

Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde Stratejik Simülasyon Yazılımı Uygulamaları

Yavuz Gezicioğlu*, Süleyman Erdem*, İbrahim Ethem Ercan*

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

yavuzg@mu.edu.tr , suleymanerdem@hotmail.com , i.ethem.ercan@gmail.com

Özet: Bu çalışmada, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği alanında, malzemelerin mekanik davranışlarını simüle etmekte kullanılacak programların neler olabileceği incelenmiştir. Böylece, özellikle pahalı ve uzun sürecek deneylerin en ekonomik şekilde başarılabilmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca ülkemiz açısından son yıllarda özellikle üzerinde durulan savunma sektörüne özgü yazılımların yaratılmasına yönelik tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: simülasyon, savunma, stratejik yazılım, mekanik, mühendislik

Strategic Simulation Software Applications in Metallurgical and Materials Engineering

Abstract: The software applications that can be used to simulate mechanical properties of materials in the field of Metallurgical and Materials Engineering have been investigated in present study. Software applications that are the subject of this study have been selected in order to accomplish expensive and long-term experiments by most economical way. In addition, some ideas have been suggested regarding to production of software for our country's defense sector.

Keywords: simulation, defense, strategic software, mechanic, engineering

1. Giriş

Günümüzde teknik alanda yapılan araştırma ve geliştirmelerin neredeyse tümü tek bir mühendislik alanının ilgi konusu olmaktan ziyade multidisipliner bir çalışma konusu olmaktadır. Dolayısıyla, çalışmamıza konu olan incelemelerimizin de sadece metalurji ve malzeme mühendisliği alanına teşmil edilmesi mümkün değildir. Başta temel bilimlerin olmak üzere, uzay-havacılık ve makine mühendisliği alanları da çoklu disiplin olarak çalışmamıza konu alanlarla ilgilenmektedir. Bizler, diğer bilim dallarını da gözetererek, bu çalışmamızda metalurji ve malzeme mühendisliği bakış açısıyla yaklaşıyoruz.

Yaşadığımız çağda ve gelecekte de, her alanda olduğu gibi mühendislikte de bilgisayar ve yazılımlarının kullanımının getirdiği önem tartışmasız bir şekilde ortadadır. Özellikle bilgisayar ortamında sağlanan simülasyon ortamları, kimi zaman çok pahalı ve uzun sürecek deneylerin yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Çoğunlukla gerçek ortamlarda hazırlanan

bu tür deneyler için gerekli donanımın sağlanabilmesi pek çok araştırma birimleri bütçelerinin çok üzerindedir. Bu yüzden, bu tür deneyler ya gerçekleştirilememekte ya da dünya üzerindeki diğer araştırma merkezlerinin ekipmanlarına gereksinim duyulmaktadır ki bu çoğu zaman stratejik öneme haiz planların paylaşılması sorununu oluşturmaktadır. Savunma sanayinde stratejik öneme sahip testler için zırh ve penetrantların balistik incelemeleri, bunların geliştirilmesi, enerjetik malzeme testleri, araçlar/insanlar/sığınaklar için projektile savunmaları ya da atakları, uzayda meteorit ya da diğer tehditlere karşı araç savunmaları ve daha birçok örnek gösterilebilir.

Sivil anlamda testler için, araç çarpışma testleri, malzemelerin sabit, sürekli ya da ani yüklemeler sebebiyle mekanik davranışları ve cevapları, malzemelerin çeşitli çevresel faktörler altında makro/mikro yapı değişiklikleri, atomik difüzyon, üretilen malzemelerin ya da yapıların güven değerlendirilmeleri gibi pek çok uygulama sayılabilir. Yukarıda anılan ve çoğaltılabilecek pek çok örnek

için çok çeşitli simülasyon programları kullanılabilir, ve genellikle hem savunma sanayi ve hem de sivil anlamlardaki uygulamaları beraberinde yapabilmektedir. Doğaldır ki, özellikle savunma sanayinde kullanılan tüm programlar gün ışığına çıkmış vaziyette değildir. Diğer yandan, bazı savunma amaçlı programlar ulusallaştırılmış ve belirli izinlerle o ülkenin araştırmacılarına açılmıştır. Böylece, konu üzerinde çeşitli fikirlerle oluşmuş bilimsel araştırma aktivitelerinin ortak bir havuzda toplanması, denetimi ve yönlendirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu tür özel ve ayrıca herkesin kullanımına açık ticari simülasyon yazılım uygulama örneklerinden bazılarının incelenmesi ve konu hakkındaki önerilerimiz bu çalışmamızın genel konusunu oluşturmaktadır.

2. Askeri Amaçlı Simülasyon Programları

Askeri amaçlı simülasyon programları oldukça geniş bir yelpazeye sahip olup, bu çalışmamızda tümüne yer vermek mümkün olmamıştır. Bunların içinde dikkate değer özelliklere sahip, aktif olarak kullanılan ve bilim dünyası için araştırmaya açılmış programlardan bazılarını yer verilmiştir. Program seçimlerimizde, savunma sistemlerinin güçlendirilmesi, ulusal savunma sistemlerinin daha operasyonel hale getirilmesi, tehdit unsurları tarafından oluşturulabilecek zararın minimize edilmesi ve savunmada kullanılan araç ve silahların geliştirilmesi odaklı bir tercih yapılması durumunda olunmuştur.

2.1 Amerikan Ulusal Araştırmacılarına Açık Özel Bir Simülasyon Uygulaması FATEPEN

FATEPEN (Fast Air Target Encountered Penetration) simülasyonu Amerika Birleşik Devletleri, Naval Surface Warfare Center, Dahlgren Division (NSWC/DD) için Applied Research Associates, Inc., (ARA) tarafından geliştirilmiştir. Bu program sadece Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılabilir, kullanıcılar kullanım isteklerini belirtmelerine müteakip yapılan güvenlik soruşturmasından sonra kullanabilmelerine izin verilmektedir.

Bilindiği gibi, savaş durumu ülke savunmaları için çok kritiktir. Bu durumlarda simülasyonların yeni silah sistemlerinin geliştirilmesi, güçlendirilmesi ve test edilmesinde çok önemli rol oynadığı aşikardır.

Silah teknolojisi ve sistem geliştirme süreçlerinde simülasyonların kullanımı, İlk durumdaki tasarımın çok sayıdaki değişkeninin ve gelişiminin görülmesine olanak sağlayabilen test düzenekleriyle test edilemeyen, test edilmesi mümkün olmayan sistemlerin değerlendirilmesinin sağlanması, savunma sisteminin geliştirilmesi ve opere edilmesi için gerekli olan test durumlarının sayısını azaltması ve genel sonuç olarak harcanacak maddi ödeneğin en alt seviyede olmasını sağlaması ve savaş alanındaki performansı artırması açısından önemlidir. FATEPEN savunma alanında verebildiği böylesi stratejik simülasyon olanakları ile stratejik açıdan önemli bir yere sahiptir.

Bu konu hakkında en açıklayıcı yayın Yatteau ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır [1]. Yatteau ve arkadaşlarına göre, FATEPEN hava silah sistemlerine ait dizayn ve geliştirme amacını güden, 5 km/s hıza kadar hareket eden kompakt ya da kompakt olmayan savaş başlıkları ve uzun rodların hedefler üzerinde penetrasyon ve hasarlarını simüle eden ve hızlı çalışan algoritmali bir program setidir. FATEPEN simülasyonu çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmış ve akademik yayınlara konu olmuştur [2-5].

2.2. Serbest lisanslı Uluslararası Kullanıma Açık bir uygulama BRL-CAD

Yukarıda anılan yazılım sadece ulusal bir yazılım özelliği taşımasına rağmen, BRL-CAD yazılımı serbest lisans ile uluslararası kullanıma açık önemli bir yazılım olma özelliğini taşımaktadır. BRL-CAD programı (Ballistic Research Laboratory CAD) interaktif model düzenleyicisine sahip kombinasyonel katı modelleme uygulamasıdır. Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Araştırma Laboratuvarları tarafından 1979 yılında geliştirilen bu uygulama, Amerika Birleşik Devletleri ordusu ve çeşitli araştırmacılar tarafından 30 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Bu uygulama 1984 yılında kamuya açılmış ve 2004 yılından itibaren de serbest lisanslı (BSD-Berkeley Software Distribution/LPGL-Lesser General Public License) olarak uluslararası uygulamacıların kullanımına sunulmuştur [6-7].

Uygulama genel olarak orduların silah geliştirme sistemlerinde hasar ve hedef eliminasyonu modellemesinde kullanılmakla birlikte, akademik,

endüstriyel ve askeri alanlarda araç ve mekanik parçaların dizaynında ve analizinde geniş kullanım olanağı bulmuş olup konular hakkında çeşitli makaleler yayınlanmıştır [8-15]. Referans listesinde örnekleme amacıyla anılan bu makalelere onlarca ilave edilebilir ki söz konusu BRL- CAD yazılımının teknik kapasitesi ve kullanılabilirliği hakkında ciddi bir konumda olduğunu gösterir. Burada akla gelen nokta, böylesi geniş teknik kapasiteye sahip stratejik bir programın ücretsiz olarak kullanıma niçin konulduğudur. Serbest lisanslı CAD uygulamaları sadece bununla sınırlı değildir, örnek olarak DraftSight, FreeCAD, OpenSCAD, progeCAD, QCAD, SALOME ve SolveSpace gibi yazılımlar da serbest lisanslıdır. Bununla beraber bu programlardan hiçbiri askeri anlamda stratejik özellik ihtiva etmemektedir. BRL-CAD alanında seksenli yıllarda ordu içi yayınlanan bazı makalelerin ancak üzerinden geçen yirmi yıl sonunda üzerindeki gizlilik derecesi kaldırılarak yayınlanması aslında bu programın ne denli önemli olduğunun bir başka vurgusudur. Daha önce vurguladığımız gibi günümüzde gün ışığına çıkmamış nice askeri stratejik yazılımlar olduğu ve kullanıldığı ihtimal dahilindedir ve yine belki bu yazılımlardan bazıları önümüzdeki yıllarda serbest lisans ile ortak kullanıma açılacaktır. İlk yaratıldığında doğasına uygun gizlilik derecesinde olan bazı programların ortak kullanıma açılması, bizce değişen bir stratejik bir uygulama düşüncesinde olduğu kanaatini uyandırmaktadır.

2.3. Operasyonel bir Simulasyon İMEA

Amerika Birleşik Devletleri savunma bölümünün hassas güdümlü silahların, yere sabitlenmiş silah çeşitlerine karşı efektlerini otomatik ve hızlı belirleyen bir sisteme ihtiyacı için üretilmiş bir yazılım olma özelliğini taşımaktadır. Integrated Munitions Effects Assessment (IMEA), 20 yıllık silah tasarımı, araştırma ve analiz deneyimi ile yaratılmış bir yazılımdır.

IMEA saldırı senaryolarının hızlı tahmin ve tabanlı algoritmalar sayesinde günler ve haftalar yerine dakikalar ve saatler ile analiz edilmesini sağlaması en önemli özelliklerinden biridir. Ayrıca, bu algoritma silah penetrasyon gücünü, patlama şiddetini, patlama hasarını ve sonraki paralel etkilerini tahmin etmeyi sağlamaktadır. Silah değişkenleri kesin olmayan hedefleri ve olası hasar seviyesini belirleyen bu

yazılım olası etkileri grafiklerle göstermekte ve etkileyecek alanı ve personel sayısını belirtmektedir. Algoritmik hesaplarla silahların hedef üzerindeki etkisini hesaplayan İMEA'nın başlıca özellikleri için, hızlı hedef karakterizasyonu, zengin içerikli ve yüksek doğrulukla çevre tanımı, hızlı silah etki hesaplamaları, doğru ve itibarlı sonuçları zikredilebilir [16-17].

IMEA kendi tarihi boyunca bir çok birimde kullanılmış ve gerçek hayatta da bir çok önemli rol üstlenmiştir. Bunların bir örneği de 'Irak'a özgürlük' operasyonudur. Bu operasyonda bir çok savaş hasar tespitleri ve tekrar saldırı kararı İMEA kullanılarak alınmıştır. Alınan riskler bu yazılım sayesinde minimuma düşürülmüştür [18].

2.4. Hava Savunma Sistemleri Simülasyonu RADGUNS

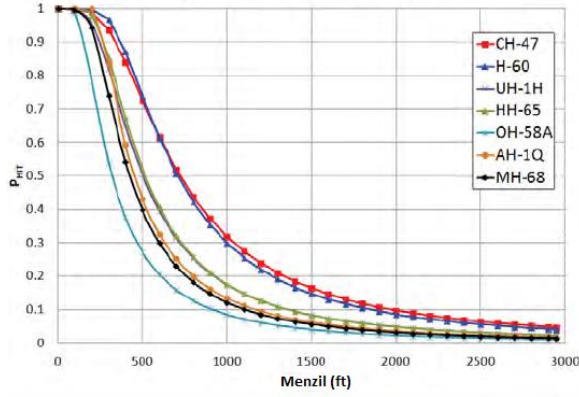
Radguns, ağır silahlara karşı hava savunma sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılan bir simülasyon yazılımıdır. Açılımı Radar-Directed Gun System Simulation (radar kontrollü silah sistem simülasyonu) olan yazılım Ekim 1999 yılından bu yana yeni versiyonu RADGUNS 2.2 veya SURVIAC olarak National Ground Intelligence Center (NGIC) tarafından üretilmiştir. RADGUNS, silah sistemleri, operatörler, platform modları, uçuş profilleri, çevre ve elektronik saldırı sistemlerini kapsayan tamamlanmış bir simülasyon sistemidir. RADGUNS, hedef bulma, iz sürme performansı, vurma ve öldürme olasılığı, beklenen vuruş sayıları ve tutukluk etkileri gibi önemli özellikleri kapsayan bir çok silah sistem performansını değerlendirebilir [19].

2.4.1 SURVIAC Helicopter Study

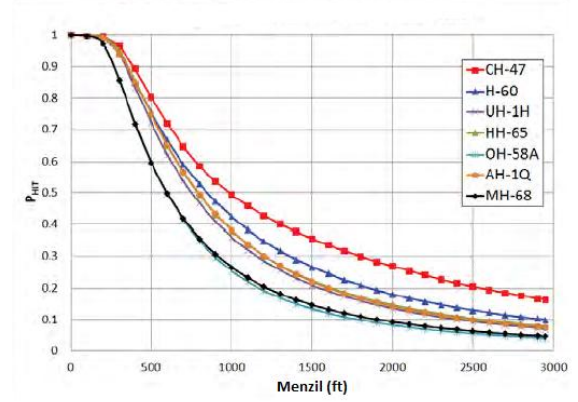
Bu çalışmanın amacı Amerikan envanterindeki 7 farklı helikopterlerin RPG-7'ye karşı olan dayanıklılığını ölçmektir. RPG-7'nin seçilme nedeni dünya orduları ve terörist gruplarında artan kullanım oranıdır. Çalışmada kullanılan helikopter modelleri:

- AH-1Q
- CH-47
- MH-60
- OH-58A
- HH-65
- MH-68

- UH-1H



Şekil.1 Ön Alan Bakımından Seçili Helikopterlerin P_{HIT} Değeri-Menzil Kıyaslaması



Şekil.2 Yanal Alan Bakımından Seçili Helikopterlerin P_{HIT} Değeri-Menzil Kıyaslaması

Bu helikopterlerden beş tanesi (AH-1Q, CH-47, MH-60, OH-58A VE UH-1H)'nin seçilme sebebi yaygın kullanımları yüzünden fakat diğer ikisinin (HH-65 ve MH-68) seçilme sebebi güvenlik açıkları yüzündendir.

P_{HIT} , seçilen helikopterlerin önden yanal kısımlara doğru olan değişim fonksiyonunu belirtmektedir. Burada baz alınan asıl nokta seçilen helikopterlerin merkezi geometrisidir. RPG-7'ye göre maksimum uçuş mesafeleri de hesaplanmıştır.

Grafiklerde açıkça görülüyor ki, ön ve yanal alanlar değerlendirildiğinde CH-47 model helikopter, P_{HIT} değeri yüzünden en büyük profile sahiptir. Benzer mantıkla OH-58A model helikopteri en küçük profil alanına ve P_{HIT} değerine sahip (Şekil.1 ve Şekil.2). Öte yandan P_{HIT} değerinin uzaklık ile bağıntılı olarak düşüşü de dikkat görülüyor.

SURVIAC, helikopter ya da bir tanka çarpacak olan bir RPG'nin ihtimal durumlarını değerlendiren bir kit geliştirmiştir. Ayrıca SURVIAC, temel çalışma alanları ve RPG'lerin P_{HIT} hassasiyet gözlemlerinde bu kiti kullanmaktadır. Bunu yapabiliyor olmak, RPG ve üzerinde kullanıldığı araçlar arasındaki mücadeleleri değerlendirmede geleceğe doğru bir kapı açmaktadır [20].

2.5. Uzay ve Havacılık Savunma Sistemleri Üzerine Bir Simülasyon EADSIM

The Extended Air Defense Simulation (EADSIM), hava, uzay ve füze üçlemesinden oluşan bir hava savunma simülasyon programıdır. EADSIM, Teledyne Brown Engineering firması tarafından Birleşik Devletler Ordu Uzay ve stratejik savunma komutanlığı adına geliştirilmiş, hava savaşlarında çok yönlü analiz yapabilen güçlü bir programdır [21]. EADSIM ortak ve çoklu kuvvet operasyonları ve analizlerini destekleyen gelişmiş bir kullanım kiti sunar. EADSIM ayrıca hava, uzay, füze, savaş yönetim komutu, kontrol ve iletişim konularında çalışma alanı sağlar. Bu programın dünyada uzay ve havacılık savunma sistemlerinde alanında kullanılan en yaygın programlar arasında ilk sıralarda yer aldığı iddia edilmektedir [22].

Türkiye ve İsrail hava savunma sistemleri için yerleştirilen PATRIOT füzelerinin konumlarının belirlenmesi ve analizlerinin yapılmasında bu yazılım kullanılmıştır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletlerinin Irak operasyonlarında düşman hava saldırısı engelleme ve zayıflatın azaltılması ve hatta yakıt ikmal konularının planlanması gibi analizlerde etkin olarak kullanılmıştır [23].

Hill ve beraberindeki araştırmacılar, askeri sorunlar ile ilgili farklı etkinlik simülasyon modellemesi uygulamaları için yaptıkları çalışmada, Amerikan hava kuvvetlerinin halihazırda kullandıkları

yazılımların hiyerarşik yapılandırması içinde EADSIM i görev seviyeli (mission level) bir derecede sunmuştur [24]. Bu simülasyon uygulaması, metodolojisinin incelenmesi ve geliştirilmesi [25], radar uygulamaları geliştirilmesi [26], savunma analizleri [27] ve daha pek çok makale ve bildiriye konu olmuştur.

3. Sivil Amaçlı Simülasyonlar

Büyük ve karmaşık sistemlerin tasarlanması ve tesisinde deney maliyetlerinin düşürülmesi ve oluşabilecek sorunların önceden tahmin edilip buna göre önlemler alınması ülke ekonomisi olarak oldukça stratejiktir. Özellikle, oluşturulması tasarlanan sistemin bilgisayar programları vasıtası ile tesisi, çalışma şartlarında testleri ve çalışabilirliğinin derecelendirilmesi ancak simülasyon yazılımları ile mümkün olabilmektedir. Doğaldır ki, bu alanda da çok çeşitli simülasyon yazılımları mevcuttur, bu konudaki çalışmamızda alınabilecek verim, konu özelliği ve kullanılabilirlik dikkate alınarak örneklendirme yapılmaya çalışılmıştır.

3.1 Fosil Yakıtlı enerji Kaynaklarının Taşınmasına İlişkin bir Simülasyon Yazılımı PDAM

Petrol ve gaz taşımacılığında kullanılan boru hatları oldukça güvenli tutulması gereken ve her türlü kontrollerinin titizlikle yapılması ve korunması gereken stratejik öneme sahiptir. Burada güvenli tutulmasından kasıt, dizaynlara, materyallere ve uygulama örneklerine bağlı olarak denetlenmesidir. Bütün mühendislik olaylarında olduğu gibi, boru hatları da hata verebilme olasılığına sahip sistemlerdir. Boru hatlarında oluşabilecek hatalarını genel platformda incelersek çevresel etkilerden meydana gelebilecek, boru malzemesinde bozunum yaratabilen hata türlerinden olduğu gerçeğine ulaşabiliriz. Konu hakkında yeni kurallar, kodlar ve standartlar, boru hattı taşımacılığının Amerika'da ve diğer yerlerde günümüzde standartlaşması bitmemiş çalışmalarındadır. Bütün boru hatlarının ve yeni girişimlerin en önemli noktası kaçınılmaz arızaların ölçümlerinin geliştirilmesiyle boru hatlarının ömrünün artmasını sağlamak; bu yüzden boru hattında fark edilen arızaların şiddetini ölçmek için değerlendirme metodlarına ihtiyaç duyulmaktadır [28-29].

Joint Industry Project 16 uluslararası gaz ve petrol firmasının sponsorluğuyla sektörün ihtiyacı olduğu düşüncesiyle PDAM (boru hatları arıza değerlendirme kılavuzu)'ı üretilmiş olup boru hattı arızalarının değerlendirilmesi için en iyi belgelere ve tekniklere sahip olmasıyla dikkat çeken bir uygulamadır. PDAM, boru hattının hem dışarıdan ve hem de içerden gelen kritik arızaları göstermek amacıyla yapılandırılmış bir uygulama niteliğindedir. Böylelikle, boru hatlarının daha güvenli ve ekonomik olarak kullanılması mümkün kılınmaya çalışılmıştır.

3.2 Çok Amaçlı Simülasyon Yazılımı ANSYS

ANSYS yazılımı mühendislerin mukavemet, titreşim, akışkanlar mekaniği ve ısı transferi ile elektromanyetik alanlarında fiziğin tüm disiplinlerinin birbiri ile olan interaksyonunu simüle etmekte kullanılabilen genel amaçlı bir sonlu elemanlar yazılımıdır.

Bu sayede gerçekleştirilen testlerin ya da çalışma şartlarının simüle edilmesine olanak sağlayan ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde yapıların zayıf noktalarının tespiti ve iyileştirilmesi ile ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve muhtemel problemlerin öngörülmesi mümkün olmaktadır.

Aşağıdaki tabelada da görülebilen modüler yapısı sayesinde ANSYS yazılımı sadece ihtiyaç duyulan özelliklerin alınmasına fırsat vererek ilave edilebilen CAD ve FEA bağlantı modülleri ile masa üstünde kullanılan diğer mühendislik yazılımları ile entegre bir şekilde çalışabilmektedir [30].

ANSYS yapısı itibarı ile çok geniş bir yelpazeye hitap etmesi nedeniyle pek çok farklı dallarda araştırma konusuna yardımcı olmuştur. Belki de bilimsel araştırmalarda en fazla kullanılan yazılım budur diyebiliriz, yüzlerce çalışma içinden bazıları, akıllı yapılarda aktif vibrasyon analizi [31], kompleks jeolojik yapıların ANSYS ile otomatik model yaratımı [32], yeni nesil pil enerji dengesinin hesaplanması [33], kaynak proseslerinin simülasyonu [34], askeri amaçlı seramik kompozit zırhlarda projektıl penetrasyon analizi [35], roket motoru konik lülelerinin mekanik kabiliyetlerinin incelenmesi [36], nonlinear duvar yapıların sonlu analiz yöntemleri ile hesaplanması [37], sayısal biyoloji [38], protez diz

eklemlerinin sonlu analizi [39] çalışmalarıdır. Görüldüğü gibi tıptan jeolojiye, çeşitli hemen her alanda mühendislik konularından biyolojiye kadar hemen hemen her çalışma için yararlanılabilir bir uygulamadır.

3.3 Endüstriyel Simülasyon Uygulamaları LS-DYNA, MADYMO, PAM-CRASH ve bu yazılımların kullanımı ve karşılaştırılmasına dair bir vaka çalışması

LS-DYNA, Livermore Software Technology Corporation (LSTC) tarafından geliştirilen ileri düzey çoklu fizik simülasyon yazılımıdır. Programın, kompleks problemler, reel problemler ve temel yetkinlik gibi konuları büyük bir başarı ile çözebilmesinin altında doğrusal olmayan ve geçici dinamik sonlu element analizi (FEA) yöntemini kullanıyor olması yatmaktadır [40].

MADYMO, otomotiv ve taşıma endüstrilerinde kullanılan ve yolcu güvenlik sistemlerini analiz eden bir yazılım paketidir. Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) ve Automotive Safety Solutions Division (TASS) tarafından geliştirilmiştir. Uygulama alanları arasında çarpışma, tren iç bölüm, motosiklet, hava araçları ve helikopter güvenlikleri gibi alanlar gösterilebilir [41].

PAM-CRASH, çarpışma simülasyonu ve yolcu güvenlik sistemi dizaynı için otomotiv endüstrisinde kullanılan EDI Group tarafından geliştirilen bir yazılım paketidir. Yazılım, Metalurji ve Malzeme mühendislerine, istenilen performansta dizayn için gerekli malzeme seçimi ve bunların kıyaslaması ve minimum potansiyel yaralanma için iyi bir kullanım sunmaktadır [42].

Çalışmamızın bu bölümünde, özel olarak tasarlanmış statik yığılım testleri, bir hava yastığı içerisindeki basınç dağılımını gözlemleyebilmek için bir araya getirilmiştir. Testlerde kullanılan üç büyük ticari kaza simülasyon yazılımı; LS-DYNA, MADYMO ve PAM-CRASH'dir. Bu yazılımlar, test verilerini kullanarak elde edilen CFD (Hesaplanabilir Akışkanlar Dinamiği) verilerini, malzemenin

mukavemet (strengths) ve bazı kısıtlamalar (limitations) yönünden yorum getirmede kullanırlar.

3.3.1 Üç Ayrı Yazılıma Ait Sol-Ön Sensörlerin Basınç İlişkisi Test Sonuçları

CFD entegreli hava yastığı modelleri, bir hava yastığı içerisindeki basınç dağılımını simüle etmede yararlı bir araç sağlar. Basınç dağılımları, hava yastığı açılışının ilk evresinde ve etkileşimlerin hava yastığı ile oturan kişi arasında olduğu simülasyonlarda önemlidir. Bu çalışmadaki, CFD entegreli olan üç hava yastığı, test datası ile aralarında kesin bir bağıntı içermesine rağmen, yazılımların hava yastığı açılımı kinematiği ve basınç dağılımı arasındaki bağıntı yönünden de geliştirilmeye ihtiyaçları vardır. Bu bilgiler doğrultusunda üç yazılımın özeti Şekil.9 da tablolanmışır.

	LS-DYNA ALE	MADYMO Gaz Akım Modülü	FPM
Teori	Arbitrary Lagrangion-Eulerian	Eulerian	Lagrangian
Kinematik	Kötü	Kötü	İyi
Ortalama Basınç	Çok Yüksek	İyi	Çok Yüksek
Basınç Dalgalanması	İyi	Kötü	Kötü
Bağlı Çalışma Süresi	1	1	4
Bağlı Model Kurulum	10	2	1

Şekil.9 Üç Ayrı Yazılım Paketinin Genel Kıyaslaması

Her bir yazılım paketi mukavemet ve kısıtlama bakımından karakteristik özelliklere sahiptir. Hızlı model kurulumu ve hızlı çalışma süresi isteniyorsa MADYMO; analizlerin odağı iyi bir kinematik şart gerektiriyorsa FPM; model üzerinde maksimum kullanıcı kontrolü arzu ediliyorsa LS-DYNA ALE tercih edilebilir.

Sonuç:

Yukarıda incelenen yazılımların sunduğu olanakların incelenmesi neticesinde en belirgin nokta, ciddi bir harcama kalemi oluşturacak donanım ve test malzemesi bedellerinin düşürülmesinin mümkün olabilmesidir. Deney dizaynlarında çok zengin çeşitlendirmeler yapabilme imkânları söz konusu olduğundan hemen hemen istenilen her dizayn parametresine göre veri değerlendirmesi mümkün olabilmektedir. Özellikle savunma sanayinde ulusal yazılımlarımızın geliştirilmesi ciddi anlamda önem kazanmaktadır. Bu sayede hem yabancı kaynaklı yazılımlardaki güvenlik sorununa bir anlamda önlem alınmalı, hem de ulusal sistemimiz içinde ulusal kaynak yaratma sürecinde bilişimcilerimizin etkinliği daha da artırılmalıdır. Konu üzerinde çalışma yapan bilim insanlarımıza ulusal yazılımlarımızla daha kolay erişimlerinin sağlanması ve bu yazılımla yapılan her türlü çalışmanın denetimi ve havuzlanması yapılmalıdır.

Teşekkür: Sayın Kemal Kaya'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar:

- [1] Yatteau, Jerome D. ; Zernow, Richard H. ; Recht, Gunner W. ; Edquist, Karl T. ; Dickinson, David L. (1999). *FATEPEN, a model to Predict Terminal Ballistic Penetration and Damage to Military Targets*. Naval Surface Warfare Center, Dahlgren Division, Code G24, Dahlgren, VA, 1-14.
- [2] Jerome D. Yatteau, Gunnar W. Recht, Karl T. Edquist. (1999). *Transverse loading and response of long rod penetrators during high velocity plate perforation*. International Journal of Impact Engineering, 23, 967-980.
- [3] Yatteau, J.D.& Wilson, L.T.& Dickinson, D.L., *"Assessment of FATEPEN for application to spacecraft micrometeoroid and orbital debris penetration analyses"*, Proceedings of the 11th Hypervelocity Impact Symposium, 2010, p.260-274
- [4] Wang, J1; Bartholomeusz, R. (2004). *Ballistic damage in carbon/epoxy composite panels*. Journal of Battlefield Technology, 7,7-13.
- [5] Committee for the Assessment of NASA's Orbital Debris Programs, National Research Council. (2011). *Limiting Future Collision Risk to Spacecraft*. The National Academies Press, p.54.

[6] <http://brlcad.org/d/about> (03.01.2014 tarihinde erişilmiştir)

[7] Dykstra Phillip C., *"The BRL-CAD Package: An Overview Army Research Laboratory"*, Fourth USENIX Computer Graphics Workshop, 1987 (released 2013), pp.72-80

[8] Niazi, O., and N. Badler. *"Converting BRL-CAD objects to surface representation and adding articulation and Jack ergonomic analysis."* BRL-CAD Symposium-91. 1991.

[9] Baldauf, J.; Shung-Wu Lee; Lin, L.; Shyh-Kang Jeng; Scarborough, S.M.; Yu, C. L., *"High frequency scattering from trihedral corner reflectors and other benchmark targets: SBR versus experiment,"* Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.39, no.9, pp.1345,1351, Sep 1991

[10] Laguna, G.W. *"Recent advances In 3D Finite Difference Mesh Generation Using the BRL-CAD Package."* BRL-CAD Symposium 89, Aberdeen, MD (USA), 24-25 Oct 1989. 1989.

[11] Bekar, Kursat B., John C. Wagner, and Thomas M. Evans. *"Testing MCNP-BRL for Nuclear Vulnerability Assessments with the M60A1 Tank."* ANS Radiation Protection and Shielding Division 2010 Topical Meeting Book of Abstracts. 2010.

[12] Andersh, D. J., S. W. Lee, and H. Ling. *"A high-frequency electromagnetic scattering prediction code using shooting and bouncing rays."* RTO MP 6 (1998).

[13] Chase, Ronald J., Thomas M. Kendall, and Steven R. Thompson. *"Parametric Radar Cross-Section Study of a Ground Combat Vehicle."* SPIE, Orlando, April (2001).

[14] Ellis, Carol A. *Vulnerability Analyst's Guide to Geometric Target Description*. No. BRL-MR-4001. Army Ballistic Research Lab Aberdeen Proving Ground MD, 1992.

[15] Birtcher, C., C. Balanis, and K. J. Moeller. *"Finite-difference time-domain predictions of HIRF penetration into a Boeing 757."* Electromagnetic Compatibility, 1998. 1998 IEEE International Symposium on. Vol. 2. IEEE, 1998.

[16] Harman, W., and A. York. *"Integrated Munitions Effects Assessment: A Weapons Effects and Collateral Effects Assessment Tool."* NBC Report (2003): 30-37.

- [17] Mann, John, Dr Allen York, and Bob Shankle. **"Integrating Physics-Based Damage Effects in Urban Simulations."** The Interservice/Industry Training, Simulation & Education Conference (IITSEC). Vol. 2004. No. 1. National Training Systems Association, 2004.
- [18] Mann, John, and Latika Eifert. **"Easing the pain of urban modeling."** The Interservice/Industry Training, Simulation & Education Conference (IITSEC). Vol. 2006. No. 1. National Training Systems Association, 2006.
- [19] <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA529270> (son erişim 04.01.2014).
- [20] <http://www.bahdayton.com/surviac/surviacbulletin/2012%20Bulletin%20Issue%201.pdf> (09.01.2013 tarihinde erişilmiştir)
- [21] Bourassa, Neil R. **Modeling and Simulation of Fleet Air Defense Systems Using EADSIM.** NAVAL Postgraduate School, MONTEREY CA, 1993.
- [22] <http://www.eadsim.com/overview.asp> (son erişim 04.01.2014).
- [23] <http://www.smdc.army.mil/FactSheets/EADSIM.pdf> (son erişim 04.01.2014).
- [24] Hill, Raymond R., John O. Miller, and Gregory A. McIntyre. **"Applications of discrete event simulation modeling to military problems."** Simulation Conference, 2001. Proceedings of the Winter. Vol. 1. IEEE, 2001.
- [25] Mitchell, Barry L., and Thomas P. Spriesterbach. **Confidence-Based Performance Assessments for the BMDO Family of Systems.** The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 2001.
- [26] Jorch, William C., et al. **"DeLoRes variable resolution modeling implementation."** Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls. International Society for Optics and Photonics, 2001.
- [27] Bardin, Doug, et al. **"Usability Study of the Department of Defense Joint Analysis System."** Systems and Information Engineering Design Symposium, 2007. SIEDS 2007. IEEE. IEEE, 2007.
- [28] Cosham, ANDREW.and PHIL. Hopkins. **"An Overview of the Pipeline Defect Assessment Manual (PDAM)."** 4th International Pipeline Technology Conference. 2004.
- [29] Macdonald, K. A., and A. Cosham. **"Best practice for the assessment of defects in pipelines—gouges and dents."** Engineering Failure Analysis 12.5 (2005): 720-745.
- [30] <http://www.figes.com.tr/ansys/ansys-nedir.php> (son erişim 05.01.2014).
- [31] Karagülle, H., L. Malgaca, and H. F. Öktem. **"Analysis of active vibration control in smart structures by ANSYS."** Smart materials and Structures 13.4 (2004): 661.
- [32] LIAO, Qiu-lin, et al. **"AUTOMATIC MODELGENERATION OF COMPLEX GEOLOGIC BODY WITH FLAC~(3D) BASED ON ANSYS PLATFORM [J]."** Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 6 (2005).
- [33] Dupuis, Marc. **"Computation of Aluminum reduction Cell Energy Balance Using ANSYS® Finite Element Models."** LIGHT METALS-WARRENDALE- (1998): 409-418.
- [34] Capriccioli, Andrea, and Paolo Frosi. **"Multipurpose ANSYS FE procedure for welding processes simulation."** Fusion engineering and Design 84.2 (2009): 546-553.
- [35] Shokrieh, M. M., and G. H. Javadpour. **"Penetration analysis of a projectile in ceramic composite armor."** Composite structures 82.2 (2008): 269-276.
- [36] Wei-wei, Li, Wang Yong-chang, and Zhao Xiao-ping. **"Mechanical Capability Study on Conical Nozzle of Rocket Engine by ANSYS."** Chemical Defence on Ships 6 (2009): 011.
- [37] Li, Ying-min, Jun HAN, and Li-ping LIU. **"Application of ANSYS to Finite Element Analysis for Nonlinear Masonry Structures."** JOURNAL-CHONGQING JIANZHU UNIVERSITY 28.5 (2006): 90.
- [38] Moore, David F., et al. **"Computational biology— modeling of primary blast effects on the central nervous system."** Neuroimage 47 (2009): T10-T20.
- [39] Shashishekar, C., and C. S. Ramesh. **"Finite element analysis of prosthetic knee joint using ANSYS."** Biomed Health 12 (2007): 65-72.
- [40] **Manual, LS-DYNA Keyword User'S., and I. Volume. "Version 971."** Livermore Software Technology Corporation (2007): 210-205.
- [41] <http://www.tassinternational.com/madymo> (son erişim 06.01.2014).
- [42] http://www.analisisysimulacion.com/documentos/productos/pdf/pam_crash_ays.pdf (son erişim 06.01.2014).