Mayın Koruma Çalışmalarında Simülasyonların Test ile Doğrulanması

İlker Kurtoğlu[1], Onur Bütün[2]

Mayın koruma ve personel güvenliği askeri kara araçları için büyük önem arz etmektedir. Personel güvenliğinin sağlanmasında ilk adım, yapısal olarak aracın bütünlüğünü koruması olarak karşımıza çıkmaktadır. Tasarım aşamasında yapısal bütünlüğün korunup korunmadığının tespiti bilgisayar simülasyonları ile yapılmaktadır. Bilgisayar simülasyonları tek başına hiçbir zaman yeterli değildir. Mayın patlaması çok karmaşık bir fiziğe sahiptir ve mutlaka simülasyonların test ile doğrulanması gerekmektedir. FNSS bünyesinde gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında testlerden alınan farklı ölçümler, patlama analiz modelinin farklı kısımlarını doğrulamak amacıyla kullanılmaktadır.

MALZEME VE YAPI

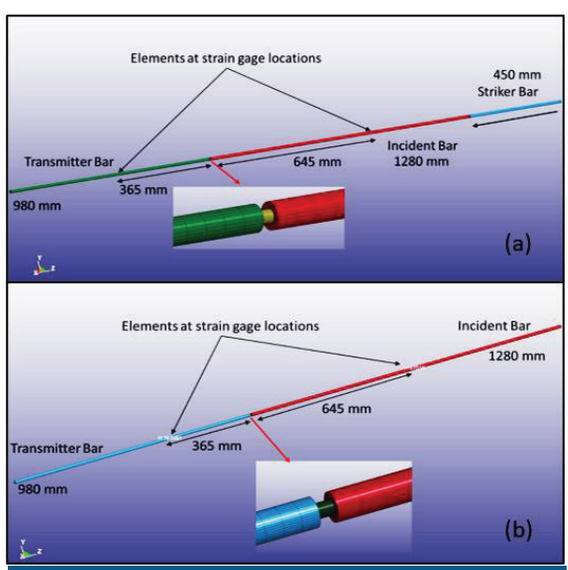
Mayın simülasyonları için en önemli adım, doğru malzeme modelleri ve bu modeller için doğru parametrelerin tespit edilmesidir. Mayın simülasyonlarında kullanılan malzeme modelleri, yüksek gerinim hızlarında malzemenin plastik deformasyonu ile birlikte üzerinde oluşan adyabatik ısınmayı hesaba katan Johnson-Cook modeli ya da benzer malzeme modelleridir. Malzeme modelinin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = \left(A + B{\varepsilon_p}^n\right)\left(1 + C * ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right)\left(1 - T^{*m}\right) \quad (1)$$

Yukarıda verilen denklemde T* olarak gösterilen parametre ise:

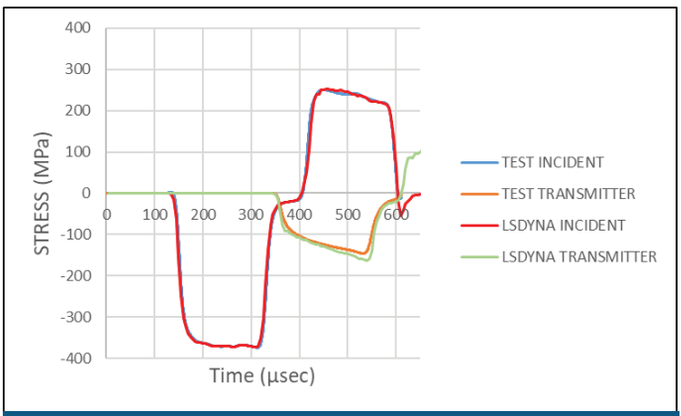
$$T^* = \frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} \quad (2)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu denklemde Tref başlangıç referans sıcaklığını (genelde ortam sıcaklığı olarak alınır), Tm ise malzemenin erime sıcaklığını temsil etmektedir. Bu denklemde kullanılan parametreler düşük hızlarda yapılan basma ve çekme testlerine ek olarak yüksek hızlarda yapılan Split Hopkinson deney düzeneği ile tespit edilmektedir. Bu deneylerin yapılması sonrasında elde edilen malzeme parametreleri ile, deneyler bilgisayar ortamında yeniden oluşturulmakta; deneylerden alınan ölçümler simülasyonlar ile karşılaştırılarak son düzeltmeler yapılmaktadır. Örnek bir Split Hopkinson deneyi ve çıktıları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 1. Örnek Split Hopkinson Deney Simülasyon Modeli

[1] FNSS Savunma Sistemleri A.Ş., Gölbaşı, Ankara - *Ilker.Kurtoglu@fnss.com.tr*
[2] FNSS Savunma Sistemleri A.Ş., Gölbaşı, Ankara - *Onur.Butun@fnss.com.tr*



Şekil 2. Örnek Split Hopkinson Deney Sonuçları Karşılaştırması

TOPRAK VE PATLAYICI

Gömülü patlamalarda toprak yapısı AEP-55 standardında tanımlanmıştır. Toprak yoğunluğu ve dane boyu dağılımı önem arz etmektedir ve testler öncesinde özel bir toprak hazırlığı prosedürü gerektirmektedir. Simülasyonlarda ise toprak, LS-DYNA® yazılımı içerisinde bulunan uygun bir model kullanılarak oluşturulmuştur. Kullanılan modelin denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\sigma_y = \sqrt{3(a_0 + a_1 p + a_2 p^2)} \quad (3)$$

Patlayıcı için ise özel olarak geliştirilmiş bir patlayıcı malzeme modeli kullanılmıştır. Malzeme modeline ek olarak bir de hal denklemi kullanılmıştır. Kullanılan hal denklemi (Jones-Wilkins-Lee (JWL)) aşağıda verilmiştir.

$$p = A\left(1 - \frac{\omega}{R_1 V}\right)e^{-R_1 V} + B\left(1 - \frac{\omega}{R_2 V}\right)e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V} \quad (4)$$

SAHA TESTLERİ

Saha testleri araç alt gövdelerine benzerlik gösterecek şekilde plakaların yerleştirilerek birçok patlama sonrası hasarlanmayacak bir düzenek ile yapılmaktadır. Toplam düzenek ağırlığı ve patlayıcı düzenek yüksekliği hedeflenen geliştirme projesine göre seçilir.

Yüksek hızlı kameralar ile deformasyon ve test düzeneğinin toplu hareketi takip edilir. Taban plakası test düzeneği

Şok Tipi İvmeölçer

Kalem Tipi Basınç Ölçer

Yüksek Hızlı Kamera

Yüksek Hızlı Veri Toplama Sistemi

Şekil 3. Saha Testlerinde Kullanılan Ekipmanlar

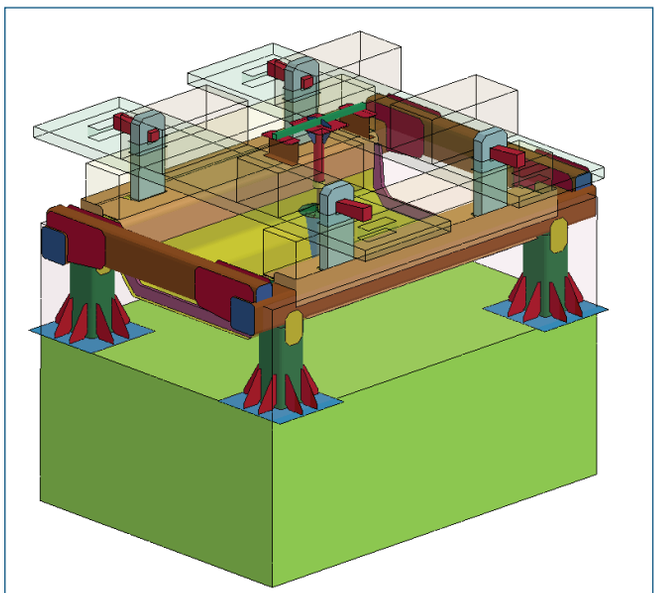
Şekil 4. Taban Plakası Kesiti Test Düzeneği

Şekil 4'te gösterilmiştir. Patlamalar sırasında kalem basınçölçerler ile patlama basıncı ölçümleri alınır. İvmeölçerler ile alt gövde üzerinde çeşitli alt sistemlerin bağlanacaklar yerlerde oluşan ivmeler ölçülür. Çeşitli sensörlerden alınan analog veriler yüksek hızlı veri toplama sistemi le kayıt altına alınır. Patlama sırasında oluşan en yüksek elastik deformasyon FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. tarafından geliştirilen patentli deformasyon konisi ile ölçülür. Testler sırasında kullanılan ölçüm cihazlarına örnekler Şekil 3' de gösterilmiştir.

Testler yüksek miktarlarda patlayıcı ile yapıldığında askeri bölgelerde, özel izinlerle gerçekleştirilir. Kullanılacak patlayıcı miktarları hedeflenen geliştirme projesine göre ve AEP-55 standardında belirtilen tehdit seviyelerine göre belirlenir.

SİMÜLASYON MODELLERİ

Modeller oluşturulurken parçalı bir modelleme yöntemi

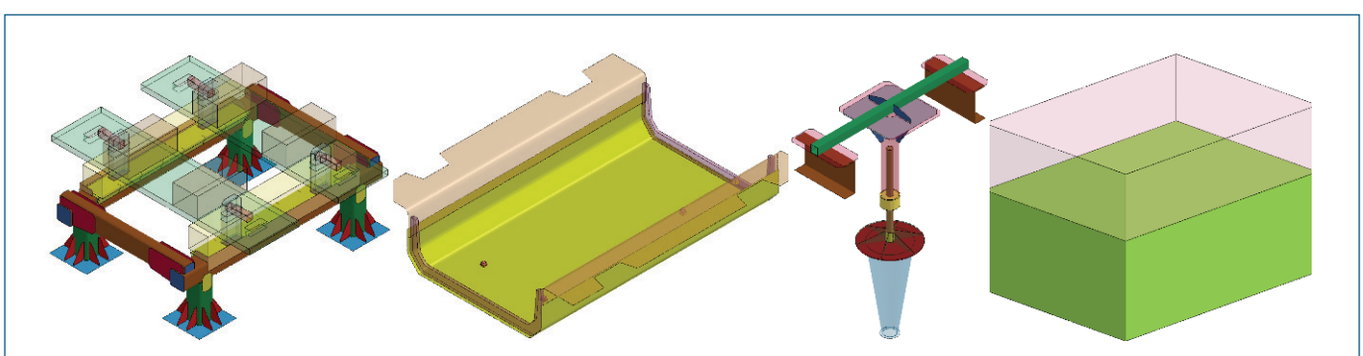


Şekil 5. Örnek Mayın Simülasyon Modeli

izlenmektedir. Bu yöntem sayesinde farklı ekip üyeleri tarafından oluşturulan modeller sonradan tek bir girdi dosyası altında birleştirilmektedir. Örnek bir model aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 5'de gösterilen model bütün bir simülasyon modelini temsil etmektedir. Bu modeli oluşturan alt modeller ise aşağıda verilmiştir.

Modelde test edilen plaka, Denklem (1)'de verilen Johnson-Cook modeli kullanılarak modellenmiştir. Test düzeneği ise simülasyon süresinden tasarruf etmek amacıyla daha basit bir elasto-plastik bir malzeme modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Patlama basıncı ise ALE çözüm ağı içerisinde oluşturularak test edilen plakaya yapı-akışkan etkileşimi kullanılarak iletilmiştir.



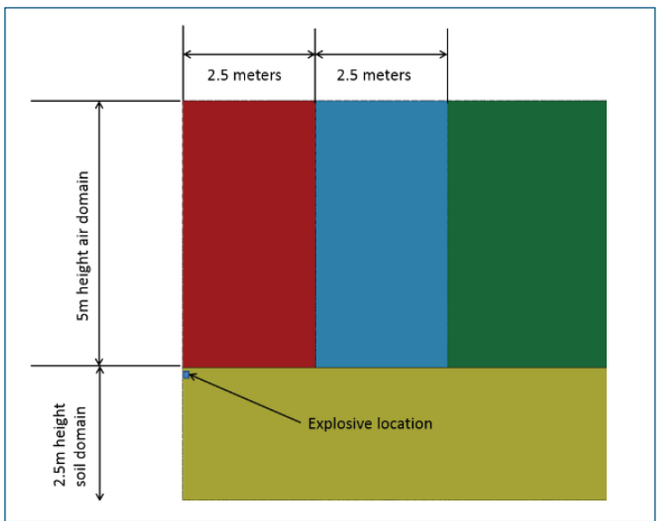
Şekil 6. Test düzeneği, Plaka, Deformasyon Ölçüm Konisi, ALE Çözüm Ağı

TEST VE SİMÜLASYON KARŞILAŞTIRMASI

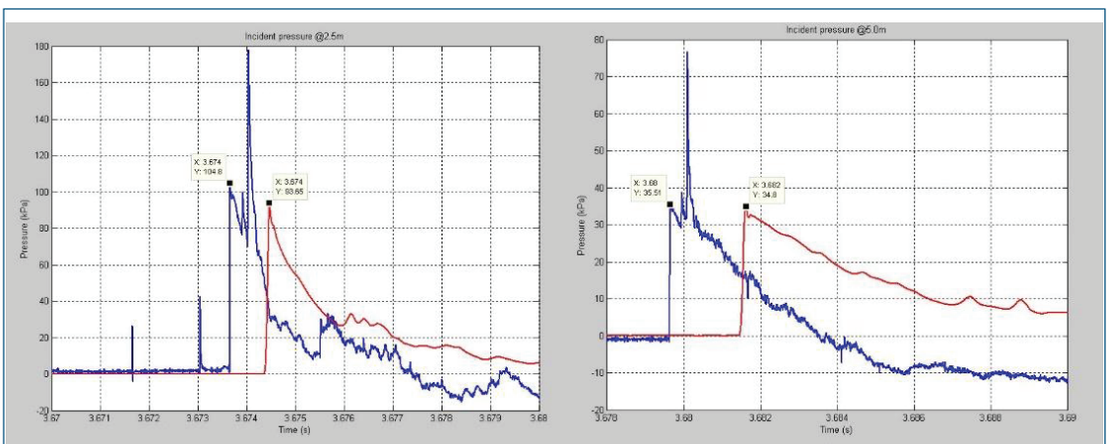
Test ve simülasyon karşılaştırmaları ilk olarak sadece patlama basıncı için yapılmıştır. Burada amaç patlayıcı ve toprağın model doğrulamasını yapmaktır. Testlerde ilk olarak sadece gömülü bir patlama yapılmış, patlamanın karşısına herhangi bir hedef plaka ya da yapı konulmamıştır. Kalem sensörler kullanılarak gelen basıncın ölçümü yapılmıştır. Kalem sensörler patlama noktasından 2,5 metre ve 5,0 metre uzağa olmak üzere iki ayrı yere konulmuştur. Simülasyon için oluşturulan model ise aşağıda gösterilmiştir.

Patlama noktasından 2,5 ve 5,0 metre uzaklıktan alınan gelen basınç ölçümlerinin test ve simülasyon karşılaştırması aşağıda verilmiştir.

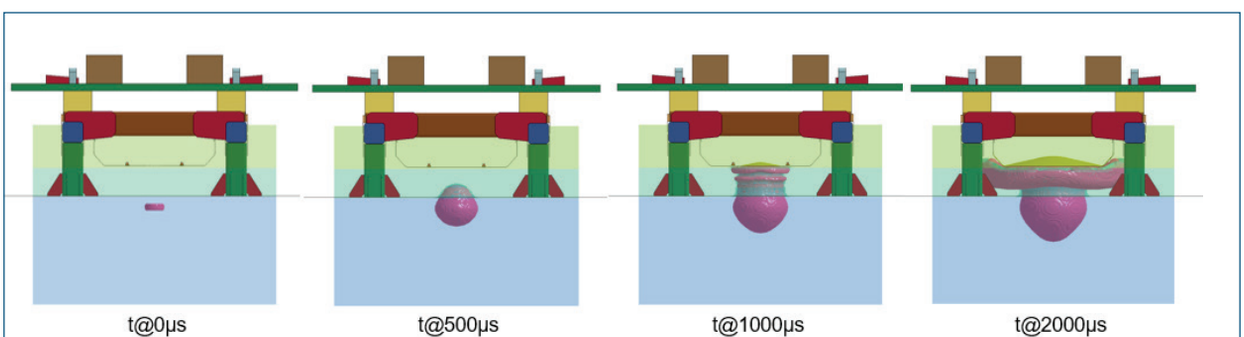
Yapılan karşılaştırma sonucunda patlayıcı ve toprak modellerinin gelen basıncı %10 ve daha altında bir hata ile tespit edildiği saptanmıştır. Bu sayede yapısal değerlendirmenin güvenilirliği artmıştır. Yapı üzerinden alınan maksimum yer değiştirme değerleri karşılaştırma için yeterli değildir. Ek olarak plakaların deformasyon şekilleri de karşılaştırılmalıdır. Patlama sırasında patlayıcı ve toprağın yayılması simülasyonlarda aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir.



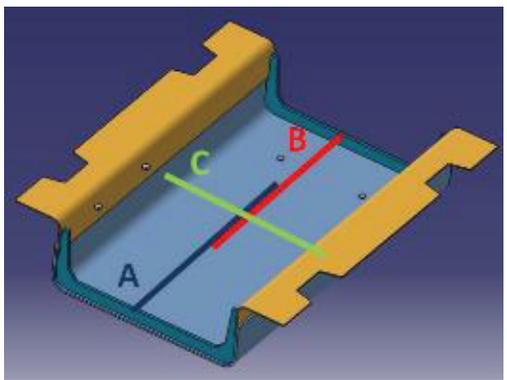
Şekil 7. Patlama Basıncı Doğrulama Modeli



Şekil 8. 2,5 Metre ve 5,0 Metre Uzaklıktaki Gelen Basınç Karşılaştırması



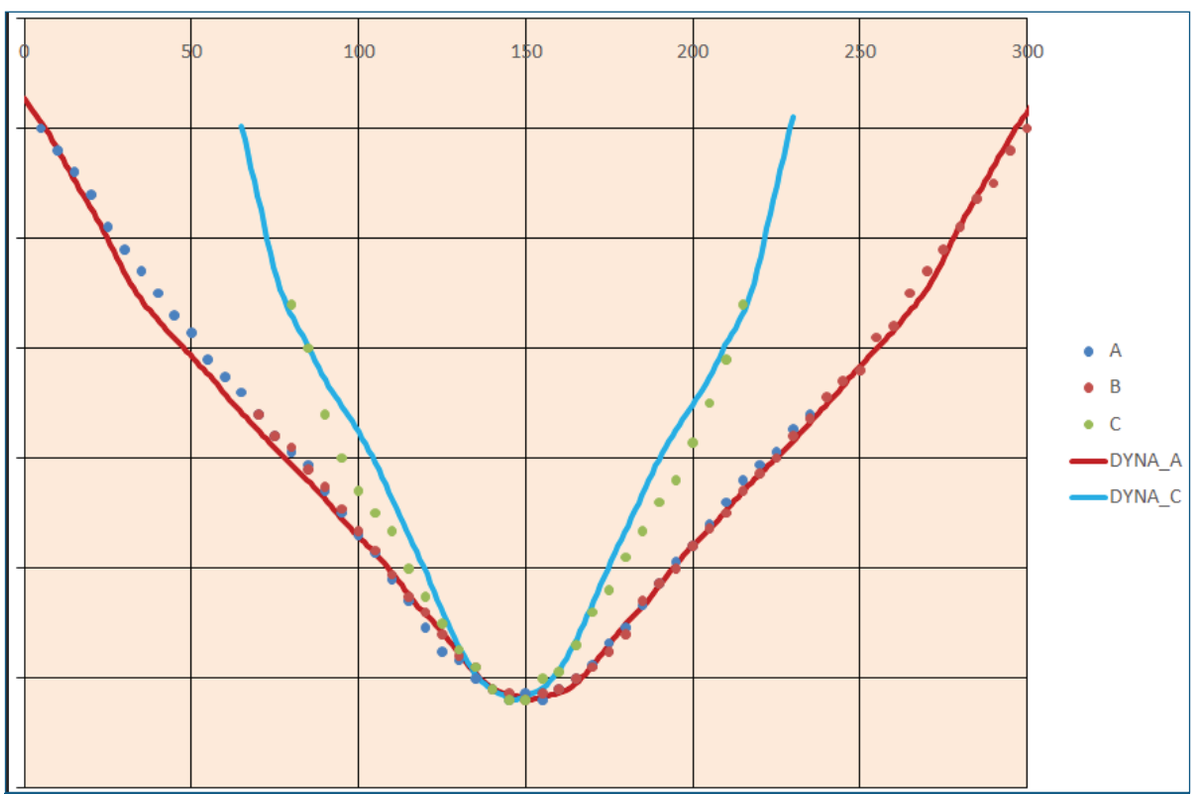
Şekil 9. Patlama Ürünlerinin Yayılması ve Yapı ile Etkileşimi



Şekil 10. Deformasyon Karşılaştırma Bölgeleri

DEĞERLENDİRME

Mayın koruma ve personel güvenliği hesaplamalarında test ile simülasyon modellerinin doğrulaması yüksek önem arz etmektedir. Test ile doğrulama yapılırken sadece elde edilen maksimum ya da kalıcı yer değiştirmeleri karşılaştırmak yetmez. Elde edilen sonuçların tesadüf olmadığı teyit etmek için bir dizi parametrenin doğrulanması gerekmektedir. Patlayıcı ve toprak modelinin doğru çalıştığını anlayabilmek için gelen basınç ölçümlerinin doğrulanması uygun olacaktır. Malzeme modelinin doğru çalıştığını tespit etmek için Split Hopkinson deneylerinin bilgisayar ortamında yeniden oluşturulması ve gerçek



Şekil 11. Kalıcı Deformasyon Karşılaştırması

Yapılan test ve simülasyonların deformasyon karşılaştırma bölgeleri aşağıda gösterilmiştir.

Test ve simülasyonlardan elde edilen plastik (kalıcı) deformasyon karşılaştırması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Şekil 11 incelendiğinde test ve simülasyonlardan elde edilen kalıcı deformasyonların oldukça uyumlu olduğu görülecektir. Bu durum, Denklem (1) ile tanımlanan malzeme özelliklerinin doğru tespit edildiğinin, yapı ile akışkan etkileşiminin uygun olarak tanımlandığının göstergesidir.

test sonuçları ile kıyaslanması gerekmektedir. Son olarak da yapı-akışkan etkileşiminin doğru modellendiğini teyit etmek amacıyla yapılan deformasyon biçimi karşılaştırması faydalı olacaktır. Bütün bunları sağlayan bir model ve modelleme yaklaşımı sağlıklı çalışıyor demektir. Bundan sonra oluşturulacak modeller bu yaklaşımla oluşturulursa güvenilirliği oldukça yüksek olacaktır.

KAYNAKÇA

1. LS-DYNA® Theory Manual, LSTC, California, 2006.
2. Meyers, M., Dynamic Behavior of Materials, John Wiley & Sons, 1994.