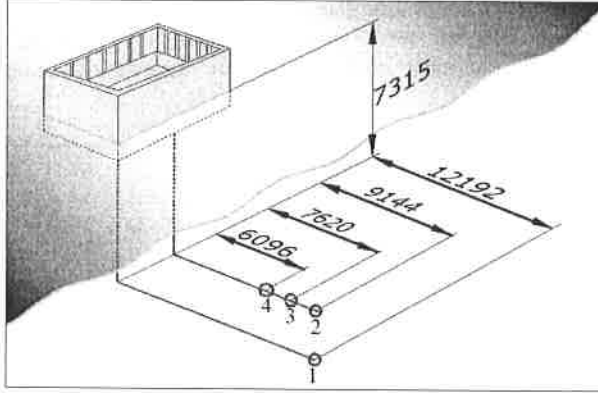


Şekil 1 : Şok Etkisinin İlk 16 milisaniyede Oluşturduğu Deformasyon Durumları

ÖLÇÜMLER VE SONUÇLARI

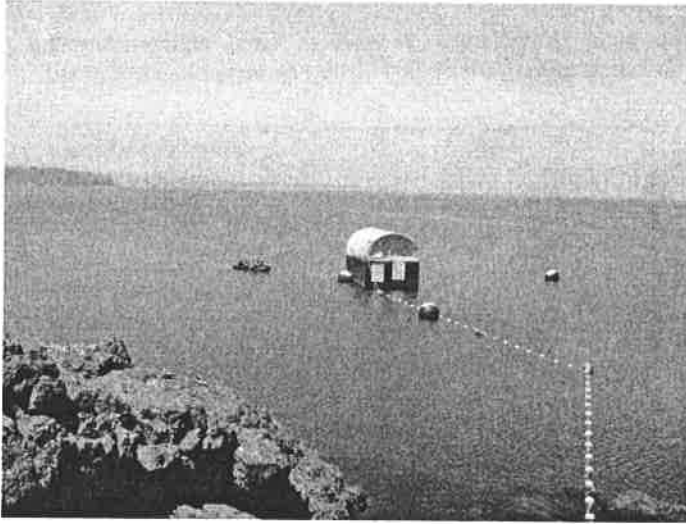
Testlerde kullanılacak ve tasarımı ilgili uluslararası standartlarda tanımlanmış olan su üstü yapısının (Şat) imalatı Deniz Kuvvetlerine bağlı, Pendik Tersane Komutanlığında yapılmıştır.

Adı geçen uluslararası standardın tanımladığı bir başka bilgi de patlatma noktalarının test platformuna göre konumlarıdır. Bu konumlarda standard da aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi tanımlanmıştır.



Şekil 2 : ilgili Uluslararası Standartlara Göre Patlamaların 4 Değişik Konumu

Bu ölçüm şartlarına en uygun konum olarak, Riva-Karadeniz sahili seçilmiştir. Deniz altı patlamalar için lojistik desteği verecek olan Deniz Kuvvetleri, Sualtı Komando Birliğinin kampı da bu çevrededir. Aşağıdaki resimde ölçüm mahalli ve test platformu görülmektedir. Ölçüm sistemi sahilde konuşlandırılmıştır.

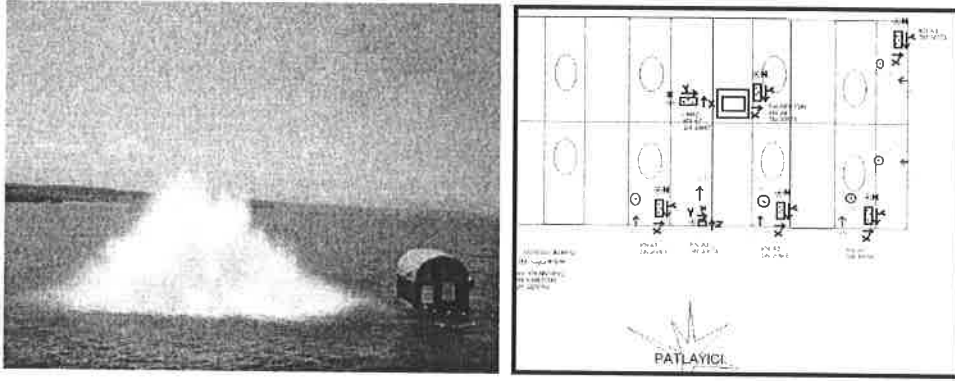


Şekil 3 : Karadeniz Riva Sahillerinde Yapılan Testin Konumu ve Platform

Platformun sahile uzaklığı yaklaşık 100 metre kadardır. Daha önceden aynı yükleme şartları ile sanal ortamda yapılan sayısal analizlerin sonuçları da dikkate alınarak, platfor üzerinde kritik görülen konumlara 3-elemanlı strain gauge rozetler yerleştirilmiştir. Ayrıca şokun platform üzerindeki etkisi için yine değişik konumlara 3-eksenli ivme algılayıcıları (3-axial

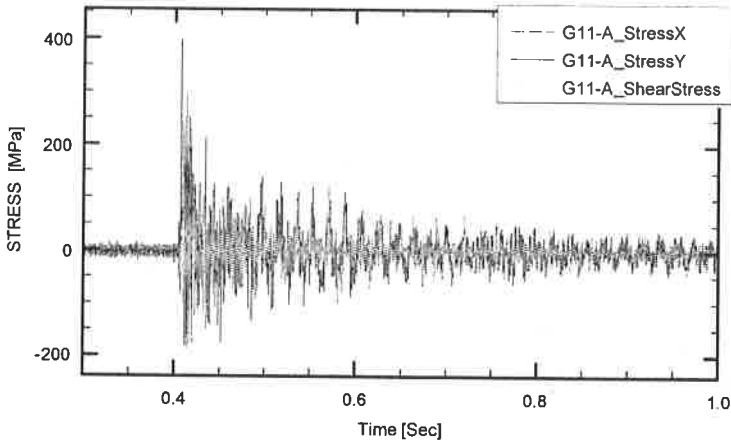
accelerometers) tespit edilmiştir. Şok etkisinin yarattığı ivme genliği, sayısal analizlerde 500g – 700g mertebelerinde bulunduğundan, ölçümlerde kullanılan ivme algılayıcıları 1000g lik özel algılayıcılar olarak seçilmiştir.

Testler için, yine ilgili standartların tanımladığı konumlardan 10 Lb, 30 Lb ve 60 Lb lik patlayıcılar kullanılmıştır. Her bir test 2 kez tekrarlanmıştır. Aşağıda testler sırasında kaydedilen veriler sonunda bulunan ivme ve gerilme değerlerine sadece birkaç örnek verilmiştir.

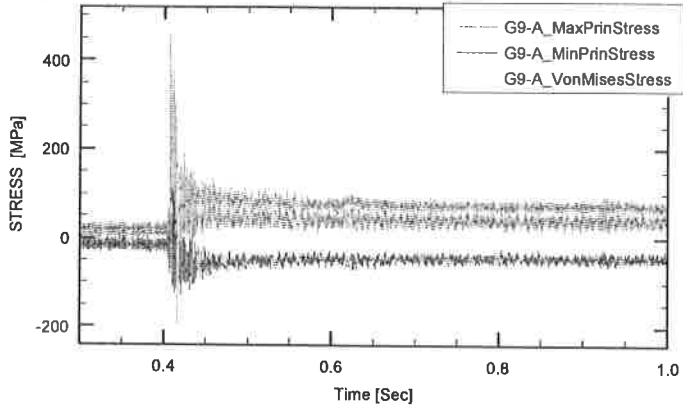


Şekil 4 : Patlamalardan Bir Örnek ve Ölçümlerde Kullanılan Sensörlerin Platform Üzerindeki Konumları

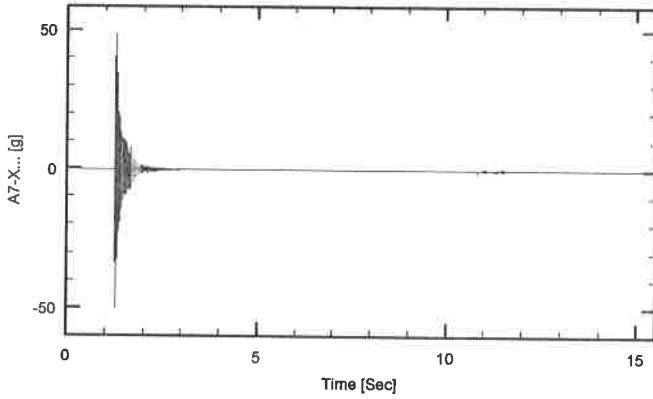
Ölçümlerde gerek strain gaugelerden ve gerekse ivme algılayıcılarından çok yüksek örnekleme (Her bir kanaldan saniyede 50.000 ölçüm) ile veriler kaydedilmiştir.



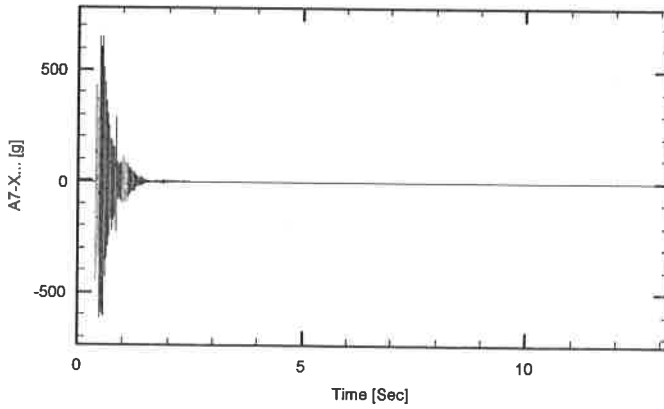
Şekil 5 : 30 Lb lik Patlayıcının Etkisinde G11 Konumunda Oluşan Gerilme Bileşenlerinin Değişimi



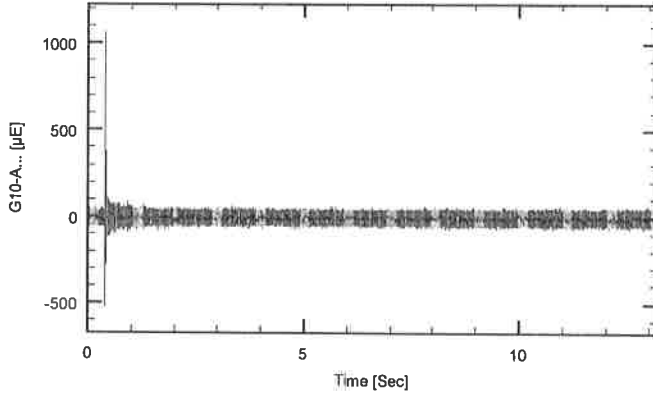
Şekil 6 : 30 Lb Lik Patlama Sonucunda G9 Konumunda Oluşan Asal Gerilme ve Von Mises Gerilmelerinin Zamanla Değişimi



Şekil 7 : 7 Nolu Konumda 10 Lb lik Patlamada x-doğrultusundaki İvme



Şekil 8 : 7 Nolu Konumda 30 Lb lik Patlamada x-doğrultusundaki İvme

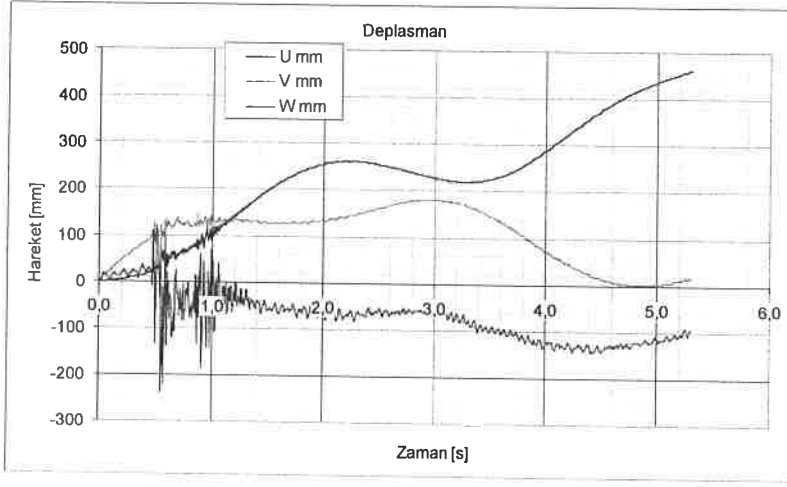


Şekil 9 : 30 Lb lik Patlamada 10 Nolu Konumda 0°-doğrultusunda Birim Uzamanın Değişimi

Testler sırasında platformun hareketini izlemek için, Yüksek çözünürlükte (1024x1024pxl) saniyede 1000 çerçeve resim kaydedebilen özel Hızlı Kamera Seti de kullanılmıştır. Bu kameranın kaydettiği digital veriler kullanılarak platformun 3 doğrultuda deplasmanları hesaplanmıştır. Aşağıdaki şekillerde hızlı kamera seti ve bir patlama sonucu platformun deplasman bileşenlerinin zamanla değişim grafikleri görülmektedir.

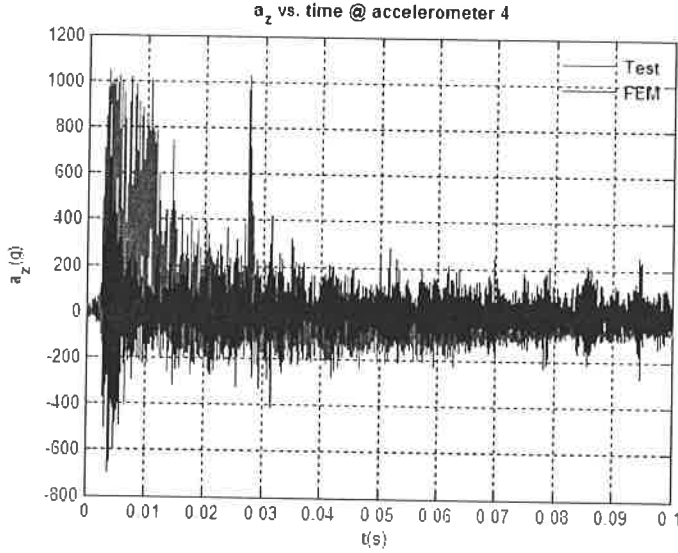


Şekil 10 : 3 Boyutlu Hareket ve Deformasyon Analizi Yapmak Üzere Yerleştirilen Hızlı Kameralar

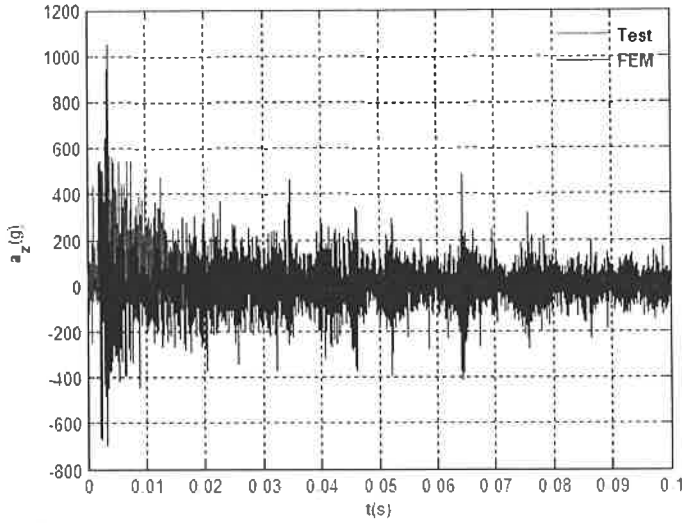


Şekil 11 : 10 Lb lik Patlama Sonucunda Hızlı Kamera Verileriyle Teknenin u,v ve w Deplasman Bileşenlerinin Zamanla Değişim Grafikleri

Değişik ölçüm şartlarında kaydedilen verilerle hesaplanan gerilme ve ivme değerleri, aynı şartlarda sayısal analizlerle bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki şekillerde bu karşılaştırma grafiklerine örnekler verilmiştir.



Şekil 12 : 30 Lb Patlayıcı için "4" Numaralı İvmeölçer Konumunda "Z" Yönünde İvme Değerlerinin Zamanla Değişimlerinin Sayısal ve Deneysel Karşılaştırılması



Şekil 13 : 10 Lb Patlayıcı için "4" Numaralı İvmeölçer Konumunda "Z" Yönünde İvme Değerlerinin Zamanla Değişimlerinin Sayısal ve Deneysel Karşılaştırılması

SONUÇLAR VE YORUMLAR

Yukardaki grafiklerdeki değerler karşılaştırıldığında test sonuçları ile sayısal analiz sonuçları arasında bazı farklar ortaya çıkmıştır. Bu farkların sebepleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Başlangıçta, sayısal analiz sonuçları dikkate alınarak, testlerde kullanılacak şok ivme algılayıcıların üst sınırı için 1000g değerinin yeterli olacağı düşünülerek, 3 eksenli şok ivme algılayıcıları temin edilmiştir. Ancak ölçümlerde, özellikle 30 ve 60 pound patlayıcı için kullanılan ivme ölçerlerin sınır değerleri olan 1000g değerinin aşıldığı görülmüştür. Bu durum, ölçüm sonuçlarını etkilemiştir
- Deneyler sırasında, platformun sabitlendikten sonra akıntı ile sürüklendiği ve dolayısıyla standartlarda tarif edilen izafi patlayıcı konumunun tam olarak sağlanamadığı görülmüştür. Bu durum sonlu elemanlar yöntemi ve deneysel ölçümlerdeki en büyük ivme değerleri incelendiğinde görülmektedir. İvme vektörün x,y ve z bileşenleri, şatın maruz kaldığı patlama basınç dalgası ile ilk hareket yönünü göstermektedir ve SEY ile deney için çok farklıdır. Tahminen şat deney sırasında sürüklenerek patlayıcıya yaklaşmıştır. Bu nedenle hem beklenenden daha yüksek değerler ölçülmüştür.
- Mühendislik uygulamalarında, sayısal analizlerle test sonuçlarının karşılaştırılması durumlarında;
 - Eğer uygulanan kuvvet sistemi statik ve modelleme için çok karmaşık değilse, sonuçlar birbirine çok yaklaşabilir.

- Uygulanan kuvvet sistemi dinamik ise ve bilhassa darbe ve şok şeklinde etki ediyor ise bu durumda sonuçlarda çok büyük farklar beklenebilir. Zira sayısal analizlerde dinamik etkinin gerçek şartlara yakın modellenmesi çok zor, hatta olanaksız olmaktadır.

Bu nedenlerle, dinamik kuvvetlerin veya bilhassa dabe veya şok etkimelerinde, sistemin tasarımından sonra mutlaka gerçek şartlarda testler yapılarak, test sonuçlarına göre tasarımın modifiye edilmesi gerekmektedir.

Gerek sayısal analiz ve gerekse değişik şartlardaki test sonuçlarında, gerilmelerin plastik deformasyon bölgesine geçtiği görülmektedir. Bu konularda kalıcı deformasyonlar (plastik şekil değiştirme) söz konusudur. Bu kadar yüksek ivme değerlerini oluşturan şok etkilerinde, bu durum beklenen sonuçtur. Bu şartlarda tasarımı yapılan geminin de hasar alması, ancak fonksiyonlarına devam edecek şartlarda olması beklenir.

REFERANSLAR

1. Coles, R. H., *Underwater Explosions*, Princeton University Press, Princeton, 1948.
2. Mair, Hans U., Reese, Ronald, M., and Hartsough, Kurt, "Simulated Ship Shock Tests/Trials?", [www.dote.osd.mil/lfte/SSS.HTM]. April 2003.
3. Lt. Jarema M. Didoszak, USN, Dr. Young S. Shin, and Capt. David H. Lewis, USN, Shock Trial Simulation for Naval Ships, ASNE DAY 2004
4. Rajendran, R., Narsimhan, K., "Linear Elastic Shock Response of Plane Plates Subjected to Underwater Explosion," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 25, 2001, pp. 493-506.
5. Burch, I.A., and Mouritz, A.P., "Analysis of Responses of a Small Shock Platform Subjected to Underwater Explosions," *DSTO Report, DSTO-TR-0891*, 1999.
6. Rajendran, R., Narsimhan, K., "Damage Prediction of Clamped Circular Plates Subjected to Contact Underwater Explosion," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 25, 2001, pp. 373-386.
7. Rajendran, R., Narsimhan, K., "Deformation and fracture behavior of plate specimens subjected to underwater explosion—a review," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 32, 2006, pp. 1945-1963.
8. Rajendran, R., Narsimhan, K., "Deformation and rupture of thin rectangular plates subjected to underwater shock," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 30, 2004, pp. 699-719.
9. Hung, C. F., Hsu, P.Y., Hwang-Fuu, J.J., "Elastic shock response of an air-backed plate to underwater explosion," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 31, 2005, pp. 151-168.
10. Felippa, C.A., "Top-Down Derivation of Doubly Asymptotic Approximations for Structure-Fluid Interaction Analysis," *Innovative Numerical Analysis for the Engineering Sciences*, University Press of Virginia, 1980, pp. 79-88.
11. Geers, T.L., "Doubly Asymptotic Approximations for Transient Motions of Submerged Structures," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 64, 1978, pp. 1500-1508.
12. Kwon, Y. W., and Cunningham, R. E., "Comparison of USA-Dyna Finite Element Models for a Stiffened Shell Subject to Underwater Shock," *Computers and Structures*, Vol. 66, No. 1, 1998, pp 127-144.
13. Kwon, Y. W., and Fox, P. K., "Underwater Shock Response of a Cylinder Subjected to a Side-on Explosion," *Computers and Structures*, Vol. 48, No. 4, 1993, pp 637-646.

14. McCoy, R.W., Sun, C.T., "Fluid-Structure Interaction Analysis of a Thick Section Composite Cylinder Subjected to Underwater Blast Loading," *Composite Structures*, Vol. 37, No. 1, 1997, pp 45-55.
15. Shin, Y.S., and Hooker, D.T., "Damage Response of Submerged Imperfect Cylindrical Structures to Underwater Explosion," *Computers and Structures*, Vol. 60, No. 5, 1996, pp. 683-693.
16. Arden, K.E., "Use of MSC/NASTRAN in Predicting Structural Response to an Underwater Explosion," *MSC 1995 World Users' Conference Proceedings*, Paper No. 51, May, 1995.
17. Adamczyk, R., Cichocki, K., and Ruchwa, M., "Analysis of the Shock Response of an Underwater Structure Subjected to a Far-Field Explosion," *Proceedings of ABAQUS Users' Conference*, Milan, 1997, pp. 73-87.
18. Cichocki, K., "Computer Analysis of Dynamic Response due to Underwater Explosion on Hybrid Structure," *Proceedings of ABAQUS Users' Conference*, Newport, 1994, pp. 207-220.
19. Shin YS, Santiago LD. Surface ship shock modeling and simulation: two-dimensional analysis. *J Shock Vib* 1998;5:129-37.
20. Shin, Y.S., "Ship Shock Modeling and Simulation for Far-Field Underwater Explosion," To be appeared in *Computer & Structure Journal*, Spring 2004.
21. Liang CC, Tai YS. Shock responses of a surface ship subjected to noncontact underwater explosions. *Ocean Engineering* 2006; 33: 748-772
22. Military Specification, MIL-S-901D, Shock Tests, High Impact Shipboard Machinery, Equipment and Systems, Requirements for, March 1989.
23. ABAQUS Analysis User Manual, Version 6.6.1. ABAQUS, Inc., 2006.
24. Swisdak M. Explosive effects and properties. Part II. Explosive effects in water. NWSC/WOL/TR.76.116., 1978.
25. Geers, T. L., Hunter, L. S., "An Integrated Wave-Effects Model for an Underwater Explosion Bubble," *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 111, No. 4, April 2002, pp 1584-1601.

Teşekkür : Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 105M072 nolu proje ile desteklenmiştir. Bu nedenle, proje araştırma grubu olarak TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.