

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTIMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tarihçe	1
1.2 Tezin Amacı	4
2. TEORİK ALTYAPI.....	5
2.1 Yapısal Tepki Denklemleri	5
2.2 Sıvı Yüzey Denklemi	6
2.3 Eşlenmiş Sıvı-Katı Etkileşim Denklemi	6
3. SU ALTI PATLAMALARININ ŞOK BASINCI	8
4. ŞOK FAKTÖRÜ	11
4.1 Zamyshlyayev Ampirik Formülasyonu	13
5. SAYISAL MODEL TEMELİ	16
5.1 Çözüm Metodları.....	16
5.2 Etkileşim Metodları	19
6. AUTODYN UYGULAMASI	21
6.1 Cad Modeli Oluşturma.....	21
6.2 Eleman Ağ Yapısı Oluşturma.....	28
6.3 Non-Linear Dinamik Analiz.....	32
7. SONUÇLAR	71
7.1 Basınç – Zaman Grafikleri	72
7.2 Von Mises Gerilme – Zaman Grafikleri	79
7.3 Yer Değiştirme – Zaman Grafikleri.....	85
7.4 Hız – Zaman Grafikleri	91
7.5 İvme – Zaman Grafikleri.....	97

7.6	Sabit Zamanlardaki Değer Karşılaştırmaları.....	103
	KAYNAKLAR.....	108
	ÖZGEÇMİŞ.....	110

SİMGE LİSTESİ

f^b	Gövde kuvveti
S	Yüzey
f^s	Yüzey kuvveti
u^e	Düğüm noktası yerdeğiştirmesi
\dot{u}^e	Düğüm noktası hızı
\ddot{u}^e	Düğüm noktası ivmesi
ρ_s	Malzeme yoğunluğu
α_c	Kütle oransal sönüm katsayısı
v_s	Yapısal yüzeye dik olan dağılmış dalga partikülü hızlarının vektörü
P_{\max}	şok dalgasının önündeki maksimum basınç
t	şok dalgasının gelmesine kadar geçen süre
λ	Zaman sabitindeki eksponansiyel azalma
W	Kg cinsinden patlayıcı ağırlığı
R	Hedef nokta ile patlayıcı arası mesafe
ρ_f	Sıvı yoğunluğu
c	Ses hızı
θ	Gemi omurgasına yapılan yükleme ile düşey eksen arası açı
p_m	Zamyshlyayev formülünde şok dalgasının pik basıncı
θ	Zamyshlyayev formülünde şok dalgasının zaman sabiti
R_0	Zamyshlyayev formülünde küresel patlayıcı ilk çapı
t_d	Zamyshlyayev formülünde şok dalgasının ulaşma zamanı
t_p	Zamyshlyayev formülünde şok dalgasının pozitif zaman periyodu
P_o	Zamyshlyayev formülünde patlama noktasındaki hidrostatik basınç
P_{atm}	Zamyshlyayev formülünde atmosferik basınç
H_o	Zamyshlyayev formülünde patlama merkezindeki başlangıç derinliği

KISALTIMA LİSTESİ

KSF	Keel Shock Factor
HSF	Hull Shock Factor

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 4.1 Denizaltı ve gemiler için KSF ve HSF tanımlamaları.....	13
Şekil 5.1 Çözücü tiplerinin kullandığı eleman yapıları.....	17
Şekil 5.2 Lagrange eleman davranışı.	18
Şekil 5.3 Euler eleman davranışı.	18
Şekil 5.4 Silindirik cismin plakaya çarpmasından önceki ve sonraki durumda çözücü karşılaştırması.	19
Şekil 5.5 Silindirik cisim plaka çarpışmasında etkileşim karşılaştırması	20
Şekil 6.1 Ansys Workbench'te yeni bir proje açılması.....	21
Şekil 6.2 Projenin istenilen bir dizinde kaydedilmesi.....	22
Şekil 6.3 Ansys Workbench'te modelleme uygulama ekranına geçiş	22
Şekil 6.4 Modelin proje klasöründe kaydedilmesi.....	23
Şekil 6.5 Parçanın sketch çalışması	24
Şekil 6.6 Oluşturulan sketch'te ölçü verilecek alanların belirlenmesi.....	24
Şekil 6.7 Dış çemberin ölçülendirilmesi	25
Şekil 6.8 İç çemberin ölçülendirilmesi.....	25
Şekil 6.9 Üçüncü boyuta geçiş için "Extrude" komutunun kullanılması.....	26
Şekil 6.10 Üçüncü boyutta ilerleme miktarının seçilmesi.....	27
Şekil 6.11 Katı modelin oluşturulması.....	27
Şekil 6.12 Mesh modülüne geçiş	28
Şekil 6.13 Meshleme ekranı	29
Şekil 6.14 Mesh yapısının bağımsız olarak kaydedilmesi	29
Şekil 6.15 Mesh parametrelerinin seçimi.....	30
Şekil 6.16 Mesh işleminin başlatılması.....	31
Şekil 6.17 Mesh işleminin durum takibi	31
Şekil 6.18 Model üzerindeki ağ yapısının görüntülenmesi	32
Şekil 6.19 Autodyn'e modülüne geçiş	33
Şekil 6.20 Autodyn giriş ekranı.....	33
Şekil 6.21 Autodyn malzeme seçim ekranı	34
Şekil 6.22 Simülasyon malzemelerinin yönetilmesi.....	37
Şekil 6.23 Simülasyon parçaları	37
Şekil 6.24 Parça malzemesinin yenilenmesi	38
Şekil 6.24 Değişen malzemenin gösterimi	39
Şekil 6.25 Kullanılmayan malzemenin simülasyon ortamından silinmesi	40

Şekil 6.26 Sistemin malzemelere verdiği renklerle parçanın malzeme kontrolü	40
Şekil 6.27 Modelin eksen ve büyüklüklerinin gösterimi	41
Şekil 6.28 Ortamın modellenmesi	42
Şekil 6.29 Ortamın sayısal büyüklükleri	43
Şekil 6.30 Ortamın eleman sayısının eksenlere göre seçimi	44
Şekil 6.31 Ortamın hava ile doldurulması	45
Şekil 6.32 Hava dolu ortamın görüntülenmesi	45
Şekil 6.33 Saydamlığın artırılarak bütün parçaların görüntülenmesi	46
Şekil 6.34 Ortama su malzemesinin doldurulması	47
Şekil 6.35 Su-hava ortamında silindirik borunun görüntülenmesi	47
Şekil 6.36 Parçalara ait eleman yapısının görüntülenmesi	48
Şekil 6.36 Patlama simülasyonu için ayrı bir proje açılması	49
Şekil 6.37 Patlama simülasyon projesinin parametre seçimi	50
Şekil 6.38 Patlama simülasyon malzemelerinin seçimi	50
Şekil 6.39 Patlayıcı parça çözücü seçimi	51
Şekil 6.40 Patlayıcı parça modellenmesi	52
Şekil 6.41 Patlayıcı parça eleman sayısı seçimi	52
Şekil 6.42 Patlayıcı parçanın hava ile doldurulması	53
Şekil 6.43 Patlayıcı kütlelerinin yerleştirilmesi	53
Şekil 6.44 Patlayıcı modelinin hava modeline yerleştirilmesi	54
Şekil 6.45 Patlayıcı için Detonation noktası tanımlama	55
Şekil 6.46 Patlayıcının 2 metre uzaklığa eriştiği sürenin tespiti	56
Şekil 6.47 Patlayıcı modelinin çalıştırılması	56
Şekil 6.48 Şok dalgasının 2 metre uzağa ulaşması	57
Şekil 6.49 Patlama simülasyon sonuçlarının kaydedilmesi	58
Şekil 6.50 Patlama simülasyon sonuçlarının gerçek modele aktarılması	59
Şekil 6.51 Patlama koordinatlarının seçimi	60
Şekil 6.52 Patlayıcı elemanların gerçek modelde gösterimi	60
Şekil 6.53 Patlayıcı elemanların vektörel yönelimi	61
Şekil 6.54 Model sınır şartlarının oluşturulması	62
Şekil 6.55 Model sınır şartlarının bütün elemanlara uygulanması	62
Şekil 6.56 Model sınır şartlarının istenmeyen elemanlardan temizlenmesi	63
Şekil 6.57 Model sınır şartlarının istenmeyen elemanlardan temizlenmesi	64
Şekil 6.58 Lagrange/Lagrange ilişki tanımlama	65
Şekil 6.59 Euler/Lagrange ilişki tanımlama	66

Şekil 6.60 Simülasyon parametrelerinin tanımlanması.....	67
Şekil 6.61 Simülasyon sonuç parametrelerinin tanımlanması.....	67
Şekil 6.62 Ölçüm aygıtları için sonuç parametrelerinin tanımlanması.....	68
Şekil 6.63 Simülasyon içinde periyodik resimleme parametrelerinin tanımlanması.....	69
Şekil 6.64 Silindirik boru üzerine ölçüm aygıtı eklenmesi.....	70
Şekil 6.65 Modelde bulunan ölçüm aygıtlarının görüntülenmesi.....	70
Şekil 7.1 İki ucu kapalı silindirik boru ve ölçüm aygıtları.....	71
Şekil 7.2 Gauge 2 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	72
Şekil 7.3 Gauge 3 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	72
Şekil 7.4 Gauge 4 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	73
Şekil 7.5 Gauge 5 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	73
Şekil 7.6 Gauge 6 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	74
Şekil 7.7 Gauge 7 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	74
Şekil 7.8 Gauge 8 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	75
Şekil 7.9 Gauge 9 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	75
Şekil 7.10 Bütün gauge'ler (2-9) için basınç (kpa) – zaman (10 ms) grafiği.....	76
Şekil 7.11 Gauge 2-9 için tepki gecikme karşılaştırması.....	76
Şekil 7.12 Gauge 2-9 basınç zaman karşılaştırması.....	77
Şekil 7.13 Gauge 2 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	79
Şekil 7.14 Gauge 3 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	79
Şekil 7.15 Gauge 4 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	80
Şekil 7.16 Gauge 5 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	80
Şekil 7.17 Gauge 6 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	81
Şekil 7.18 Gauge 7 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	81
Şekil 7.19 Gauge 8 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	82
Şekil 7.20 Gauge 9 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	82
Şekil 7.21 Bütün gauge'ler (2-9) için von mises gerilimi ve Steel 1006 akma gerilmesi (kpa) – zaman (ms) grafiği.....	83
Şekil 7.22 Gauge 2-9 Von Mises gerilimi karşılaştırması.....	84
Şekil 7.23 Gauge 2 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği.....	85
Şekil 7.24 Gauge 3 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği.....	85
Şekil 7.25 Gauge 4 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği.....	86
Şekil 7.26 Gauge 5 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği.....	86
Şekil 7.27 Gauge 6 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği.....	87
Şekil 7.28 Gauge 7 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği.....	87

Şekil 7.29 Gauge 8 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği	88
Şekil 7.30 Gauge 9 yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği	88
Şekil 7.31 Bütün gauge'ler (2-9) için yer değiştirme (mm) – zaman (ms) grafiği.....	89
Şekil 7.32 Bütün gauge'ler (2-9) için yer değiştirme karşılaştırması	90
Şekil 7.33 Gauge 2 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	91
Şekil 7.34 Gauge 3 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	91
Şekil 7.35 Gauge 4 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	92
Şekil 7.36 Gauge 5 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	92
Şekil 7.37 Gauge 6 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	93
Şekil 7.38 Gauge 7 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	93
Şekil 7.39 Gauge 8 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	94
Şekil 7.40 Gauge 9 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	94
Şekil 7.41 Bütün gauge'ler (2-9) için mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği	95
Şekil 7.42 Bütün gauge'ler (2-9) için mutlak hız karşılaştırması.....	96
Şekil 7.43 Gauge 2 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	97
Şekil 7.44 Gauge 3 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	97
Şekil 7.45 Gauge 4 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	98
Şekil 7.46 Gauge 5 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	98
Şekil 7.47 Gauge 6 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	99
Şekil 7.48 Gauge 7 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	99
Şekil 7.49 Gauge 8 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	100
Şekil 7.50 Gauge 9 ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği	100
Şekil 7.51 Bütün gauge'ler (2-9) için ivme (mm/ms ²) – zaman (ms) grafiği.....	101
Şekil 7.52 Bütün gauge'ler (2-9) için ivme karşılaştırması.....	102
Şekil 7.53 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda basınç karşılaştırması	103
Şekil 7.54 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda yer değiştirme karşılaştırması.....	104
Şekil 7.55 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda hız karşılaştırması	105
Şekil 7.56 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda ivme karşılaştırması	106

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Değişik tipte patlayıcı parametreleri	9
---	---

ÖNSÖZ

Bu tez, ülke sınırlarında stratejik anlamda önemli bir yer teşkil eden boru hatları ya da savunmalarını doğrudan etkileyen savaş gemileri, denizaltılar veya çeşitli deniz araçlarının tasarımlarının iyileştirilmesi noktasında yeni bir yöntemin kullanılabilirliğini göstermektedir. Alışıl gelmiş yöntemlerle üretilen ve belirli standartlar dahilinde üretimleri kontrol edilen bu araçlar için tasarım aşamasında patlamalarla ilgili detaylı bir çalışma yapılmamaktadır. Fiziksel anlamda patlama testlerinin yapılması hem güvenlik hem de finansal anlamda ciddi zorluklar çıkaracağından bilgisayar ortamında paket programlarla olası gerçek durumların simülasyonunu yapmak daha verimli olmaktadır. Bu çalışmada da ANSYS Autodyn paket programı kullanılarak su altında kalan bir yapının, su altında meydana gelen bir patlamadan göreceği zararın boyutu ve çeşitli fiziksel parametrelerin büyüklükleri ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Tez öncesinde almış olduğum derslerde her türlü destekleri için hocalarım Sayın Prof. Dr. İsmail Yüksek, Yrd. Doç. Dr. Cihan Demir'e ve tez aşamasında yardımlarını hiç eksik etmeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Tamer Kepeçeler'e, bizi doğru adımlar atmak için yönlendiren Sayın Prof. Dr. Surkay Akbarov'a, çalışmalarımda görüş alışverişi yaptığım ve benden desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Yük. Müh. Erdem Atalay ve Yük. Müh. Hilal Kemal Şenyılmaz'a, ayrıca bütün eğitim hayatım boyunca bana koşulsuz destek veren aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

ÖZET

Basit geometrilerle oluşturulan dinamik problemlerin çözümü bilgisayar desteği olmadan da gerçekleştirilebilmektedir. Sıvı katı temas durumunu ve daha kompleks geometrileri içeren modellerin çözümünde daha sıklıkla sonlu elemanlar yöntemi ve bu yöntemi kullanarak çalışan paket programlar kullanılmaktadır. Problemden patlama gibi lineer olmayan davranış sergileyen durumların olması durumunda da bir paket programdan destek alınması, çözüme ulaşmada kaçınılmaz olarak görülmektedir.

Bu çalışmada su altında kalan bir konstrüksiyonun yine su altında meydana gelen bir patlamanın ısı ve basıncından nasıl etkilendiği konusu Autodyn paket programı kullanılarak araştırılmıştır. Konstrüksiyonun çeşitli noktalarından alınan yer değiştirme, hız, ivme ve basınç değerlerine bakılarak, kullanılan patlayıcı büyüklüğü ve etki noktasına olan mesafesinin yapıya ne kadar zarar verebileceği tespit edilmiştir.

Bu yöntem, ülkelerin savunma alanında önemli bir yer tutan deniz araçları ya da stratejik öneme sahip boru hatları gibi konstrüksiyonların olası saldırı ya da kaza durumlarında ne gibi sonuçlarla karşılaşacağı bilgisine ulaşma imkanı vermiştir.

Anahtar Kelimeler : Ansys, Autodyn, undex, su altı patlama, nonlineer analiz.

ABSTRACT

Dynamic problems composed of simple geometries can be solved without the help of computers. Problems with more complex geometries and fluid structure interaction are usually solved with the help of finite elements method or softwares which use this method. If there is non linear dynamic factors in the problem it must be solved by a software in order to gain best results.

In this study, the topic of an underwater construction which is subjected to an underwater explosion and effects of pressure and heat is investigated by Autodyn software. Magnitudes of displacement, velocity, acceleration and pressure values are collected from several gauges that located on different points on structure and used to see the effects of weight and distance of explosive.

This method makes it possible to have the knowledge about an attack or disaster scenario to structures like vessels or underwater pipelines which have strategical importance for a country.

Keywords : Ansys, Autodyn, undex, underwater explosion, nonlinear analysis.

1. GİRİŞ

Su altı patlamaları boru hatları, askeri gemiler, denizaltılar ya da bunun gibi stratejik yapılar için ciddi anlamda önem arzeden konulardır.

Bu tip problemleri analiz etmek için birçok çalışma alanını da bilmek gerekmektedir. Bunlar : sualtı patlamasının süreci, şok dalgası yayılımı, patlayan gaz kabarcığı davranışı, non-lineer yapı dinamiği ve sıvı-katı teması gibi konulardır.

1.1 Tarihçe

Yüzen cisimlerin sualtı patlamalarından etkilenmeleri konusu 1950'lerden beri dikkat çekmiştir.

Çoğu araştırmacı; akustik dalgalardan etkilenen yapılar ve bu yapıların akustik dalgalarla etkileşimi konusunda çalışmış ve bir çeşit yapısal geometri ve sınır koşulları belirlemiştir.

Carrier(1951); transvers akustik dalgadan etkilenen, sıvıya batırılmış, sonlu elastik dairesel silindirik bir kabuk modeli için bir çözüm öngörmüştür.

Carrier tarafından geliştirilen çözüm; kabuk yerdeğiştirmelerinin, modal bir açınımla ana denklemin dönüşümüyle sonuçlanmıştır.

Kabuk yerdeğiştirmeleri, sıvı basınçları ve kabuk hızları modal ters intergal terimleri olarak belirtilmiştir.

Mindlin ve Bleich (1953) transverse step tabii dalga durumunun seri çözümü için daha önceleri ilk üç modun asimtotik bir çözümünü öngörmüştür.

Seri yaklaşımının, kabuklara ilk temas noktasındaki ilk ivmelenmelerdeki gerçek değeri vermemesinin nedeni ile Payton (1960) çift katlı bir integral dönüşüm tekniği uygulayarak "steepest descent" (bir tür optimizasyon metodu) ile kabuk ve sıvı hareketinin tepkilerine ait asimtotik sonuçlar elde etmiştir.

Bu sırada Haywood (1958) sıvı basıncı ve silindirik dalga hızı arasındaki yaklaşık ilişkiyi açıklayan bir bağıntı çıkarmış ve bunu kabuk tepkilerinin ilk üç modunun yaklaşık modal çözümü için kullanmıştır.

1969dan beri, Huang yapılarla akustik dalgaların transient etkisini açıklayan bir seri inceleme yayınlamıştır.

Bu çalışmalar daha önceleri yapılan farazi bazı kabulleri elimine etmiş ve noktasal, düzlemsel ve küresel dalga yüklerinin yapısal geometri ile etkileşimini ortaya koymuştur.

Huang, düzlem/küresel akustik dalgalar (Huang, 1969) ile elastik küresel kabuk etkileşimini

inceleyen seri açılım metodunu literatüre sokmuştur.

Huang (1974) büyük elastik düzlem ve küresel dalga etkileşiminin transient tepkilerini çözmüştür.

Onun bu çalışması sıvı-yapı etkileşimini inceleyen Laplace ve Hankel dönüşüm tekniklerini literatüre sokmuştur.

Huang (1979) sıvı ve kabuk hareket denklemlerini çözmek için, değişken ve Laplace dönüşümlerini ayırmada klasik teknikler kullanmıştır.

Bu çalışma özel basınç tepkisine maruz kalan ikili eşlenmiş silindirik kabuğun transient tepkisini incelemiştir.

Huang ve Wang (1985) düzgün akustik yayını tahmin eden, asimtotik sıvı-katı ilişkisindeki teorilerin çalışma alanını sunmuştur.

Elde ettikleri sonuçlara göre, eklenmiş kütle ve yüzey dalga yaklaşımı (PWA) çok düşük ve yüksek frekans durumları için uygundur.

Huang (1986) sonrasında yüzen küresel kabukla basınç dalgalarının lineer etkileşimini ele almıştır.

Bu çalışmada Huang sonlu elemanlar yöntemiyle kesişen, gerçek anlamda Kirchhoff İndirgenmiş Potansiyel integral çözümüne dayanan sınır eleman metodunu uygulamıştır.

Huang ve Kiddy (1995) Euler-Lagrange metoduyla eşlenmiş sonlu eleman yöntemine (PISCES 2DELK) yaklaşımlarına dayanan, sualtı patlama şok dalgası ve sonrasında çarpan kabarcığın küresel kabuk yapısıyla olan transient etkileşimini çalışmıştır.

Çalışmalarının sonuçlarına göre, yapısal tepki, başlangıç şok dalgası, yapı, çevreleyen ortam ve patlayan kabarcık dikkate alınmalıdır.

1970'lerde Geers sistematik olarak yüzen küresel kabuk ve akustik dalga transient etkileşiminin teknik alanlarında birçok teori geliştirmiştir.

Geers (1971) transient sıvı-katı ilişkisindeki etkileri iyi derecede özetlemiştir.

Geers (1978) sırasıyla step dalgaya maruz kalan yüzen küresel kabuğun transient hareketlerini incelemiştir. Ve aynı zamanlarda birinci derece çiftli asimtotik yaklaşım (DAA_1) ve ikinci derece çiftli asimtotik yaklaşım (DAA_2) 'nin serbest titreşim ve zorlanmış tepki karakterlerini incelemiştir.

Geers ve Felippa (1983) sadece yüzen küresel kabukların steady-state titreşim analizi için birinci ve ikinci derece DAA_2 yi kullanmayıp ayrıca DAA_1 formlarının doğruluğunu araştırmıştır.

Buna ek olarak Tang ve Yen (1970) membran, bükülme, rotator ataleti ve burulma deformasyonunun etkilerini göz önünde bulundurarak, akustik step dalganın elastik küresel kabukla olan etkileşimini incelemek için Laplace transform ve Watson transformlarını kullanmıştır.

Kwon ve Fox (1993) uzaksaha yanal su altı patlamasına maruz kalan silindirin nonlinear dinamik tepkilerini incelemek için nümerik ve deneysel teknikler uygulamıştır.

Değişik noktalarda Straingage'lerden alınan ölçümler ve nümerik sonuçların karşılaştırılması ile elde edilen bulgular çok yakın çıkmıştır.

Bathe (1995) akustik alanlar ve yapılarla ilişkilerini analiz eden yeni bir, etkili üç-alanlı karışık sonlu eleman formülasyonu geliştirmiştir.

Bu ayrıştırma; deplasmanları, basınç ve girdap momenti gibi değişkenleri bir başlangıç koşulu ile kullanmaktadır.

Shin ve Chisun (1997) düzlemsel akustik step dalga şokuna maruz kalan bir küresel ve sonlu bir silindirik kabuğun tepkisini araştırmak için eşlenmiş bir Lagrange-Euler sonlu elemanlar analiz tekniğini literatüre sokmuştur.

Ergin (1997), DAA metoduna dayanan dinamik tepkiler ve bir impulsa maruz kalan silindirik kabuğun teorik hesaplamaları ile deneysel ölçümlerini sunmuştur.

Kwon ve Cunningham (1998) sualtı patlamalarına maruz kalan yüzen yapıları incelemiş ve takviye elemanları ile ilgili etkileri inceleyen bir teknik geliştirmiştir.

Liang (1998) sualtı patlamasına maruz kalan bir gövdenin elatoplastik tepkilerini ve kritik noktalarını analiz eden ve Hibbit ve Karlsson metodolojisine dayanan bir prosedür sunmuştur.

Liang (2000) DAA₂'ye dayanan güçlü bir şok dalgası karşısında yüzen küresel bir kabuğun tepkilerini araştırmıştır.

Gerçek ölçekli olarak deniz araçlarının sualtı patlamalarına karşı verdiği tepkileri incelemek maddi anlamda çok yüksek gereksinimlere gerektirmekte ve çevresel güvenlik faktörleri açısından sınırlıdır.

Bununla beraber bu tip patlamalarda ele alınan fiziksel fenomen, gerçek hayatta uygulanabilir bir deney değildir.

Buna ilaveten, deneylerde basit geometrik kapalı formlar kullanılabilir fakat gerçek yapılar için nümerik simülasyondan başka bir şey mümkün değildir.

Bütün bu yapılanlara bakıldığında özet olarak şu söylenebilir ki çoğu araştırma yüzen cisimlerdeki sıvı-katı ilişkisi hakkında başlangıç seviyesinde sonuçlar çıkarmıştır.

Bununla beraber sualtı şok dalgasına maruz kalan bir gemi gövde yüzeyinin transient etkileşimi sınırlı olarak incelenmiştir.

Greenhorn(1988) patlayıcı silahlarla sualtından taarruza uğramış bir gemi yüzeyinin hasar görebilirliğini belirleyen bir bilgisayar kodu (SSVUL) tanımlamıştır.

Shin ve Santiago (1998) sualtı patlamasına maruz kalan bir gemi yüzeyinin, sıvı-katı etkileşimi ve aşınma etkilerini araştıran bir eşlenmiş USA-NASTRAN-CFA kullanmıştır.

Sonuç olarak, Hung (1999) sonsuz sıvı domaininde sualtı patlamasına maruz kalan gemi benzeri bir yapının nümerik simülasyonunu sunmuştur.

Bu çalışma, sualtı patlamasına maruz kalan bir gemi gövde yüzeyinin şok tepkilerini, transient dinamik tepki, geometrik olarak nonlinear, elastoplastik davranış ve sıvı-katı etkileşimlerini göz önünde bulundurarak bir prosedür geliştirmiştir.

Sıvı domainini ve çiftli asimtotik yaklaşım (DAA)'ya dayanan sınır eleman metodu ve yapıyı modelleyen Hibbit ve Karlsson(1979)'ın metodolojisine dayanan nonlinear sonlu elemanlar metodu literatüre girmiştir.

Çalışmalarda kaynak olarak kullanılan patlayıcıların basınçları Cole (1948)'un ampirik formülleriyle tespit edilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı su altında meydana gelen bir patlamanın yine su içinde bulunan bir boru yapısında ne gibi etkilere neden olduğunu ortaya koyacak bir yöntemin uygulanabilirliğini göstermektir.

Elde edilecek sonuçlara göre yöntemin doğruluğu hakkında fikir sahibi olunacak ve yöntem kullanılarak tasarımların dizayn aşamasında iyileştirilebilmesine imkan verecektir.

Analizin nonlinear olması gerekmektedir. Bunun nedeni ise şok dalgasına maruz kalan yapıdaki geometrik ve malzeme non lineeritelerine dayanmaktadır.

Modellenecek silindir üzerinde oluşacak olan kalıcı deformasyonlar uygulanan kuvvetle doğru orantılı olarak değişmemektedir. Bu değişimleri fiziksel anlamda gerçeğe en yakın görebilmek adına lineer olmayan yöntemin tercih edilmesi sonuçların doğruluğunu artıracaktır.

2. TEORİK ALTYAPI

1950'lerden bu yana yapılan teorik çalışmalardan elde edilen tecrübelerle sıvı-katı temas olayını inceleyen çözümler birleştirilerek ve birçok ampirik yaklaşımın desteğiyle yüzen bir cisme şok basıncının etkisini gösteren formülasyonlarla olayın teorisi anlatılabilmekte fakat çok basit formdaki cisimler için hesaplamalar yapılabilmektedir.

Karmaşık geometriye sahip modeller için nümerik çözümlere mutlaka ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1 Yapısal Tepki Denklemleri

Su altı şok dalgasına maruz kalan tam ya da yarı batmış bir yapı için, yapı malzeme ve geometrik nonlinear davranış gösterebilir.

Formülasyon dinamik virtüel iş denklemine dayanmaktadır.

V ve f^b sırasıyla hacim ve gövde kuvveti, S ve f^s de sırasıyla yüzey ve yüzey kuvveti olsun.

Yapısal tepki için ana denklemler şöyle olacaktır:

$$\int_{V^e} \rho_s \ddot{u}^e \delta u^e dV + \int_{V^e} \rho_s \alpha_i \dot{u}^e \delta u^e dV + \int_{V^e} \tau_{ij} e_{ij} \delta V - \int_{V^e} f_i^b \delta u^e dV - \int_{S^e} f_i^s \delta u^e dS = 0 \quad (2.1)$$

Burada $\ddot{u}^e, \dot{u}^e, u^e$ elemandaki düğümün sırasıyla ivme, hız ve yerdeğiştirmesidir.

Ayrıca ρ_s ve α_c de sırasıyla malzeme yoğunluğu ve kütle oransal sönüm faktörünü simgelemektedir.

Virtüel yerdeğiştirme teoremine dayanarak, problemin ana denklemi matris formunda aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$[M_s] \{\ddot{u}\} + [C_s] \{\dot{u}\} + [K_s] \{u\} = \{f\} \quad (2.2)$$

$$[M_s] = \int_{V^e} \rho_s [N]^T [N] dV, \quad [C_s] = \int_{V^e} \rho_s \alpha_c [N]^T [N] dV$$

$$[K_s] = \int_{V^e} [B]^T [D] [B] dV, \quad \{f\} = \int_{V^e} [N]^T f dV$$

$\{u\}$ ve $\{f\}$ sırasıyla yapısal yerdeğiştirme ve dış kuvvet vektörleridir.

Ek olarak $[M_s]$, $[C_s]$ ve $[K_s]$ sırasıyla yapısal kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir.

$[N]$, $[B]$, $[D]$ sırasıyla şekil fonksiyonu, deformasyon matrisi ve mekaniksel sabitlerdir.

Batmış bir cismin akustik bir dalga ile uyarımı $\{f\}$ aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\{f\} = -[G][A_f]\{\{P_I\} + \{P_S\}\} \quad (2.3)$$

Burada $\{P_I\}$ ve $\{P_S\}$ sırasıyla; dalgayla ilgili olarak, ıslak yüzey düğümsel basınç vektörü ve yayılmış dalgadır.

Burada $[A_f]$ sıvı mesh içinde bulunan elemanla ilişkili diagonal alan matrisidir ve $[G]$ de yapı ve sıvıdaki düğüm yüzey kuvvetleriyle ilgili dönüşüm matrisidir.

2.2 Sıvı Yüzey Denklemi

Sonsuz sıvı ortamına batmış bir yapı için, kabuğun ıslak yüzey ana denklemi Çiftli Asimptotik Yaklaşım metoduna (Geers, 1971,1978; DeRuntz, 1980) dayanır.

İkinci dereceden DAA₂ yaklaşımı da matris formunda verilmiştir:

$$[M_f] \cdot \{\ddot{P}_S\} + \rho_f c [A_f] \cdot \{\dot{P}_S\} + \rho_f c [\Omega_f] \cdot [A_f] \{P_S\} = \rho_f c ([M_f] \cdot \{\dot{v}_S\}) + [\Omega_f] \cdot [M_f] (v_S) \quad (2.4)$$

$$[\Omega_f] = \eta \rho_f c [A_f] [M_f]^{-1} \quad (2.5)$$

$[M_f]$ simetrik sıvı matrisini; η , $0 < \eta < 1$ ile sınırlanmış bir ölçek parametresi ve ρ_f ile c sırasıyla sıvı yoğunluğu ve ses hızıdır.

Ek olarak, $\{v_S\}$ yapısal yüzeye dik olan dağılmış dalga partikülü hızlarının vektörüdür.

2.3 Eşlenmiş Sıvı-Katı Etkileşim Denklemi

Sıvı yüzey denklemi (4) aşağıdaki denklem kullanılarak yapısal tepkiyle eşlenmiştir:

$$\{v_S\} = [G]^T \{\dot{u}\} - \{v_I\} \quad (2.6)$$

Burada $\{v_I\}$ sıvı hızıdır. Eşlenmiş sıvı-katı etkileşim denklemleri (3)'ü (2) no'lu denkleme ve

(6) ile türevini (4) no'lu denkleme yerleştirerek elde edilebilir.

$$[M_s]\{\ddot{u}\} + [C_s]\{\dot{u}\} + [K_s]\{u\} = -[G][A_f]\{P_I\} + \{P_S\} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} & [M_f]\{\ddot{q}_S\} + \rho_f c [A_f]\{\dot{q}_S\} + \rho_f c [\Omega_f][A_f]\{q_S\} \\ & = \rho_f c [M_f][G]^T\{\ddot{u}\} - \{\dot{v}_I\} + [\Omega_f][M_f][G]^T\{\dot{u}\} - \{v_I\} \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\{q_S\} = \int_0^t \{P_S(\tau)\} d\tau \quad (2.9)$$

$[A_f]$, $[M_f]^{-1}$ ile çarpılarak Denk.(8) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} & [A_f]\{\ddot{q}_S\} + \rho_f c [D_{f1}]\{\dot{q}_S\} + \rho_f^2 c^2 [D_{f2}]\{q_S\} \\ & = \rho_f c [A_f][G]^T\{\ddot{u}\} - \{\dot{v}_I\} + \rho_f c [D_{f1}][G]^T\{\dot{u}\} - \{v_I\} \\ & [D_{f1}] = [A_f][M_f]^{-1}[A_f] \text{ ve } [D_{f2}] = [A_f][M_f]^{-1}[A_f][M_f]^{-1}[A_f] \end{aligned} \quad (2.10)$$

3. SU ALTI PATLAMALARININ ŞOK BASINCI

Konvansiyonel yüksek patlayıcı veya nükleer silahlardan kaynaklanan ani yüksek enerji salınımı; suda yüksek ısıda, sıkıştırılmış bir gaz kabarcığı ve şok dalgası oluşturmaktadır.

1500 lb TNT ile yapılan sualtı patlamasından açığa çıkan enerjinin yaklaşık %53'ü şok dalgasına ve %47'si de gaz kabarcığının oluşumuna gitmektedir.

Çoğu vaka göstermiştir ki deniz araçlarına (örneğin gemi yüzeyi ve deniz altılara) gelen zarar, şok dalgalarının çarpmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışma sadece şok dalgasının yol açtığı etkiyi incelemektedir herhangi bir parçaçık etkisi ile yaralanma sonuçları incelenmemiştir.

Sabit bir noktadaki şok dalgasına ait basınç kayıtları $P(t)$ çok ani bir yükselişle P_{\max} pik yapıyor (10^{-7} s'den daha az bir sürede) ve exponansiyel fonksiyon şeklinde ilerliyor.

Cole (1948)'ün ampirik denklemine göre:

$$P(t) = P_{\max} e^{-t/\lambda}, \quad t \geq t_1 \quad (3.1)$$

Burada P_{\max} ; şokun önündeki pik basınç, t şokun gelmesine kadar geçen süre ve λ da zaman sabitindeki exponansiyel azalmadır.

Pik basınç ve azalma sabiti patlayıcı büyüklüğüne ve basınç ölçülen yerin patlayıcıya olan uzaklığına bağlıdır.

Pik basınç P_{\max} ve azalma sabiti λ aşağıdaki gibi gösterilmiştir:

$$P_{\max} = K_1 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{A_1} \text{ (MPa)} \quad (3.2)$$

$$\lambda = K_2 W^{1/3} \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{A_2} \text{ (milisaniye, ms)} \quad (3.3)$$

Burada K_1 , K_2 , A_1 ve A_2 sabitleri, Çizelge 3.1'deki 1 (Cole, 1948; Smith and Hetherington, 1994; Reid, 1996) patlayıcı tiplerine dayanan değerlerdir.

W kilogram cinsinden patlayıcı ağırlığı, R ise hedef nokta ile patlayıcı arasında metre cinsinden mesafedir.

Sualtı patlamasından doğan bir basınç gemi yüzeyi gibi esnek bir yüzeye etkideğinde, sıvı-katı

etkileşim yüzeyinden yansıyan basınç Taylor'ın plak teorisine dayanarak doğru bir şekilde açıklanabilir.

Bir şok dalgasına $P_i(t)$ 'ye maruz kalan birim kütle alanına (m) sahip bir plaka için yansıyan $P_r(t)$ basıncı plakadan ayrılacaktır.

$v_p(t)$ plakanın hızı olsun ve Newton'un ikinci yasasını uyguluyor olalım:

$$m \frac{dv_p}{dt} = P_i + P_r \quad (3.4)$$

Çizelge 3.1 Değişik tipte patlayıcı parametreleri

Sabit	Tip			
	HBX-1	TNT	PETN	Nükleer
K1	53.51	52.12	56.21	10600
A1	1.144	1.180	1.194	1.13
K2	0.092	0.0895	0.086	3.627
A2	-0.247	-0.185	-0.257	-0.22

Etkiyen ve yansıyan şok dalgasının arkasındaki sıvı partiküllerinin hızı sırasıyla, plakanın hızını oluşturan $v_i(t)$ ve $v_r(t)$ 'dir.

$$v_p(t) = v_i(t) - v_r(t) \quad (3.5)$$

Etkiyen ve yansıyan basınçlar $P_i = \rho_f . c . v_i$ ve $P_r = \rho_f . c . v_r$ şeklinde tanımlanmıştır. ρ_f ve c sırasıyla sıvı yoğunluğu ve ses hızıdır.

Basıncı da denkleme yerleştirirsek $P_r(t)$ şu şekilde gösterilebilir:

$$P_r(t) = P_i(t) - \rho_f c v_p = P_{\max} e^{-t/\lambda} - \rho_f c v_p \quad (3.6)$$

Hareket denklemi de bu halde yazılabilir:

$$m \frac{dv_p}{dt} + \rho_f c v_p = 2P_{\max} e^{-t/\lambda} \quad (3.7)$$

Denklem (3.7) birinci derceden diferansiyel bir denklem olup çözümü ile plağın hızına ulaşılabilir.

$$v_p = \frac{2P_{\max} \lambda}{m(1-\beta)} [e^{-\beta t / \lambda} - e^{-t / \lambda}] \quad (3.8)$$

burada $\beta = \frac{\rho_f \cdot c \cdot \lambda}{m}$ ve $t > 0$ dır. Plakadaki toplam basınç da aşağıdaki gibidir:

$$P_t(t) = 2P_i(t) - \rho_f c v_p = \frac{2P_{\max}}{1-\beta} [e^{-t / \lambda} - \beta e^{-\beta t / \lambda}] \quad (3.9)$$

(3.9) no'lu denklemde β büyür, erken bir zamanda toplam basınç negatife düşer.

Gerçekte su gerinime karşı koyamadığı için basınç suda negatif olamaz.

Basınç buhar basıncına düştüğünde, ön plakada bölgesel kavitasyon meydana gelir.

4. ŞOK FAKTÖRÜ

Suya batmış bir yapı geniş bir yelpazede patlayıcı ağırlığı, uzaklık ve saldırı doğrultusu değişkenliği ile su altı patlamasına maruz kalabilir, saldırı şiddeti ile geometri arasındaki bağıntı saptanmalıdır.

Mayın gibi yüksek patlayıcıların saldırı şiddeti, genellikle yapı gövdesine gelen dalganın enerji yoğunluğu ile orantılı olarak açıklanmıştır (Keil, 1961; Reid, 1996).

Çünkü şok enerjisi akı yoğunluğu aşağıdaki gibidir:

$$E = \frac{1}{\rho_f c} \int_0^{6.7\lambda} P(t)^2 dt \quad (4.1)$$

Burada basınç zaman kayıtları (11)no'lu denklemden elde edilebilir ve W ağırlığındaki trinitrotoluenin (TNT) R uzaklıktaki enerji yoğunluğu da:

$$E = \frac{P_{\max}^2 \lambda}{2\rho_f c} \quad (4.2)$$

şeklinde ya da yaklaşık olarak:

$$E \approx 94.34 \frac{W}{R^2} \quad (4.3)$$

tanımlanabilir.

Patlayıcı ağırlığı (W) ve mesafe (R) için çeşitli kombinasyonlar, çeşitli basınç – zaman eğrileri oluşturabilir.

Saptanan bir patlayıcı ağırlığı ve patlayıcının yapıya olan uzaklığına bağlı olarak birçok öngörü elde edilebilir.

Böylelikle, bir teknenin su altı şok dayanımı daha gemi dizayn aşamasında iken şok faktörü terimleriyle saptanabilir

Bu faktör, teorik olarak bir tekne için tehditlere karşı dayanabilirliği açısından seçilebilir ya da o tip tekneler için bir tecrübe teşkil edebilir.

Denizaltılar için hasar tahmininde, bu faktör Hull Shock Factor (Tekne Şok Faktörü-HSF) (Bishop, 1993; Reid, 1996; O'Hara and Cunniff, 1993) olarak adlandırılmıştır.

HSF, gemide tekne yapısına zarar verebilecek bir şok dalgasındaki enerjiyi göstermektedir.

Çalışmalara göre:

$$HSF = \sqrt{W/R} \quad (4.4)$$

Burada (W), TNT karşılığı olarak patlayıcı ağırlığıdır (kg)

(R) ise patlayıcıya olan hedefin uzaklığıdır (m)

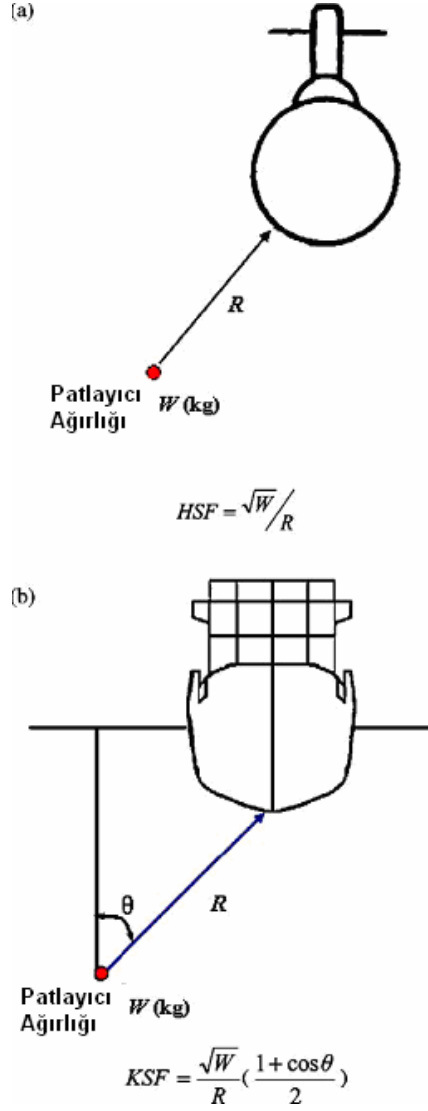
Bir gemi yüzeyi için, tepkinin neredeyse dik olduğu durumlarda, şok dalgasının hedefi vurma açısının düzeltilmesi gerekmektedir.

Geminin omurgasına göre patlayıcının pozisyonu ve şok dalgasının etki açısı için de düşünüldüğü takdirde, KSF Keel Shock Factor - KSF (Omurga Şok Faktörü) değerlendirilir (Bishop, 1993; Reid, 1996).

Bu durumda yukarıdaki denklem $(1 + \cos \theta)/2$ ile çarpılarak KSF açıklanabilir:

$$KSF = \frac{\sqrt{W}}{R} \times \frac{1 + \cos \theta}{2} \quad (4.5)$$

Burada θ , gemi omurgasına yapılan yükleme doğrultusu ile düşey eksen arasında kalan açıdır.



Şekil 4.1 Denizaltı ve gemiler için KSF ve HSF tanımlamaları

4.1 Zamyshlyayev Ampirik Formülasyonu

Cole (1948)'ün geliştirdiği tekniğin üstüne çalışmalar yaparak Zamyshlyayev, Cole'ün formülasyonunu beş aşamada incelemiştir :

- Eksponansiyel düşüş süreci
- Karşıt düşüş süreci
- Karşıt düşüş sürecini takip eden kısım
- Kabarcık genişleme süreci
- Küçülme süreci

Bu süreçlerin ilk dördüne ait ampirik formülasyonlar ise şu şekilde açıklanmıştır :

1.Süreç : Ekspansiyel düşüş süreci :

$$P(t) = P_m \cdot e^{-t/\theta} \quad t < \theta \quad (4.6)$$

2.Süreç : Karşıt düşüş süreci :

$$P(t) = P_m \cdot 0,368 \frac{\theta}{t} \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^{1,5} \right] \quad t_1 \geq t \geq \theta \quad (4.7)$$

3.Süreç : Karşıt düşüş sürecini takip eden kısım :

$$P(t) = P^* \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^{1,5} \right] - \Delta p \quad t_p > t > t_1 \quad (4.8)$$

4.Süreç : Kabarcık genişleme süreci:

$$P(t) = \frac{10^5}{\bar{r}} \left(\frac{0,686 \cdot P_0^{-0,96}}{\xi} + 5,978 \cdot P_0^{-0,62} \cdot \frac{1 - \xi^2}{\xi^{0,92}} - 30,1 \cdot P_0^{-0,65} \cdot \xi^{0,36} \right) - \frac{1,73 \times 10^{10}}{\bar{r}^4 P_0^{-0,43}} (1 - \xi^2) \cdot \xi^{0,1}$$

$$T - t_2 \geq t \geq t_p \quad (4.9)$$

$$\left(4,41 \times 10^7 \cdot \left(\frac{w^{1/3}}{R} \right)^{1,5} \right) \quad 6 < \frac{R}{R_0} < 12$$

$$P_m = \quad (4.10)$$

$$\left(5,24 \times 10^7 \cdot \left(\frac{w^{1/3}}{R} \right)^{1,13} \right) \quad 12 \leq \frac{R}{R_0} < 240$$

$$(0,45 \cdot R_0 \cdot r^{-0,45} \times 10^{-3}) \quad \bar{r} < 30$$

$$\theta = \quad (4.11)$$

$$\left(3,5 \cdot \frac{R_0}{C} \sqrt{\lg \bar{r} - 0,9} \right) \quad \bar{r} \geq 30$$

$$t_d = \frac{R_0}{C}(\bar{r} - m) \quad (4.12)$$

$$m = 11,4 - 10,6/\bar{r}^{0.13} + 1,51/\bar{r}^{1.26} \quad (4.13)$$

$$\bar{r} = \frac{R}{R_0} \quad (4.14)$$

$$\bar{t} = \frac{C}{R_0}t \quad (4.15)$$

$$\Delta P = \frac{10^5}{\bar{r}^4} (5635\bar{t}^{0.54} - 0,113\bar{p}_0^{1.15}\bar{t}^2) \quad (4.16)$$

$$P^* = \frac{7,173 \times 10^8}{\bar{r}(\bar{t} + 5,2 - m)^{0.87}} \quad (4.17)$$

$$t_p = \left(\frac{850}{\bar{P}_0^{0.85}} - \frac{20}{\bar{P}_0^{1/3}} + m \right) \cdot \frac{R_0}{C} \quad (4.18)$$

$$\frac{t_1}{(t_1 + 5,2 - m)^{0.87}} = 4,9 \times 10^{-10} p_m \cdot \bar{r} \cdot \theta \cdot \frac{C}{R_0} \quad (4.19)$$

$$p_0 = p_{am} + \rho \cdot g \cdot H_0 \quad (4.20)$$

$$\bar{p}_0 = \frac{p_0}{P_{am}} \quad (4.21)$$

Bu formüllerde p_m şok dalgasının pik basıncını (Pa), θ şok dalgasının zaman sabitini (s), W küresel TNT kütlesini (kg), R patlayıcı merkezi ile ölçüm yapılan nokta arası mesafeyi (m), R_0 küresel patlayıcının başlangıç çapını (m), t_d şok dalgasının ulaşma zamanını (s), t_p şok dalgasının pozitif zaman periyodunu (s), P_0 patlama merkezindeki hidrostatik basıncı (Pa), P_{am} atmosferik basıncı (Pa), C sudaki ses hızını (m/s), H_0 patlama merkezinin başlangıç derinliğini (m) göstermektedir.

Teorik hesaplamada Zamyshlyayev formülasyonunu kullanmak basit formdaki modeller için oldukça kullanışlı gözükmektedir.

5. SAYISAL MODEL TEMELİ

Sonlu elemanlar metodu kullanarak yapılan uygulamalar basit geometriler için bile uzun süreler alabilmektedir. Özellikle standart geometrilerin dışında ve çevresel etkileşimin olduğu modellerde problemi çözmek için yüksek hızlı işlemcilerden destek alınması kaçınılmaz görünmektedir.

Sıvı ortamında tam batmış silindirik bir boru modeline ve su altında meydana gelen 10 kg'lık TNT patlamasının etkilerini incelemek için ANSYS Autodyn paket programı kullanılmıştır.

5.1 Çözüm Metodları

Sayısal çözüm için kullanılan programlarda çözümlene için birden fazla metod kullanılır. Çıkacak sonuçlarda istenen yeter şarttaki ya da hassasiyetteki veriye göre metodlar değiştirilebilir. Bu metodlar çözümlene programlarında sayısal problemleri çözmeye kullanılan metodlarla aynı isimde isimlendirilir :

- Lagrange
- Euler
- ALE (Arbitrary Lagrange Euler)
- SPH (Smooth Particles Hydrodynamics) – Meshfree Lagrangian Method

Fiziksel ortamlarda birçok maddenin dinamik davranışları incelenmektedir. Bu maddelerle kurulan modellerin çözümünde de madde tipine ve etkileşimine göre sonuçların doğruluğu açısından farklı çözümler kullanmak gereklidir.

Lagrange çözüm metodu fiziksel sınırları belli, çevreleyen ortamın malzeme ile birlikte hareket ettiği ve büyük deformasyonların görüldüğü modellerde daha sağlıklı sonuçlar çıkarmaktadır. Tabi bununla birlikte deformasyonun oldukça büyük olduğu kısımlarda ters etki oluşturarak yanlış sonuçlara götürebilir ama bunun nedeni olan yeterince küçük elemanlarla modellemeye problemi, yerel eleman iyileştirmesi gibi yöntemlerle giderilebilir. Bunların dışında Lagrange çözümlüsüyle modellenmiş bir problemin çözüm süresi diğerlerine oranla daha kısadır ve bu çözüm sürelerinin oldukça uzun sürdüğü problemlerde iyi bir tercih edilme nedenidir.

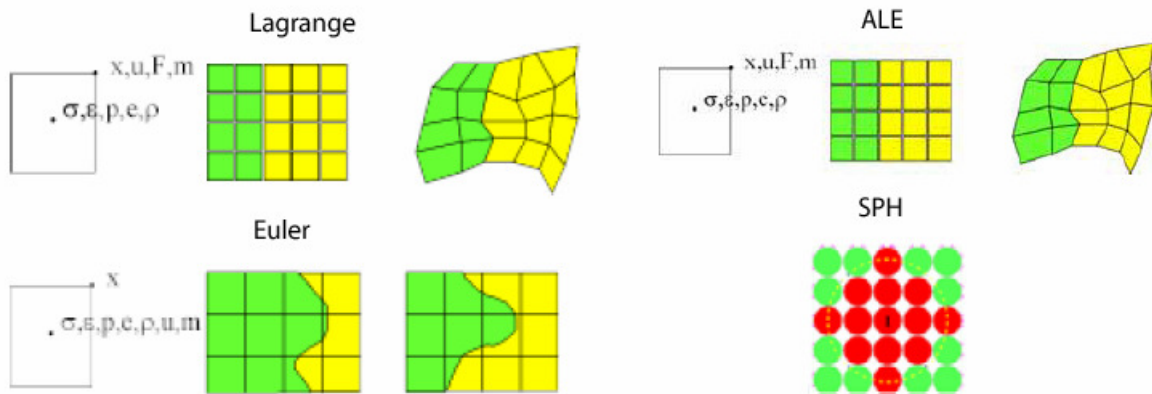
Euler çözüm metodu ile kurulan modellerde malzemeyi çevreleyen eleman ağ yapısı sabit

durur ve malzemenin içinden akıp geçmesine izin verir. Daha çok malzeme üzerindeki ciddi deformasyonları göstermek ve aynı zamanda çevresel şartların da etkisiyle modellemek için kullanılır. Bunlardan anlaşıldığı gibi en fazla gaz ve sıvı malzemelerin modellenmesinde tercih edilir. Malzeme sıvı ya da gaz ortamdan akıp geçerken Euler ile modellenmiş ortam ağını bozmadan ilerle dolayısıyla ağ yapısının sınırları aşarak bozulması gibi bir durum söz konusu olmamaktadır.

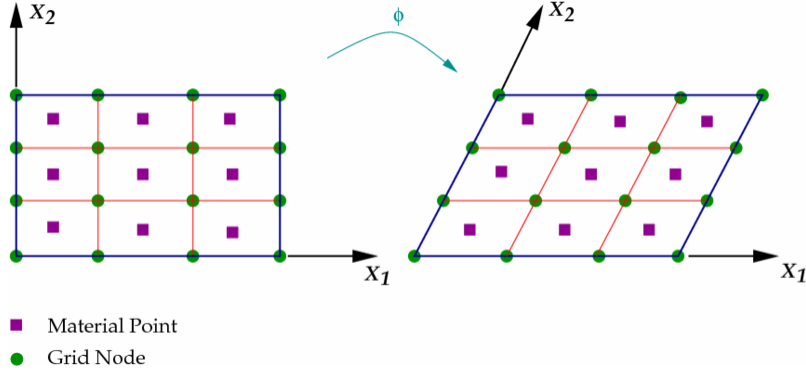
ALE yönteminde ise Lagrange ve Euler metodlarının hibrit bir uygulaması vardır ve sıvı ortamlar modellenebileceği gibi katı yapıları da modellenebilmektedir. Lagrange modellemelerinde karşılaşılan ağ elemanı karmaşıklığını gidermek ve hesaplamalara daha etkin devam edebilmek için avantajlı görünen bir yöntemdir.

SPH çözücüsü ise astro fizik modellerinde tercih edilen bir yöntemdir. İlk olarak Autodyn paket programı tarafından 1995'te kullanılmıştır. SPH ile modellenen bir geometride ağ yapısı oluşturulmaz. Euler ile karşılaştırıldığında modelin sınır koşulları çok daha iyi belirtilebilmekte ve malzemenin yapıdan ayrılması çok daha iyi modellenmektedir. Yüksek hızla çarpışmalarda ya da kırılğan malzemelerin parçaçık ayrılmalarının modellenmesinde daha çok tercih edilen ve sağlıklı sonuçlar üreten bir yöntemdir. Lagrange yönteminde göre ağ yapısının olmamasından dolayı hesaplamaların uzun zaman alması bu yöntemdeki en büyük dezavantaj olarak görülmektedir.

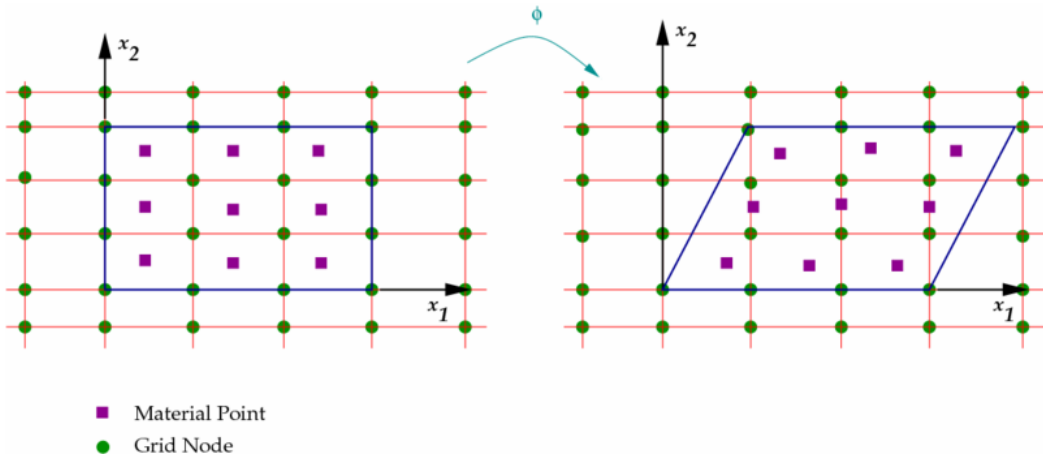
Bu dört yöntemi karşılaştıracak olursak aşağıdaki eleman yapıları aradaki farkı daha net açıklayacaktır:



Şekil 5.1 Çözücü tiplerinin kullandığı eleman yapıları.



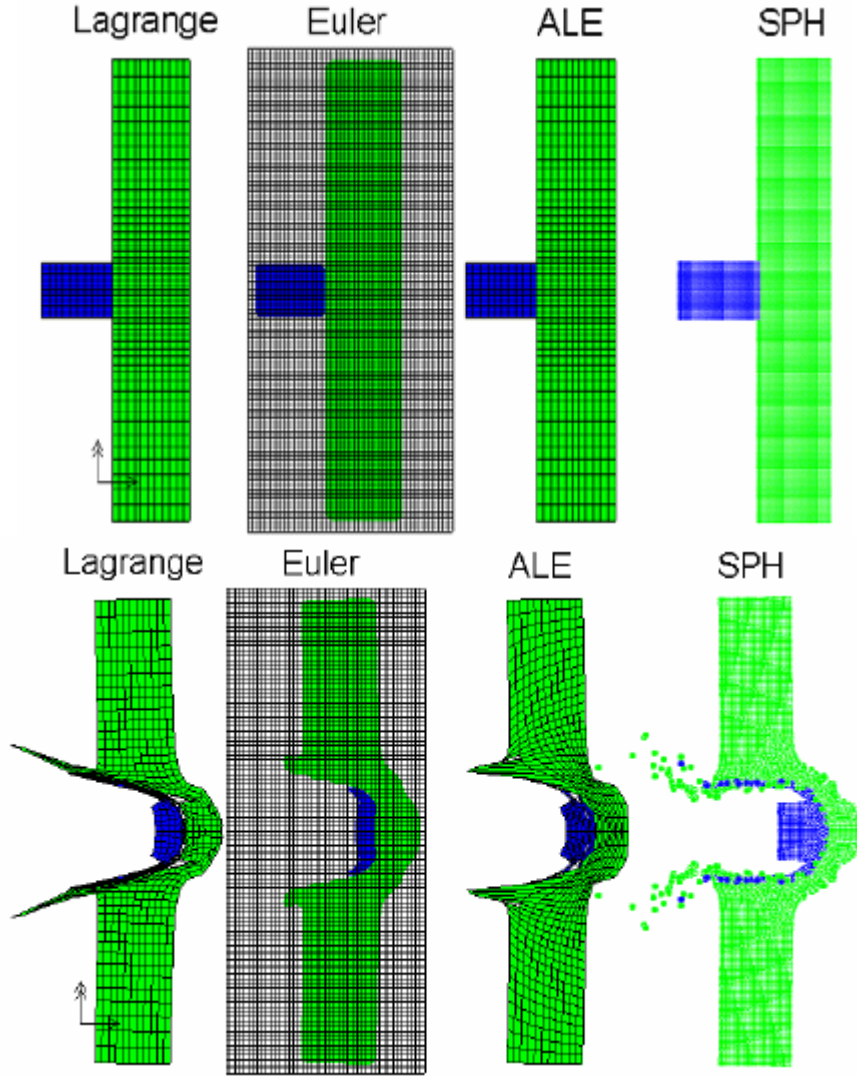
Şekil 5.2 Lagrange eleman davranışı.



Şekil 5.3 Euler eleman davranışı.

Lagrange elemanında düğüm noktaları malzeme ile birlikte hareket eder. Malzeme koordinatları ise zamandan bağımsızdır. Elemanlar arası malzeme akışı olmadığı gibi elemanın köşegen noktaları malzemeninkilerle eş hareket halindedir. Sınır koşullarını oluşturan düğümler direkt sınırda yerlabildiğinden uygulanması kolaydır fakat ağ yapısı malzeme ile birlikte hareket ettiğinden büyük kaymalar görülebilir.

Euler elemanında ise düğüm noktaları sabittir ve uzaysal noktalarla eş hareket halindedir. Malzemeye ait düğüm noktaları zamana göre yer değiştirebilir, ağ yapısı içinden geçebilir. Sınır düğüm noktaları ile malzeme sınırları üst üste örtüşmeyebilir, bu da sınır koşulları uygulamasını daha zor hale getirmektedir. Bunun yanında ağ yapısında kaymalardan kaynaklı bir bozulma olmaz çünkü ağ yapısı zaten uzayda sabitlenmiştir. Fakat içinde hareket edecek parçaların ortamı terketmemesi için büyük modellenmesi gerekir bu da çözüme giren eleman sayısını artırmaktadır.



Şekil 5.4 Silindirik cismin plakaya çarpmasından önceki ve sonraki durumda çözücü karşılaştırması.

Görüldüğü gibi Lagrange yönteminde direkt plakaya çarpan cismin yol açtığı deformasyon abartı bir modellemeyle sonuçlanıyor fakat diğer çözücülerle çözülen modellerde ortam etkisi ya da gerçekçilik açısından daha sağlıklı gösterimler elde edilebilmektedir. Özellikle SPH ile modellenen problemin çözümünde malzemeden kopan parçacıkların görülebilirliği kırılğan malzemelerde bu yöntemin ne kadar avantajlı olduğunu gösteriyor.

5.2 Etkileşim Metodları

Modele dahil olan parçaların tek başlarına uygun çözücü ile modellenmesi yeterli değildir. Modelde yer alan parçaların birbirleriyle ilişkileri bulunmaktadır ve özellikle temaslı problemlerde bu ilişkilerin çok iyi belirtilmesi gerekmektedir. İlişki verilmeden kurulan bir

problemde parçalar birbirlerinden bağımsız şekilde problemim çözümüne dahil olurlar ve çıkan sonuçlar sağlıklı olmaz.

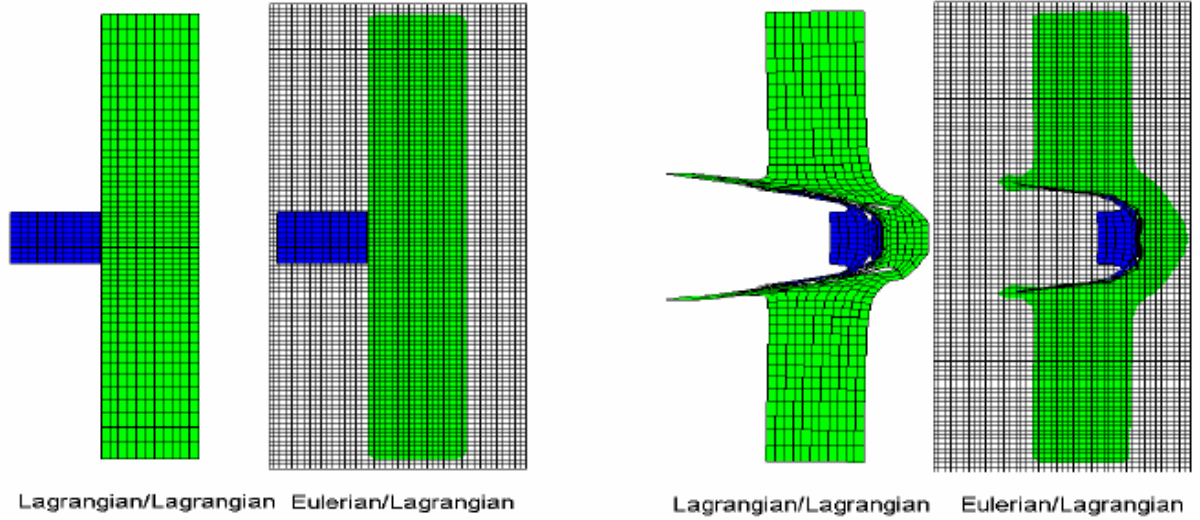
Sayısal çözüm yaparken iki tip etkileşim kullanılmaktadır:

- Lagrange / Lagrange Etkileşimi
- Euler / Lagrange Çifti

Çözümleri Lagrange olarak tanımlanmış en az iki parçanın birbirlerine kurduğu ilişki Lagrange/Lagrange etkileşimi olarak adlandırılır. Etkileşen yüzeylerde otomatik olarak bir etkileşim yakalama bölgesi oluşur ve bu bölgeye giren malzeme elemanı diğer malzeme elemanı ile etkileşime girer.

Euler ve Lagrange parça ya da ortam modellerinin temas halinde olduğu problemlere Euler/Lagrange Çiftlisi denir. Euler ortamında kurulan eleman ağ yapısından parça malzeme ağ yapısının akmasına izin verir ve ona sınır oluşturur. Gaz-katı ya da sıvı-katı etkileşimlerindeki büyük deformasyonların modellenmesinde bu etkileşim kullanılır.

Etkileşimlerin farkı aşağıdaki gösterimlerde daha iyi anlaşılmaktadır:



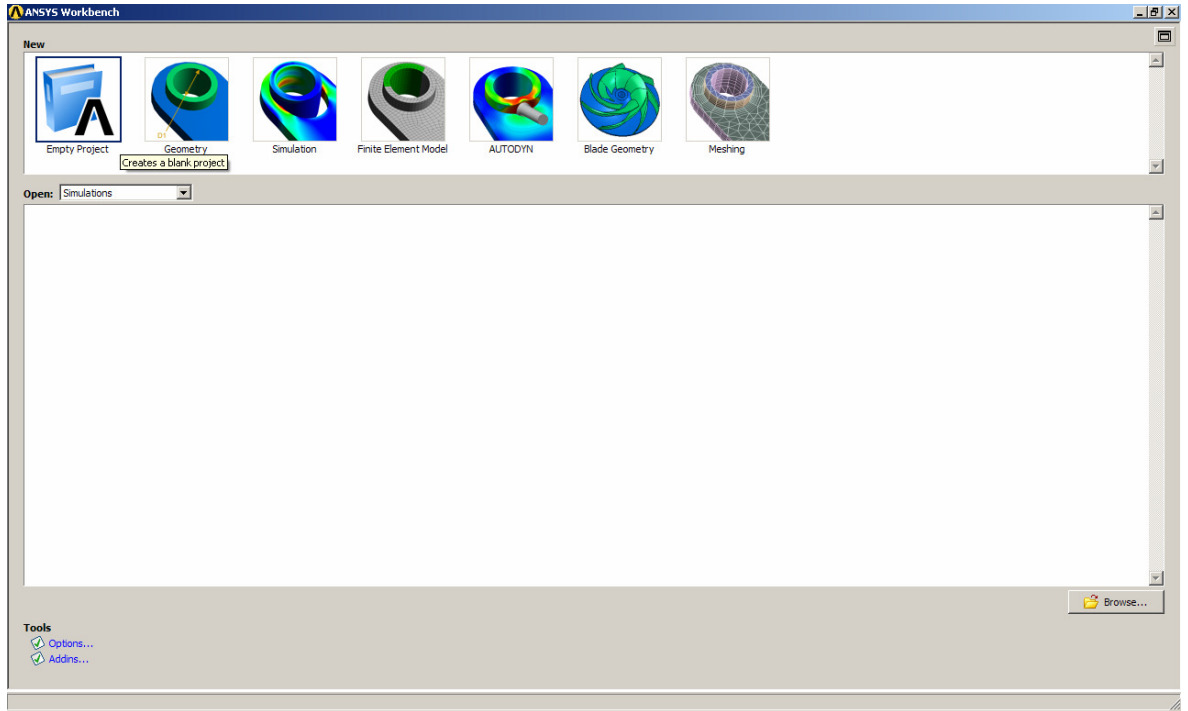
Şekil 5.5 Silindirik cisim plaka çarpışmasında etkileşim karşılaştırması

6. AUTODYN UYGULAMASI

Bu çalışma kapsamında yaklaşık 10 metre boyunda 2 metre çapında ve 20 mm et kalınlığı olan çelik bir borunun su ortamında, en alt noktasının 2 metre altında 10 kg TNT ile gerçekleştirilen patlamanın boru yapısına verdiği hasarın simülasyonu gerçekleştirilecektir. Bir paket programda çözümlenmeye başlamadan önce modelin sağlıklı bir şekilde kurulmuş olması gereklidir. Adım adım uygulama detayları gösterilecektir.

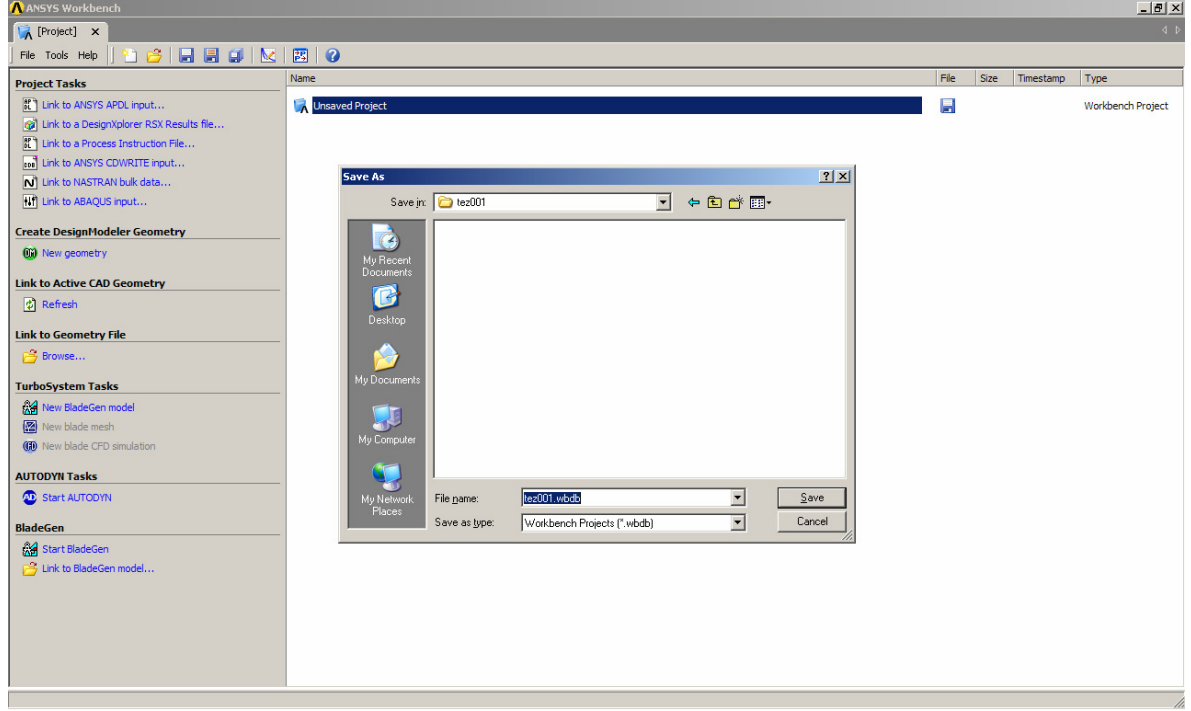
6.1 Cad Modeli Oluşturma

Simülasyonda kullanılacak olan model eğer basit bir geometri ise koordinat eksenleri kullanılarak AutoDYN içinde modellenbilir. Fakat eğri yüzeyler, girinti çıkıntılar gibi zor formlara sahip bir geometri ise daha önce tasarlanmış oldukları programdan aktarım yoluyla alınıp simülasyonda kullanılabilirler. Burada kullanılacak olan model silindirik bir boru olduğundan Ansys Workbench'in kendi modelleyicisi kullanılarak modellenmiştir. Öncelikli olarak yeni bir proje açılması gerekmektedir.



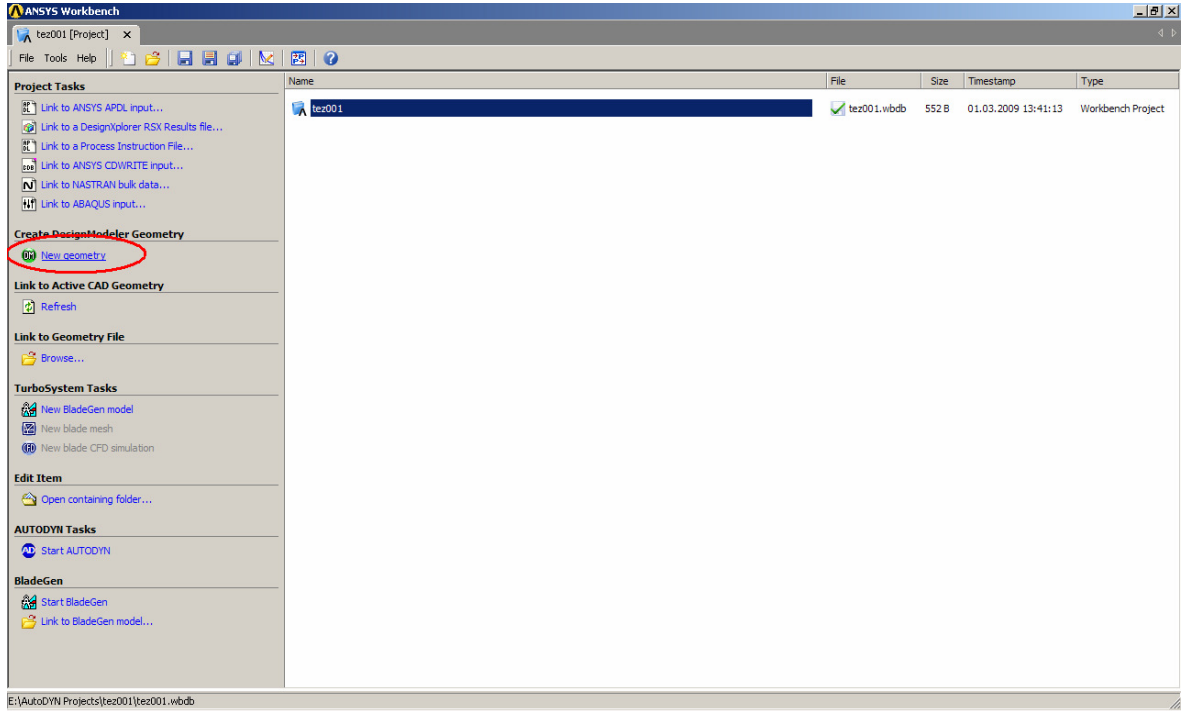
Şekil 6.1 Ansys Workbench'te yeni bir proje açılması

Açılan proje bilgisayar üzerinde herhangi bir dizinde kaydedilir.



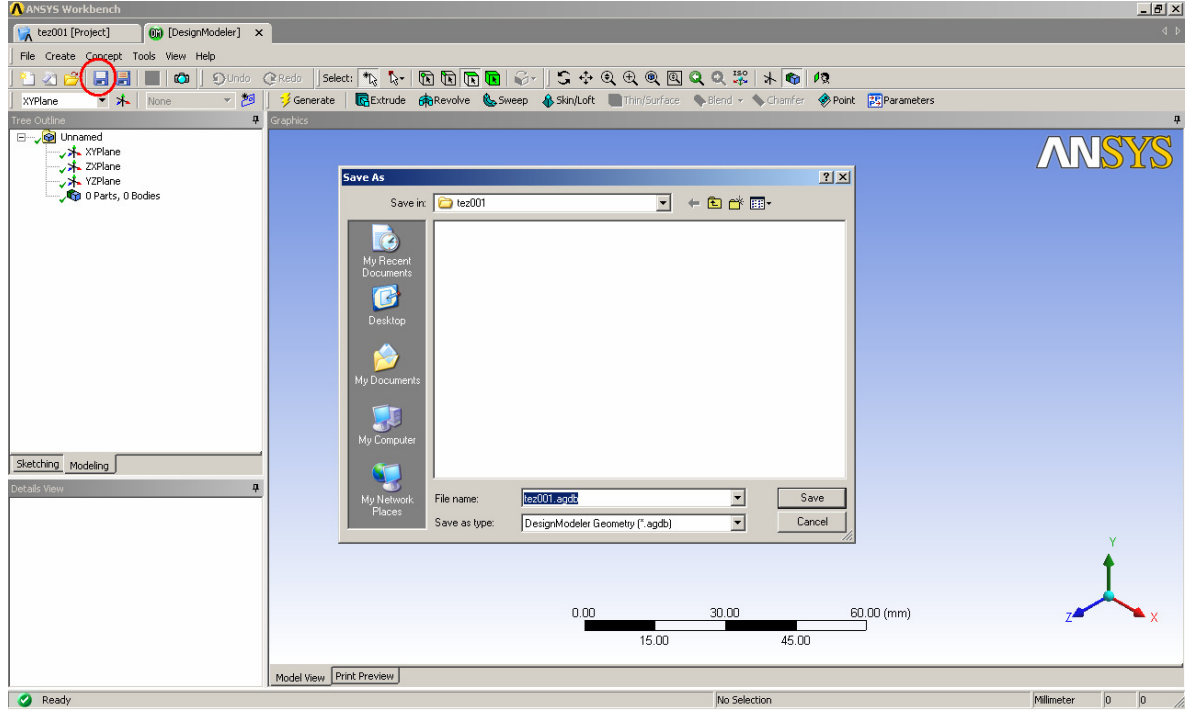
Şekil 6.2 Projenin istenilen bir dizinde kaydedilmesi

Proje açıldıktan sonra modelleme işiyle sürece başlanır. Kullanılacak olan parça modeli programın kendi modelleyicisi ile modelleneceğinden ekranında solunda modelleme bağlantısı kullanılarak modelleme ekranına geçiş yapılır.



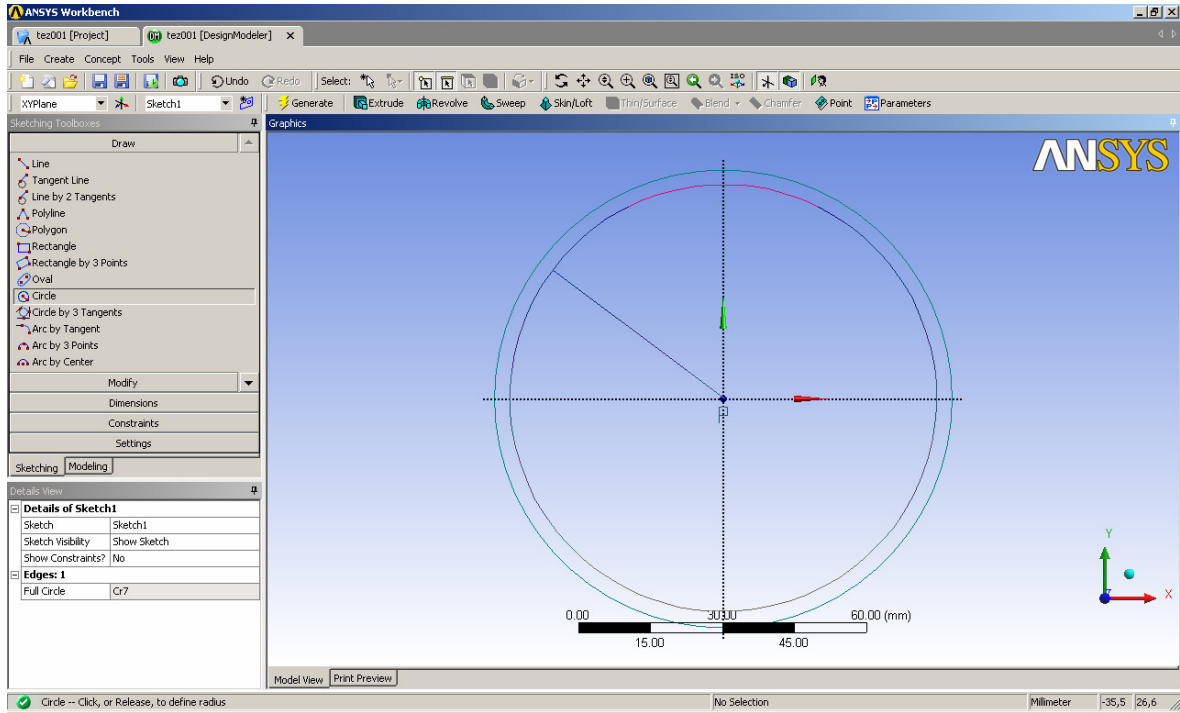
Şekil 6.3 Ansys Workbench'te modelleme uygulama ekranına geçiş

Oluşturulacak olan model projeden bağımsız olarak ayrıca kaydedilmesi gereken bir nesnedir. Yine proje klasörü seçilerek model kaydedilir.



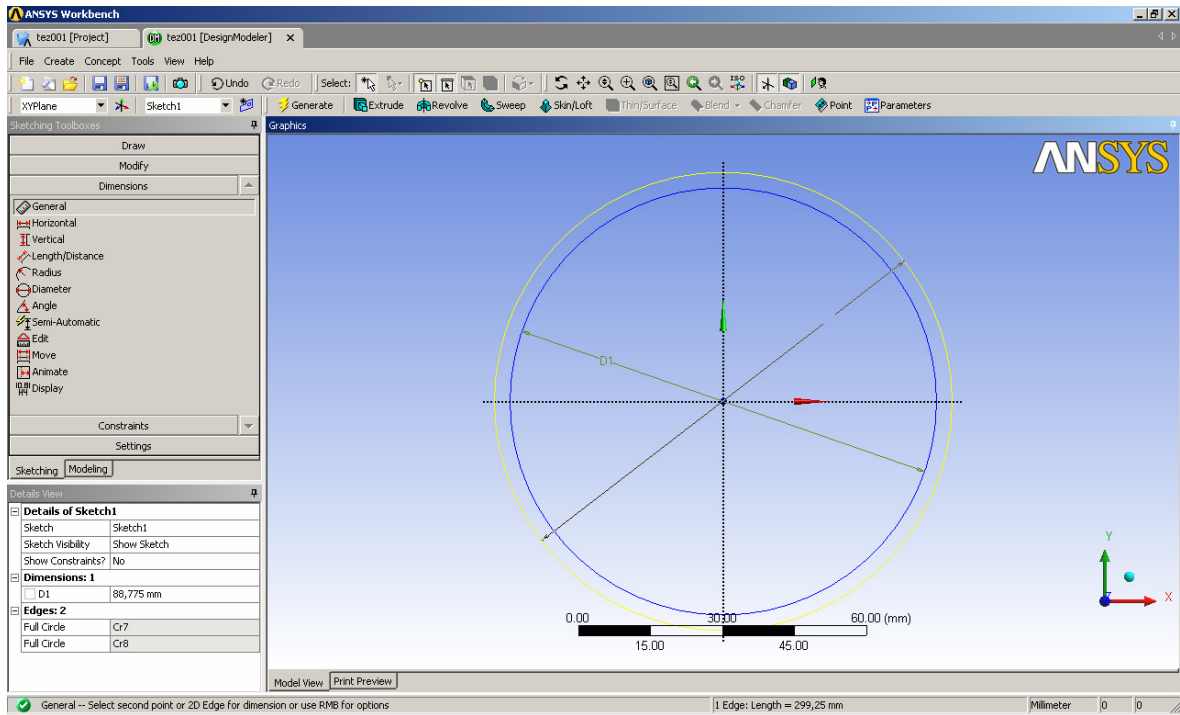
Şekil 6.4 Modelin proje klasöründe kaydedilmesi

Çizim yapılacak olan düzlem soldaki gezgin alanından seçilerek “Sketching” moduna geçilir. “Circle” komutu kullanılarak ekranda iç içe iki adet çember çizilir.



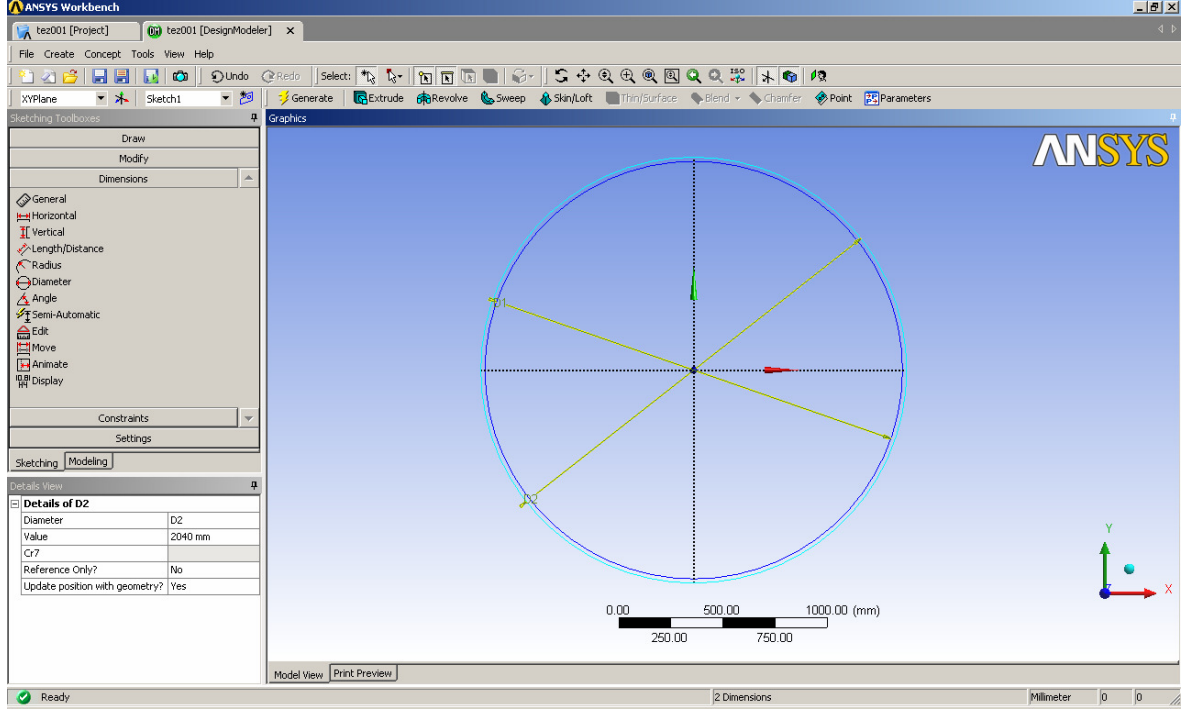
Şekil 6.5 Parçanın sketch çalışması

Çizilen çemberler ölçüsüz olarak ilk aşamda çizilir ve sonrasında “Dimensions” ekranından “General” komutu kullanılarak dıştaki ve içteki çemberlerin üzerlerine tıklanır ve onlara birer ölçü parametresi eklenmiş olur.

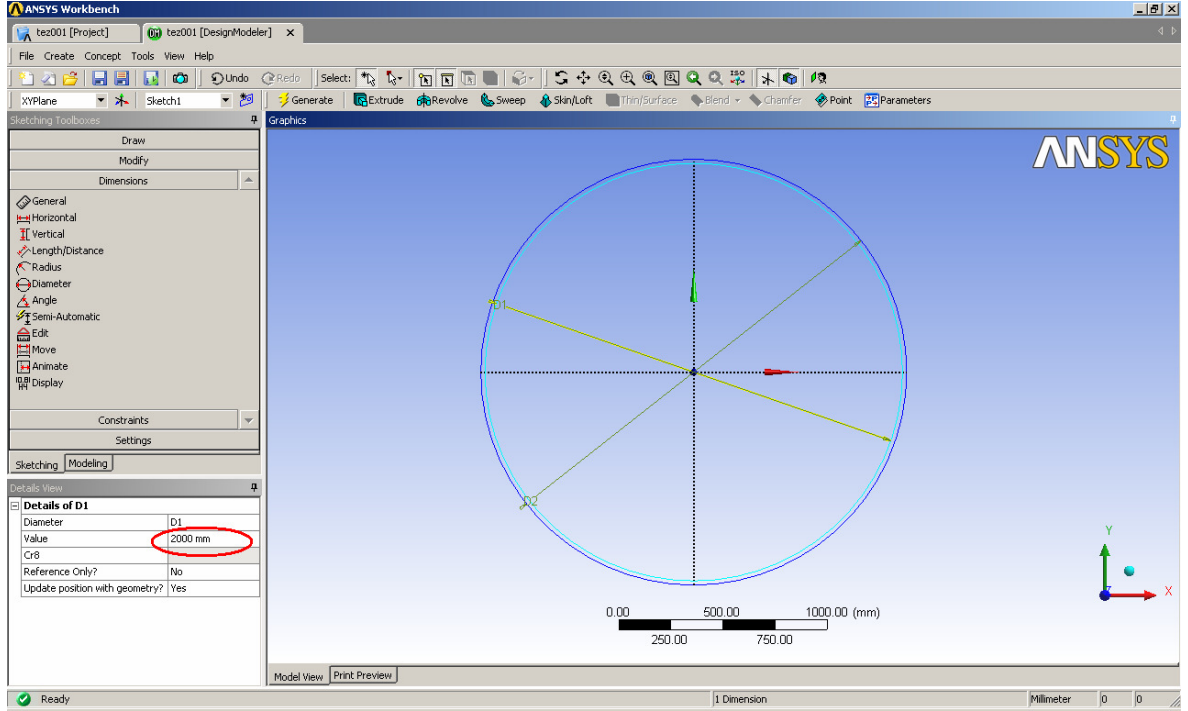


Şekil 6.6 Oluşturulan sketch'te ölçü verilecek alanların belirlenmesi

Ölçü parametreleri eklendikten sonra sayısal olarak dıştaki çembere verilmek istenen değer alttaki “D1” alanına “2040 mm” yazılarak kaydedilir. Aynı işlem içteki çember için “2000 mm” yazarak tekrarlanır.

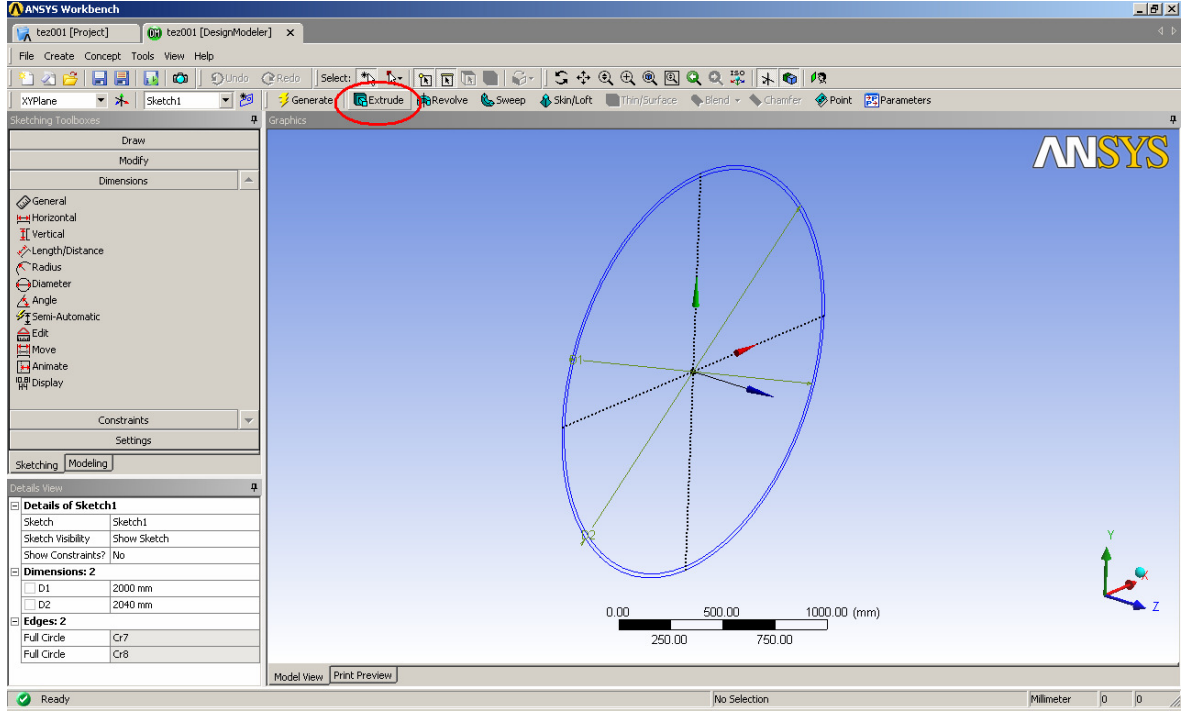


Şekil 6.7 Dış çemberin ölçülendirilmesi



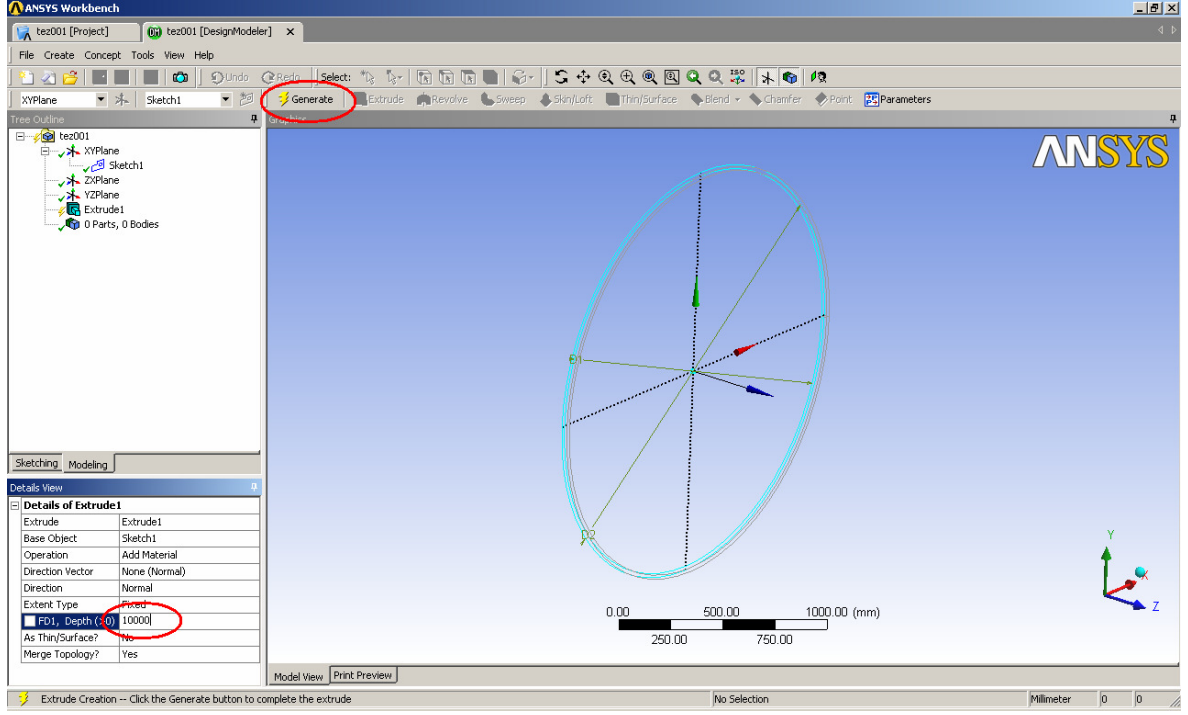
Şekil 6.8 İç çemberin ölçülendirilmesi

Çizilen iki boyutlu sketch hazır hale getirildikten sonra üçüncü boyuta geçmek için üst araç çubuklarında bulunan “Extrude” komutu kullanılır.



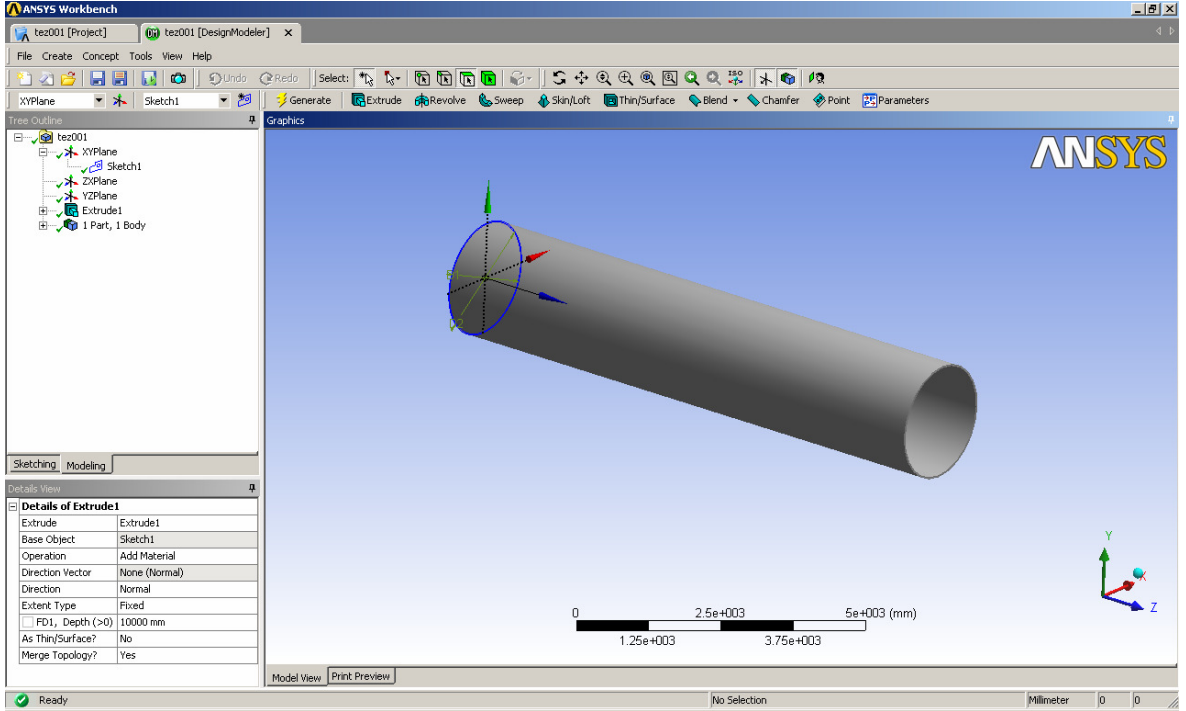
Şekil 6.9 Üçüncü boyuta geçiş için “Extrude” komutunun kullanılması

“Extrude” komutuyla birlikte üçüncü boyutta ne kadar ilerleneceği bilgisinin girilmesi gerekecektir. Sol atta bulunan “Depth” alanına “10000 mm” değeri girilir ve üstteki “Generate” komutu kullanılarak üç boyulu katı model elde edilmiş olur.



Şekil 6.10 Üçüncü boyutta ilerleme miktarının seçilmesi

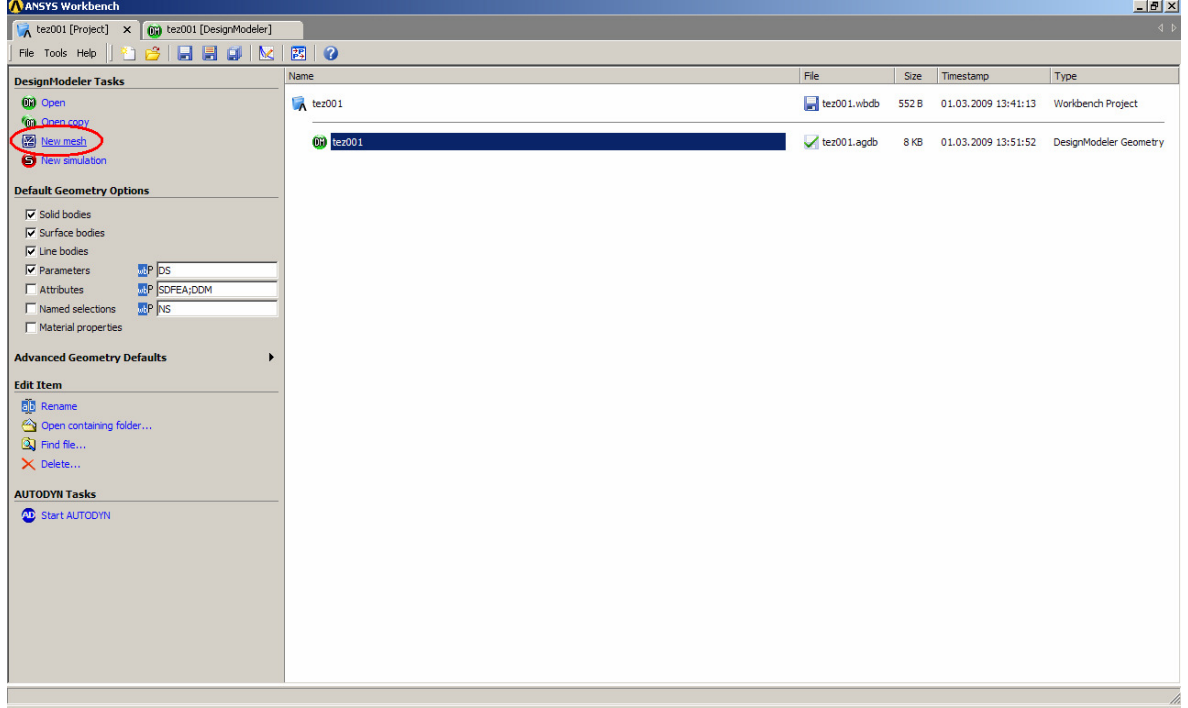
Ekranın üstünde bulunan üç boyulu sürükleme komutuyla oluşturulan model ekranda istenilen açıyla görüntülenebilir.



Şekil 6.11 Katı modelin oluşturulması

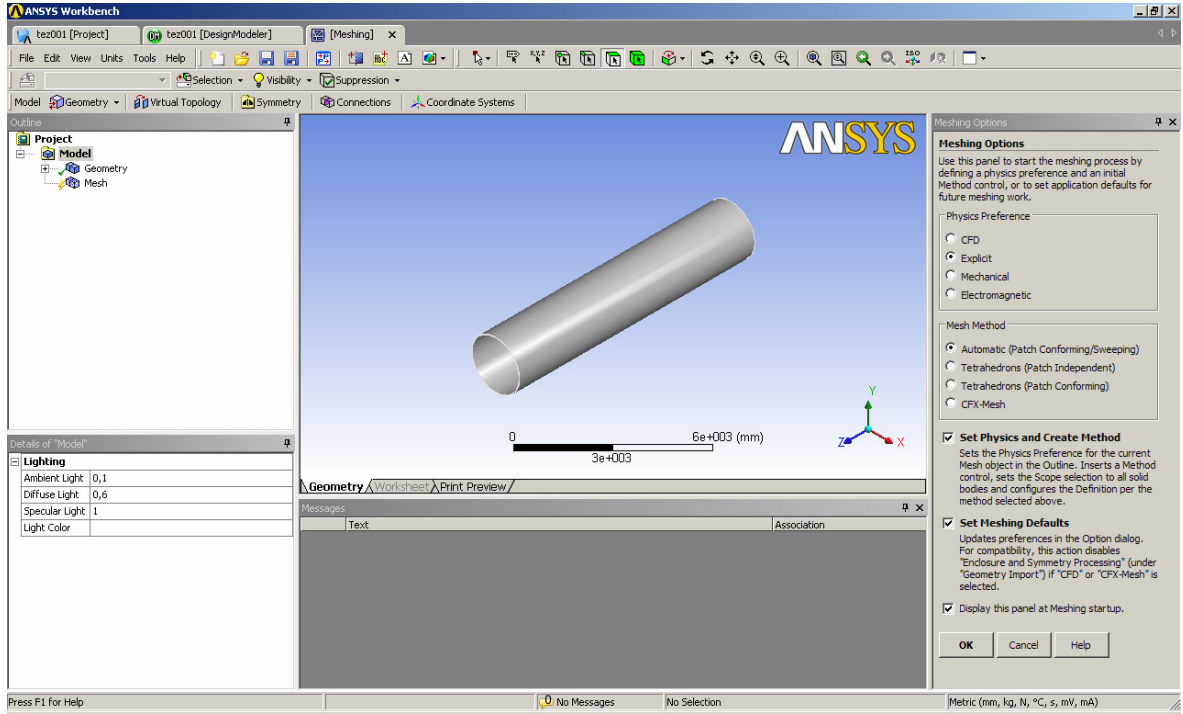
6.2 Eleman Ağ Yapısı Oluşturma

Oluşturulan üç boyulu modelin sonlu elemanlar metod ile çözümlenebilmesi için elemanlara ayrılması gerekmektedir. Ansys Workbench'in kendi mesh aracı ile bunu yapmak mümkündür. Bunun için proje ekranından meshleme modülüne geçiş yapmak gerekmektedir.



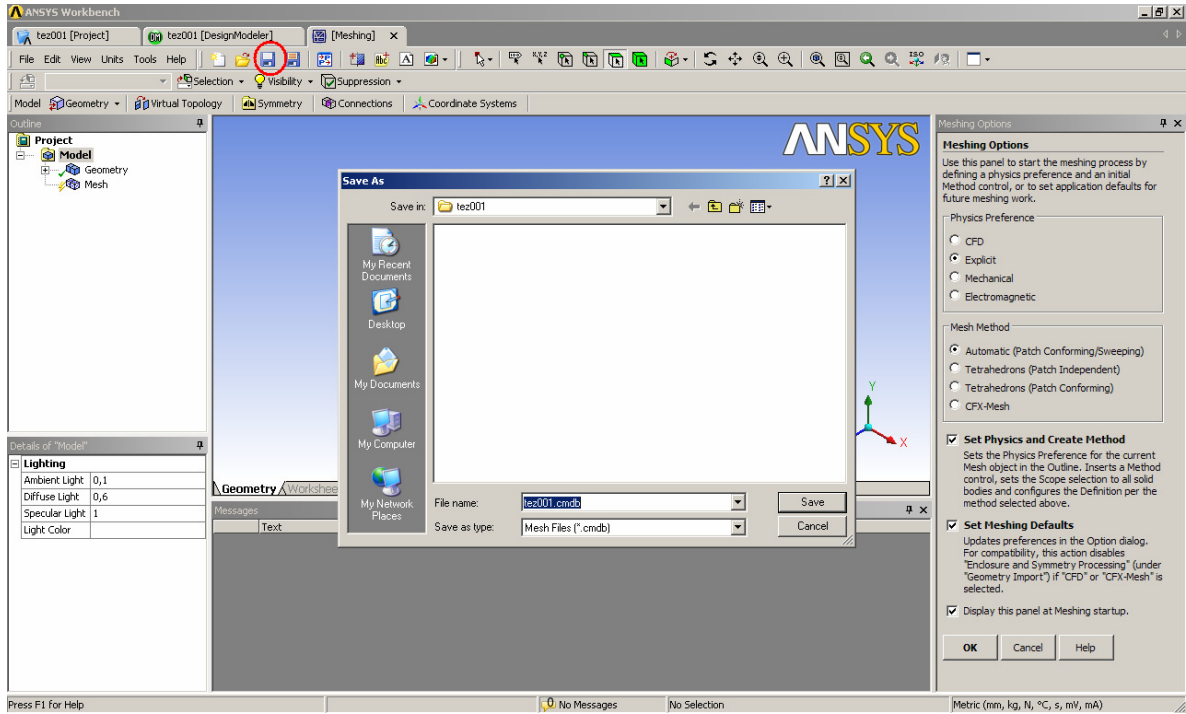
Şekil 6.12 Mesh modülüne geçiş

Model için oluşturulacak olan ağ yapısı da model ve projeden bağımsız olarak üretilecek olan bir nesnedir ve bağımsız olarak işlem görmektedir. Mesh işlemlerinin yapılacağı ekran kendi parametrelerinin seçilebildiği ayrı bir görünüme sahiptir.



Şekil 6.13 Meshleme ekranı

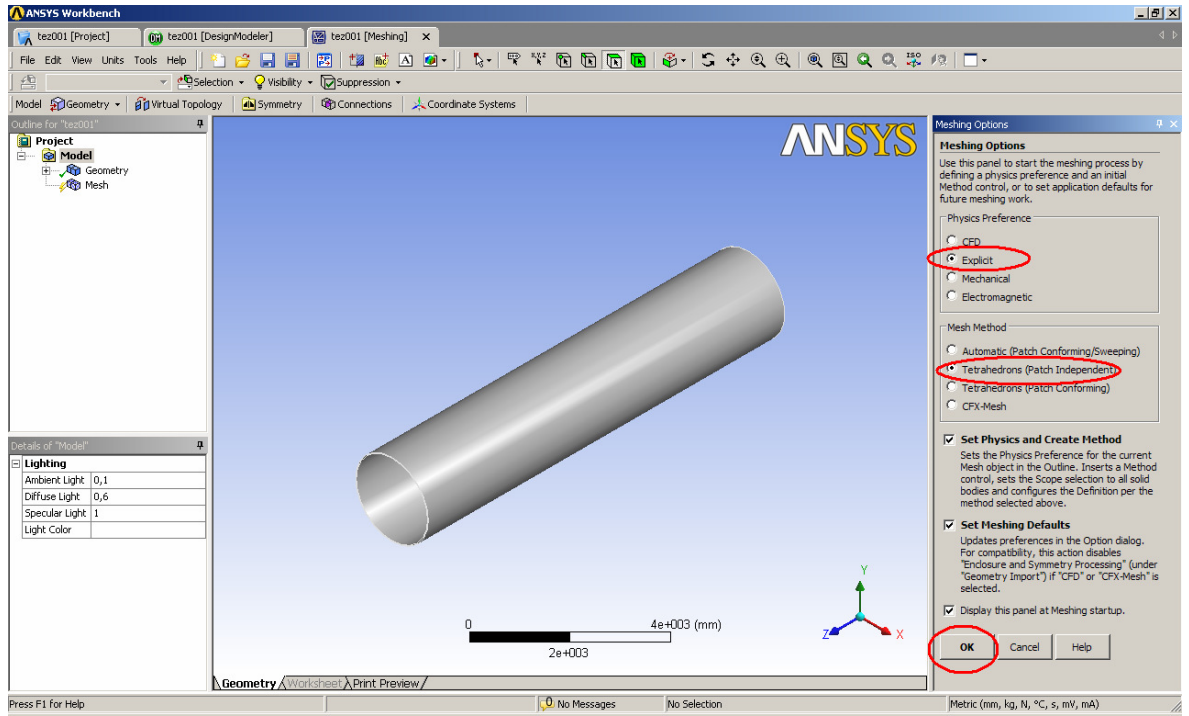
Model ve projenin ayrı ayrı kaydedildiği gibi mesh yapısının da ayrıca kaydedilmesi gerekmektedir. Projenin oluşturulduğu klasör seçilerek oluşturulacak olan mesh yapısı kaydedilir.



Şekil 6.14 Mesh yapısının bağımsız olarak kaydedilmesi

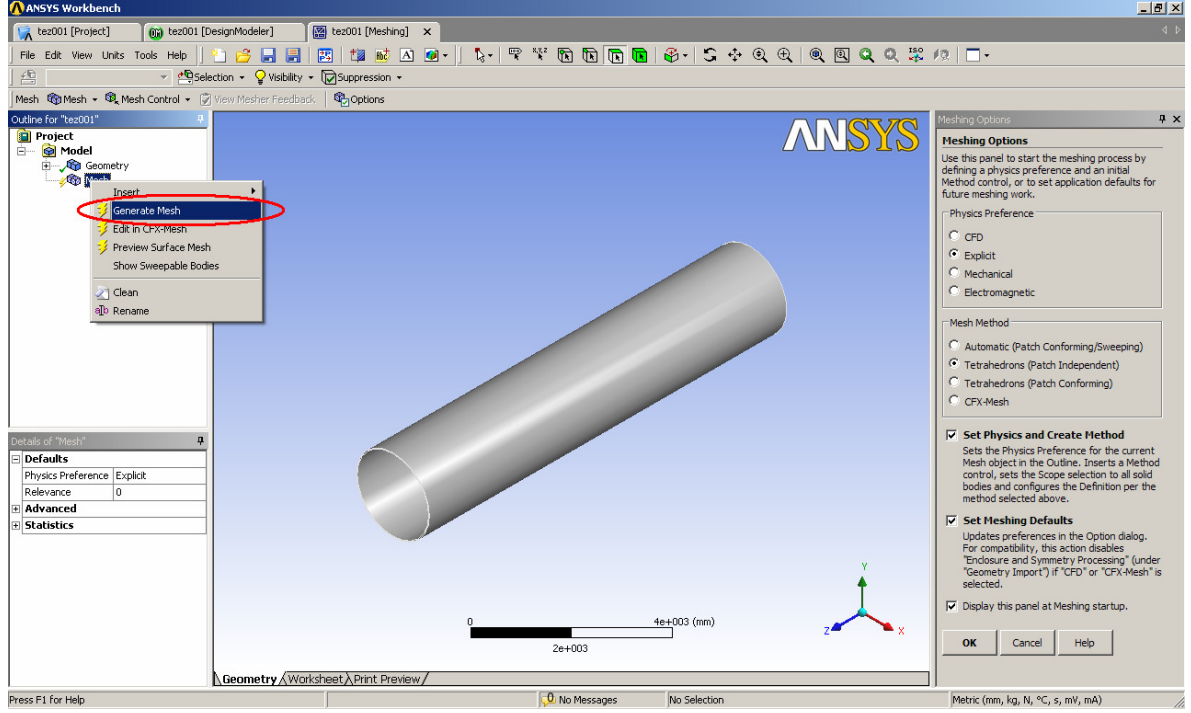
Mesh işlemi manüel olarak ayrı ayrı eleman tipleriyle yapılabildiği gibi kullanılan modele göre bilgisayarın otomatik bir eleman seçmesine de izin verilerek yapılabilir. İşleme başlarken bu parametrelerin seçilmesi gereklidir. Otomatik bir mesh işleminden sonra hassas olduğuna inanılmayan zor geometriler için ayrıca bölgesel iyileştirmeler yapmak mümkündür. Tabii bütün bu iyileştirmeleri modelin bütün bölgelerinde uygulamak modeli çözümlerken bilgisayar işlemcisini oldukça zorlayacaktır. Sadece hassasiyet istenen noktalarda iyileştirme yapmak en optimum yöntemdir.

Bu uygulamada kullanılan model basit bir geometrik model olduğundan manüel meshleme işlemine gerek duyulmamıştır. Başlangıç parametreleri olarak ekranın solunda yer alan “Explicit”, “Tetrahedrons” seçenekleri seçilerek onaylanır.



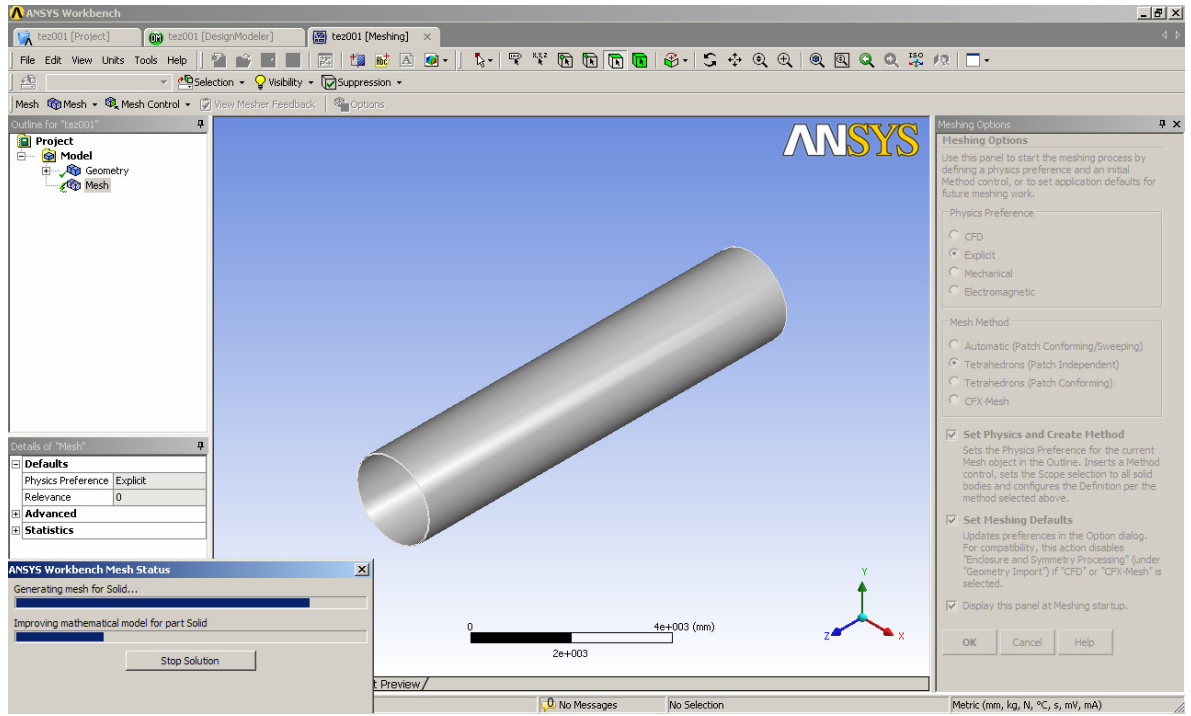
Şekil 6.15 Mesh parametrelerinin seçimi

Meshleme işlemi başlatmak için ekranın solunda bulunan “Mesh” ikonuna sağ tıklayarak “Generate Mesh” demek yeterlidir.



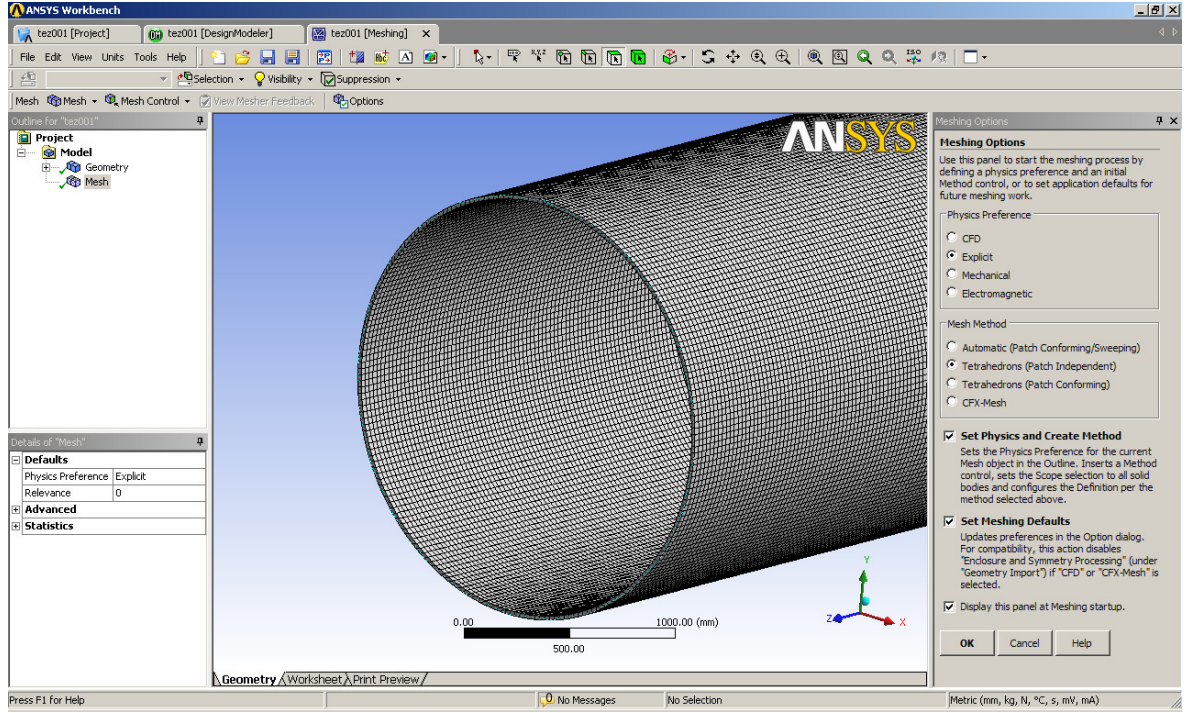
Şekil 6.16 Mesh işleminin başlatılması

Geometrinin büyüklüğü, sahip olduğu girinti, çıkıntı ve zor uçlara göre modelin meshlenmesi zaman alabilmektedir. Meshleme işleminin durumu aşağıdaki ekrandan takip edilebilir.



Şekil 6.17 Mesh işleminin durum takibi

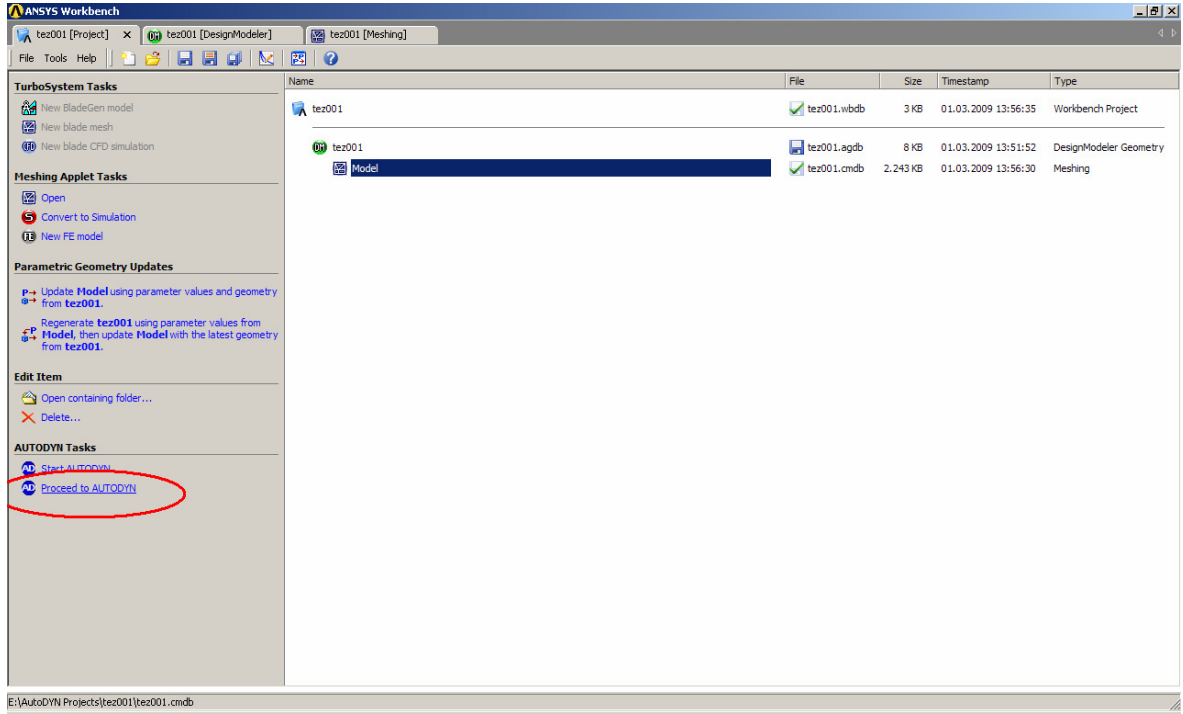
Mesheleme işlemi bittikten sonra model üzerindeki ağ yapısı yakınlaşarak rahatça görülebilir.



Şekil 6.18 Model üzerindeki ağ yapısının görüntülenmesi

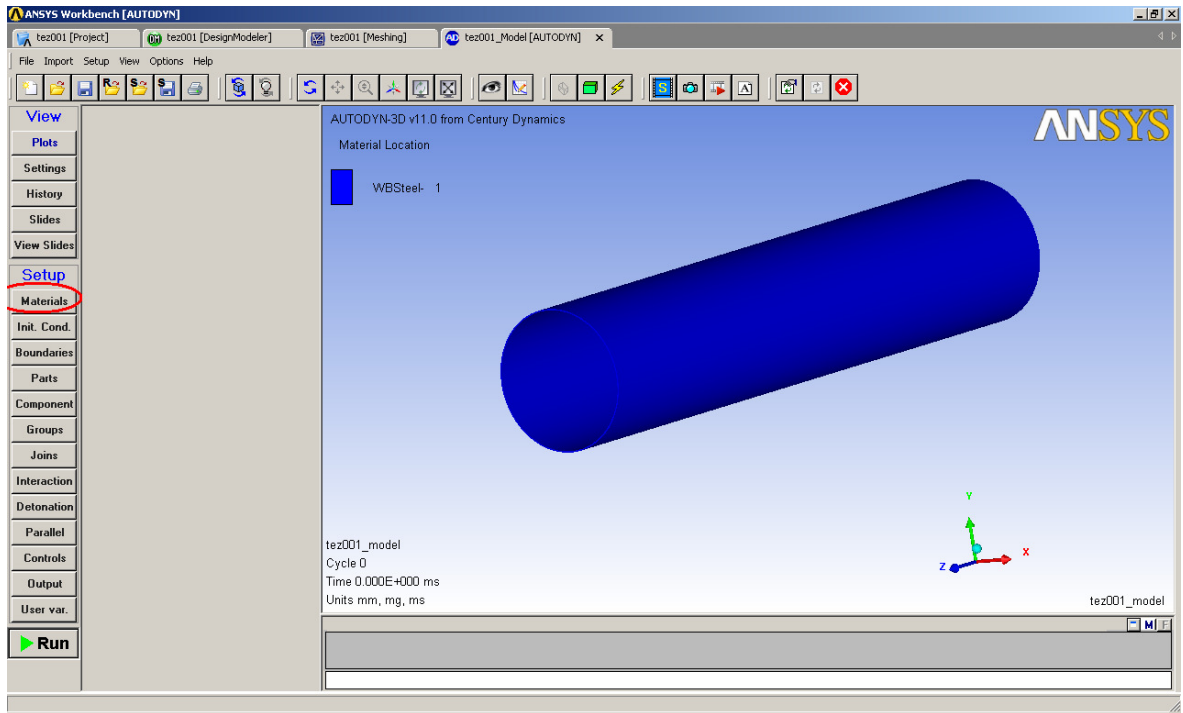
6.3 Non-Linear Dinamik Analiz

Mesh işlemi bittikten sonra ilgili dinamik modelin kurulacağı ekrana geçilebilir. Ansys Workbench içinde yer alan Autodyn modülü non lineer dinamik problemlerin çözdürüldüğü bir modelleyici ve çözücüdür.



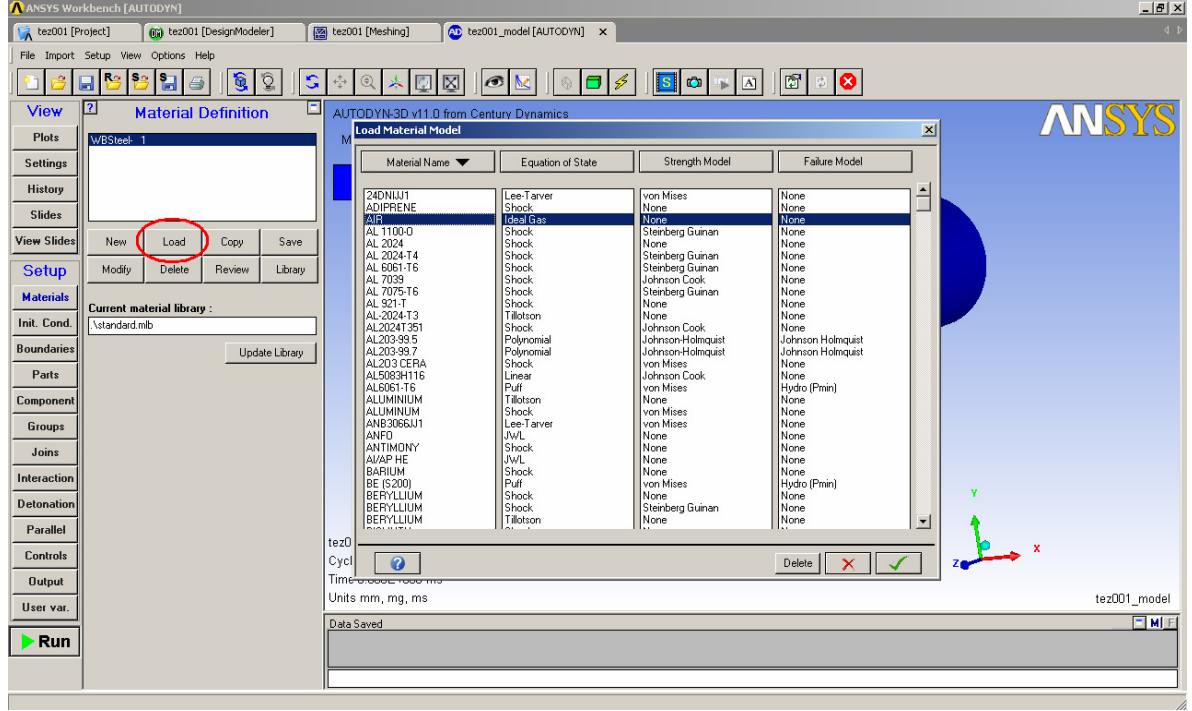
Şekil 6.19 Autodyn'e modülüne geçiş

Autodyn modülünde çalışmaya başlamadan önce kurulacak modelde kullanılacak olan malzemeler seçilir.



Şekil 6.20 Autodyn giriş ekranı

Autodyn'in kendi malzeme kütüphanesinde onlarca malzeme modeli bulunmaktadır. Burada bulunamayan bir malzeme olması durumunda ise kullanıcı tarafından fiziksel özellikleri girilerek yeni malzemeler tanımlanabilmektedir. Mevcut çalışmada Steel 1006, Water, Air ve TNT malzemeleri seçilerek simülasyon ortamına aktarılmıştır. Malzemelerin fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 6.21 Autodyn malzeme seçim ekranı

- Çelik (Steel 1006) ;

Yoğunluk : 7.896000 gr/cm^3

Durum denklemi : Shock

Grüneisen Katsayısı : 2.17000

Özgül Isı : 451.999969 J/kgK

Referans Sıcaklık : 300 K (LA-4167-MS. May 1 1969. Selected Hugoniots: EOS 7th Int. Symp. Ballistics. Johnson & Cook)

- Hava (Air) ;

Yoğunluk : 0.001225 gr/cm^3

Durum denklemi : Ideal gas

Gamma : 1.40000

Referans Sıcaklık : 288.200012 K

Özgül Isı : 717.599976 J/kgK ("Thermodynamic and Transport Properties of Fluids, SI Units", GFC Rogers, YR Mayhew)

- Su (Water)

$A_1 : 2.2 \times 10^9 \text{ Pa}$

$A_2 : 9.54 \times 10^9 \text{ Pa}$

$A_3 : 1.457 \times 10^{10} \text{ Pa}$

$B_0 : 0.28$

$B_1 : 0.28$

$T_1 : 2.2 \times 10^9 \text{ Pa}$

$T_2 : 0$

$\rho : 1000 \text{ kg/m}^3$ (AFATL-TR-84-59. June 1984. Matuska D.A. HULL Users Manual)

- TNT

Yoğunluk : 1.630000 gr/cm³

Durum denklemi : JWL

A Parametresi : 3.737700e+008 kPa

B Parametresi : 3.747100e+006 kPa

R1 Parametresi : 4.150000

R2 Parametresi : 0.900000

W Parametresi : 0.350000

C-J Detonasyon hızı : 6.930000e+003 m/s

C-J Eneerji / birim hacim : 6.000000e+006 kJ/m³

C-J Basıncı : 2.100000e+007 kPa (JWL Equations of State Coeffs. for High Explosives Lee Finger & Collins. UCID-16189. January 1973)

Simülasyon malzemelerinden suyun (water) durum denklemi aşağıdaki gibidir:

$u > 0$ (sıkıştırma)

$$p = A_1.u + A_2.u^2 + A_3.u^3 + (B_0 + B_1.u).\rho_0.E \quad (6.1)$$

$u < 0$ (gerilme)

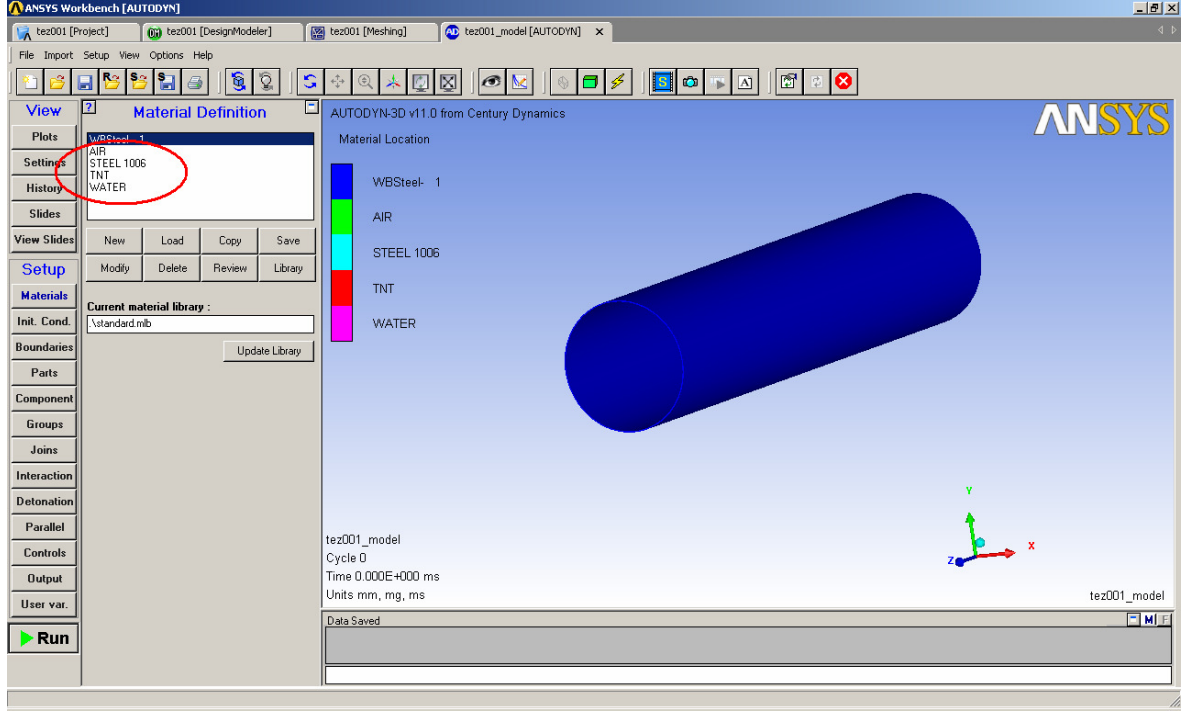
$$p = T_1.u + T_2.u^2 + B_0.\rho_0.E \quad (6.2)$$

Bu formüllerde $u = \rho / \rho_{ref} - 1$ 'dir. Geriye kalan $A_1, A_2, A_3, B_0, B_1, T_1, T_2$ katsayıları Autodyn kütüphanesinde yer alan "Water" için durum denklemi sabitleri olarak alınmıştır.

Suyun iç enerjisini hesabında da aşağıdaki formül kullanılır :

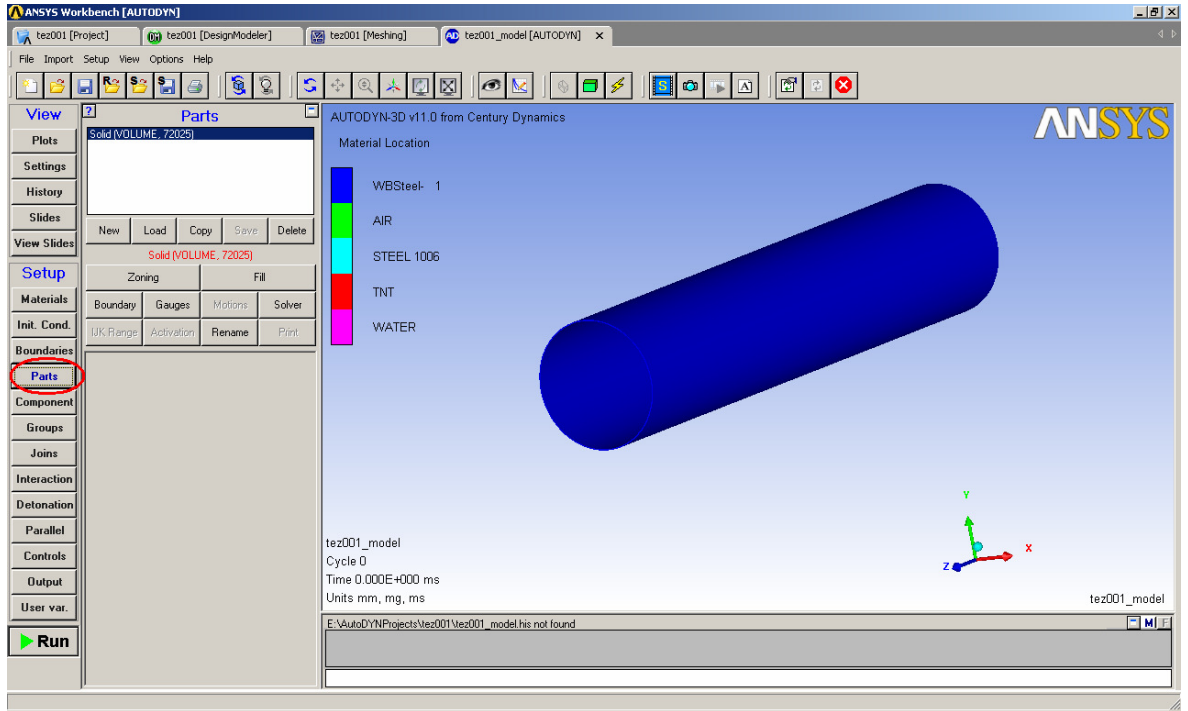
$$E = (\rho.g.h + p_0) / (\rho.B_0) \quad (6.3)$$

Autodyn ortamına Ansys'in modelleyici ekranında geçildiğinde çizilmiş olan katı modeller için herhangi bir malzeme seçimi yapılmadıysa yapısal çelik malzemesinin seçildiği görülür. Bu malzemenin simülasyon ortamından çıkarılması gerekir. Fakat mevcut ortamda bulunan parçanın malzemesi bu yapısal çelik olduğundan öncelikle parçanın malzemesi seçilmiş olan Steel 1006 yapıldıktan sonra kullanılmayacak olan malzemenin silinmesi gereklidir.



Şekil 6.22 Simülasyon malzemelerinin yönetilmesi

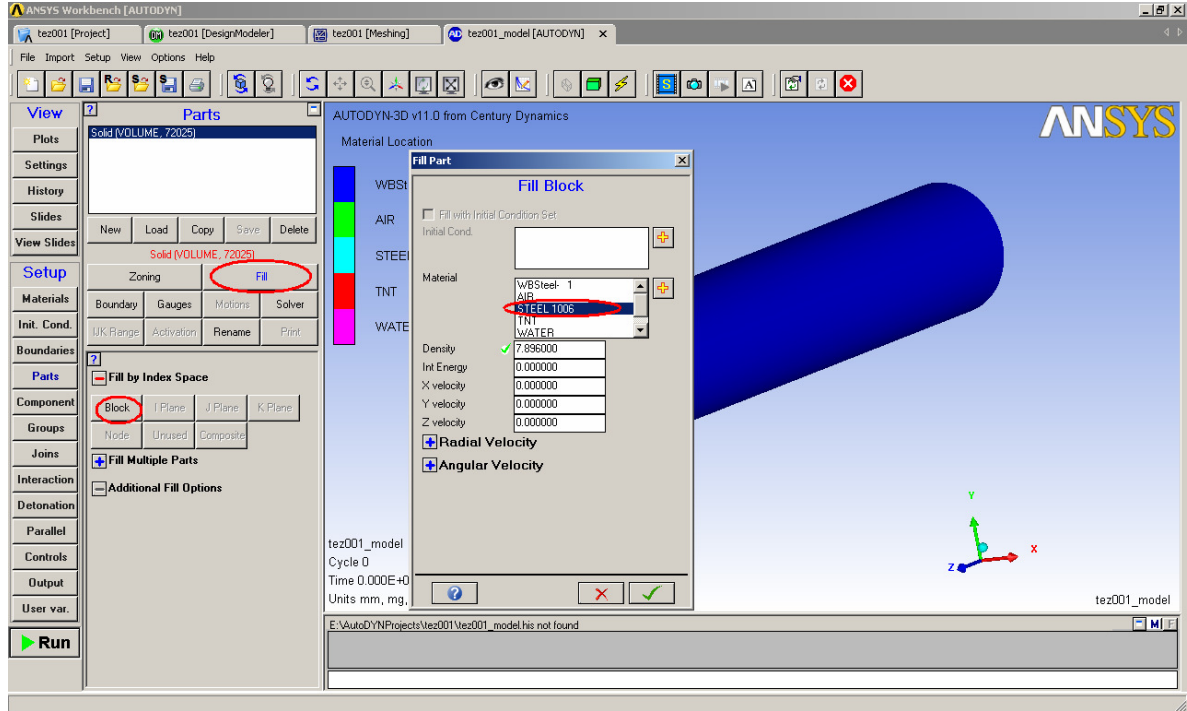
Simülasyona katılan parçaların malzemelerinin değiştirilmesi için ekranın solunda bulunan parça ekranına girilir.



Şekil 6.23 Simülasyon parçaları

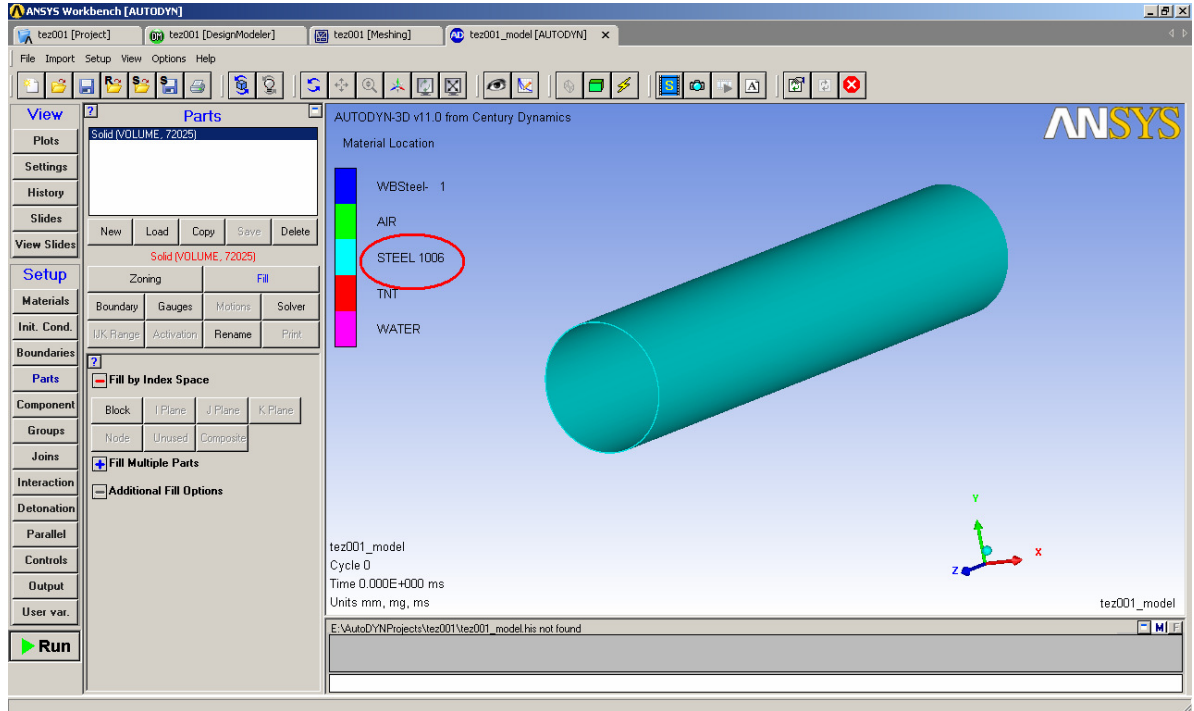
Ortamda sadece workbench modelleme modülünden gelen katı model olduğu için ekranın üstünde sadece bir adet solid parça ismi görülmektedir.

Parça ekranında doldurma komutu kullanılarak yapının tamamını ifade eden “block” seçeneği seçildiğinde simülasyona katılan malzemelerden herhangi biri seçilerek parçaya doldurulabilir. Bu çalışmada silindirik boru için Steel 1006 malzemesi seçildiğinden ekrandan bu malzeme seçilerek onaylanır.



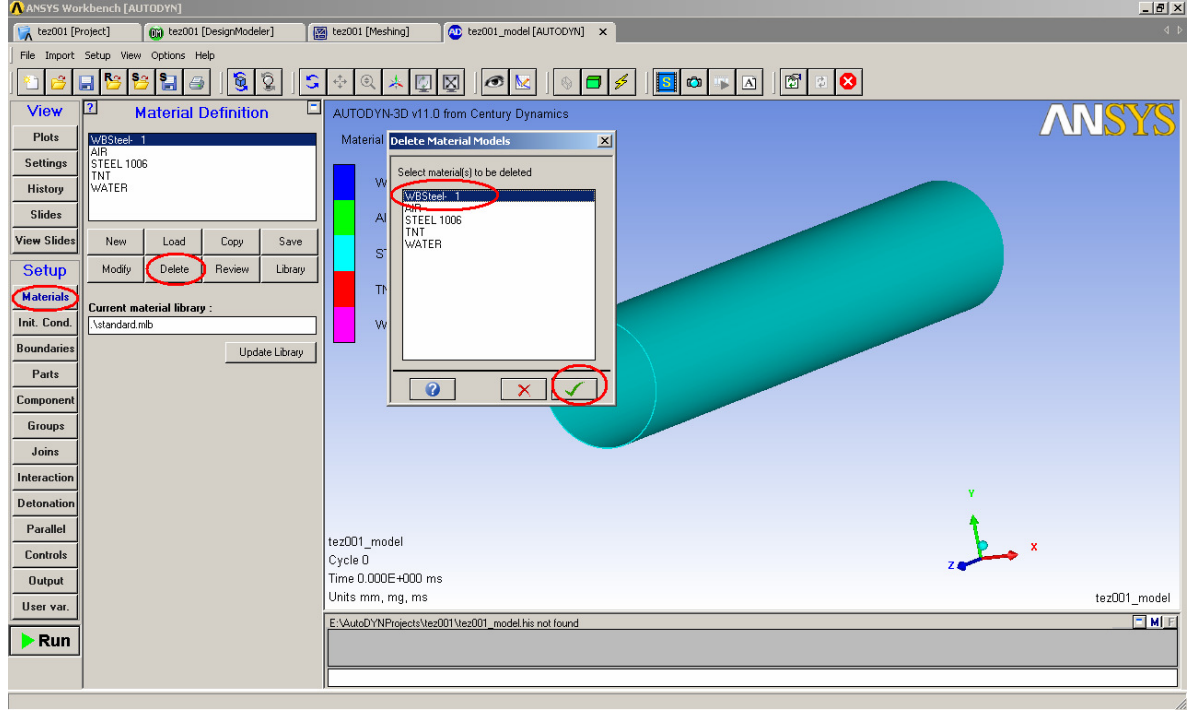
Şekil 6.24 Parça malzemesinin yenilenmesi

İlgili malzemenin parçanın yapısına doldurulduğundan emin olmak için ana ekranda soda bulunan malzeme göstergesinden o malzeme için hangi rengin kullanıldığı kontrol edilebilir. Bu çalışmada seçilen Steel 1006 malzemesine sistemin vermiş olduğu renk ile ekranda gözükten silindirik boru modelinin aynı renk olduğu görülebilir.



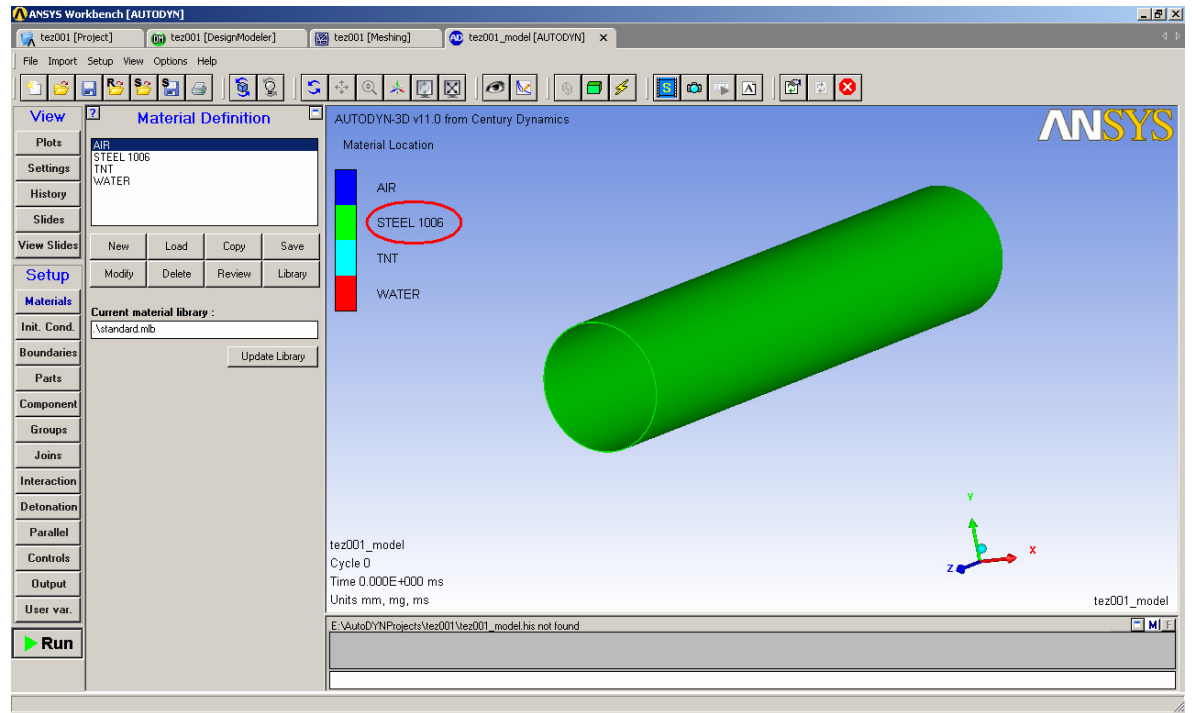
Şekil 6.24 Değişen malzemenin gösterimi

Bu aşamadan sonra kullanılmayacak olan malzeme simülasyon ortamından silinir. Bunun için ekranında solunda malzemeler ekranına geçilir. Silme komutuyla açılan ekrandan simülasyon ortamında bulunan malzemelerin listesi ekrana gelir. İstenilen malzeme seçilip onaylandığında malzeme ortamdan silinmiş olur.



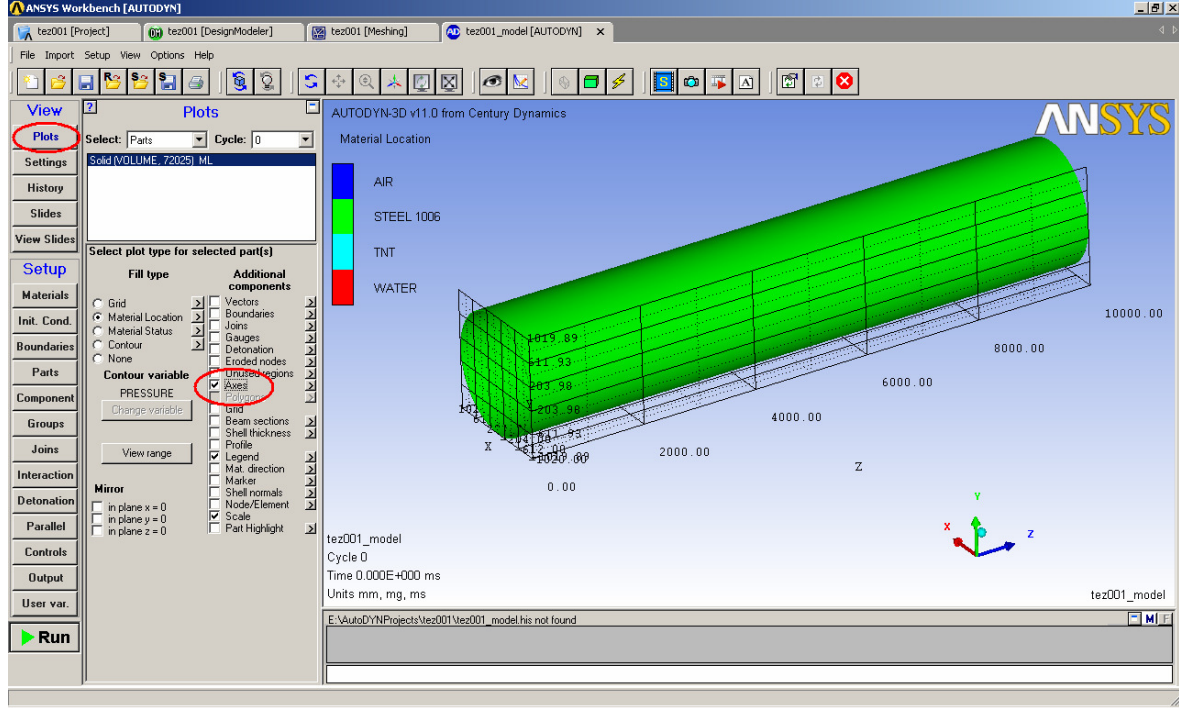
Şekil 6.25 Kullanılmayan malzemenin simülasyon ortamından silinmesi

Ortamdaki malzeme sayısı değiştiğinden sistemin malzemelere verdiği renkler de değişir. Yapılan değişiklik yine renk cetveline bakılarak ekrandaki modeli rengiyle kontrol edilebilir.



Şekil 6.26 Sistemin malzemelere verdiği renklerle parçanın malzeme kontrolü

Malzemelerle ilgili olarak bundan başka bir düzenleme yapmak gerekmemektedir. Ekranda bulunan modelin gerçek eksenleri ve ölçülerini görüntüleyerek çevresel ortam oluştururken bu sayılardan yararlanmak gerecektir. Bunun için ekranın solunda bulunan “Plots” ekranından “Axes” seçeneği seçildiğinde seçilmiş olan modele ait eksenler ve büyüklükler görüntülenmektedir.

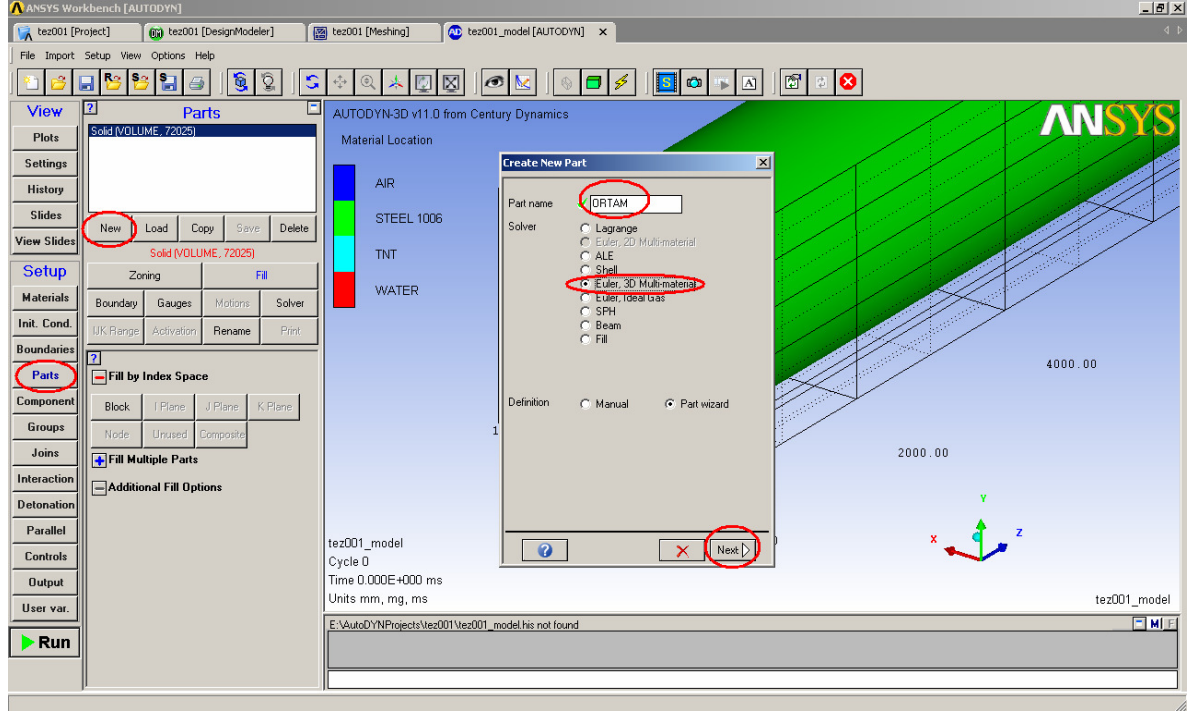


Şekil 6.27 Modelin eksen ve büyüklüklerinin gösterimi

Modelleme yapılırken seçilen büyüklüklerin doğruluğu bu şekilde eksenlerin görüntülenmesiyle teyit edilir.

Bu aşamadan sonra silindirik borunun içinde bulunacağı ortamın da simülasyona parça olarak katılması gerekmektedir.

Bu çalışmada su ve hava ortamı tek bir parça halinde fakat çok malzemeli olarak modellenmiştir. Silindirik boru yapısının patlama ile deformasyona uğramasıyla su ve gerekiyorsa hava ortamında akarak ilerlemesi için ortam Euler modelleyicisi ile modellenmiştir.



Şekil 6.28 Ortamın modellenmesi

Silindirik boruyu tamamen kapsaması için ortamın büyüklükleri aşağıdaki gibi seçilmiştir :

X eksen başlangıç noktası : -5000 mm

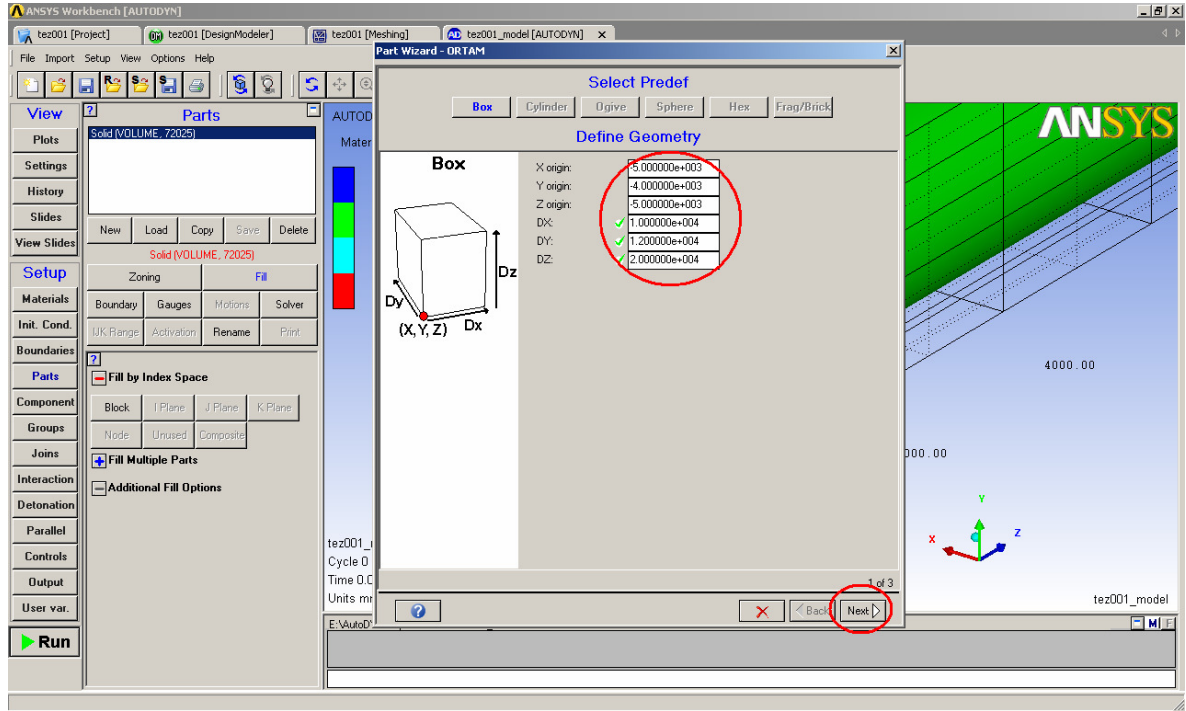
X eksenindeki büyüklük : 10000 mm

Y eksen başlangıç noktası : -4000 mm

Y eksenindeki büyüklük : 12000 mm

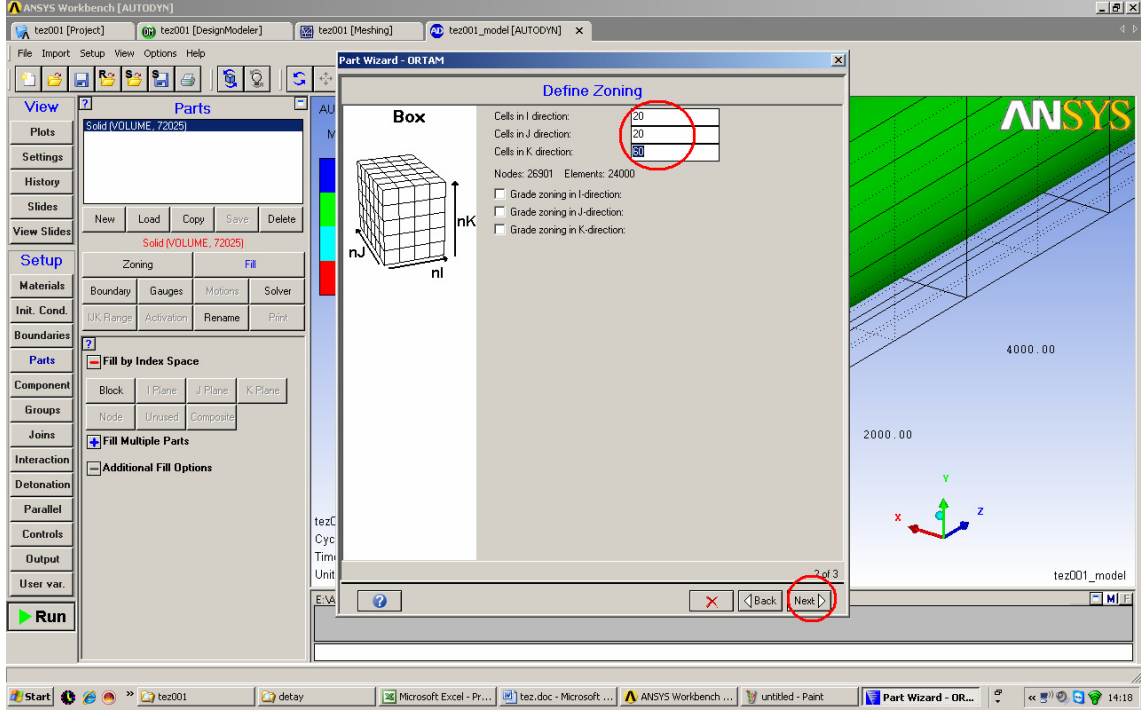
Z eksen başlangıç noktası : -5000 mm

Z eksenindeki büyüklük : 20000 mm



Şekil 6.29 Ortamın sayısal büyüklükleri

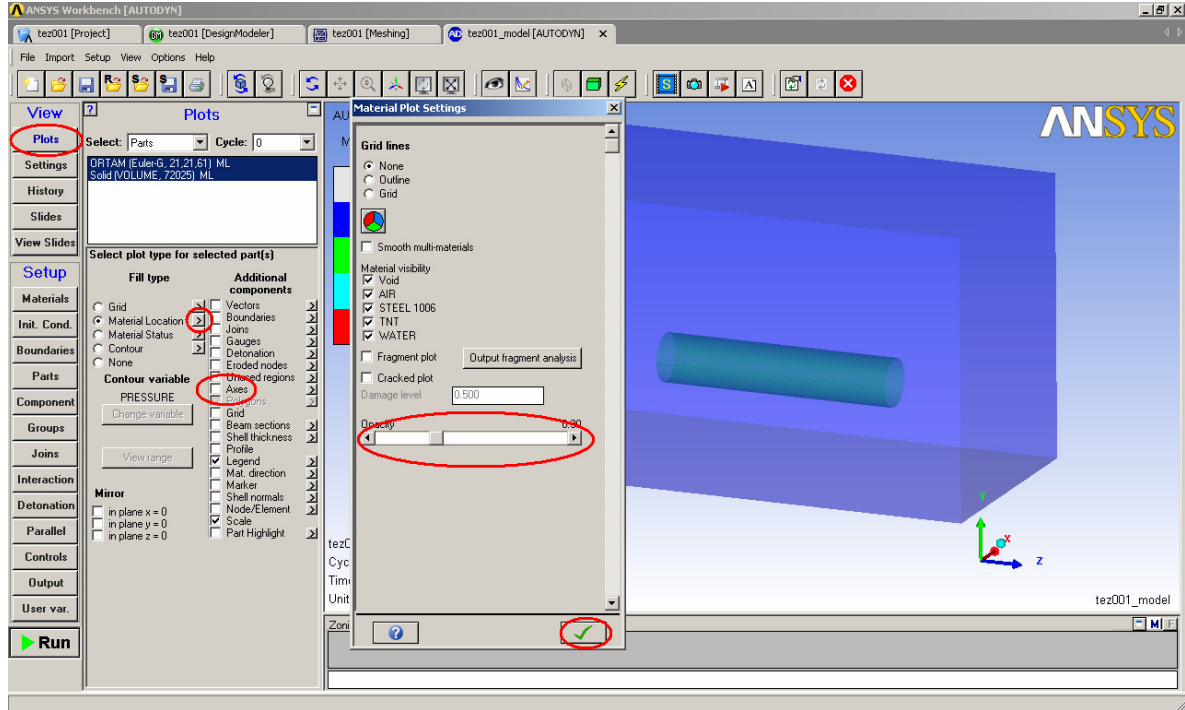
Oluşturulacak olan ortam modelinde kaç adet eleman olacağı oluşturulmadan önce seçilmektedir. Eksen başına bir değer girilerek bu sayılar kaydedilir. Bu çalışmada X eksenini için 20 eleman, Y eksenini için 20 eleman ve Z eksenini için de 60 eleman kullanılmıştır. Dolayısıyla toplamda 26901 düğüm noktası ve 24000 elemandan oluşan bir ortam modellenmiştir.



Şekil 6.30 Ortamın eleman sayısının eksenlere göre seçimi

Ortam tek parça halinde çok malzemeli bir parça olarak modellendiğinden öncelikle tamamı hava ile doldurulup sonrasında alt kısmı için su doldurulma uygulaması yapılmıştır. İlerlenen pencerede karşılaşılan simülasyon malzemelerinden hava seçilerek iç enerji kısmına 2.068E5 değeri girilir.

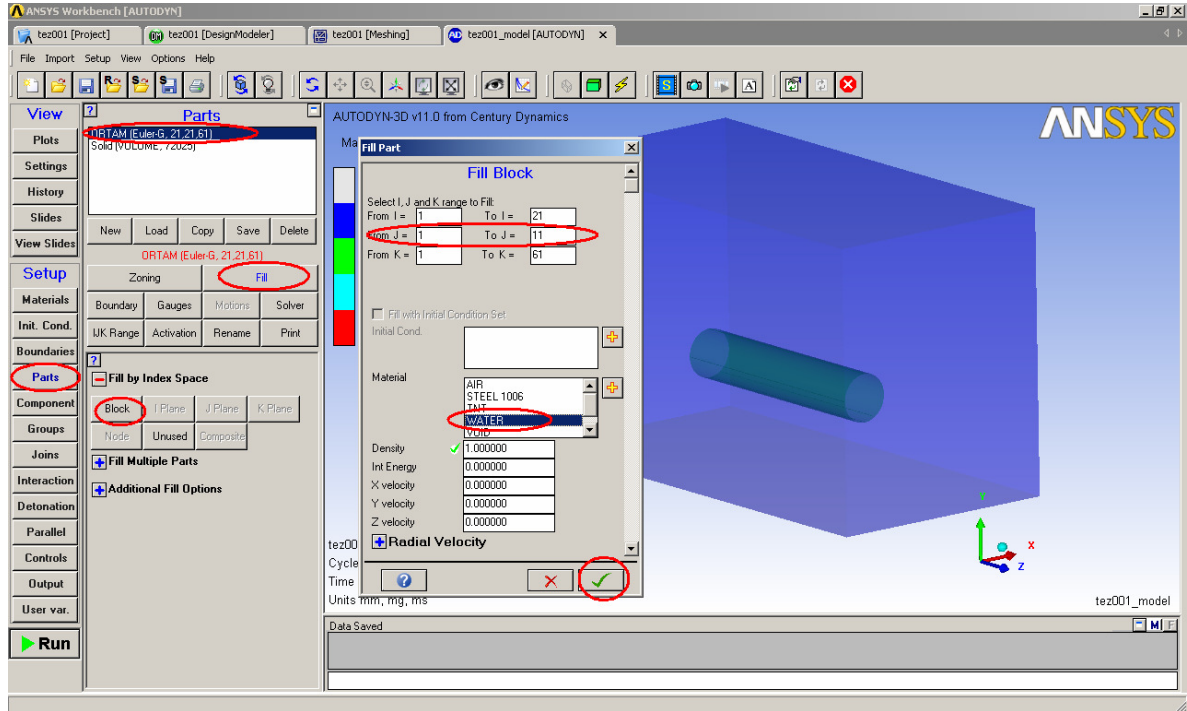
Görüntülerde hiçbir saydamlık olmadığından iç içe geçmiş durumda olan silindirik boru ve hava ortamı ayrı ayrı görülememektedir. Ekranın solunda bulunan “Plots” ekranından “Material Location” seçeneğinin detaylarına girildiğinde saydamlık ayarlanıp parçaların ayrı ayrı görüntülenebilmesi mümkündür.



Şekil 6.33 Saydamlığın artırılarak bütün parçaların görüntülenmesi

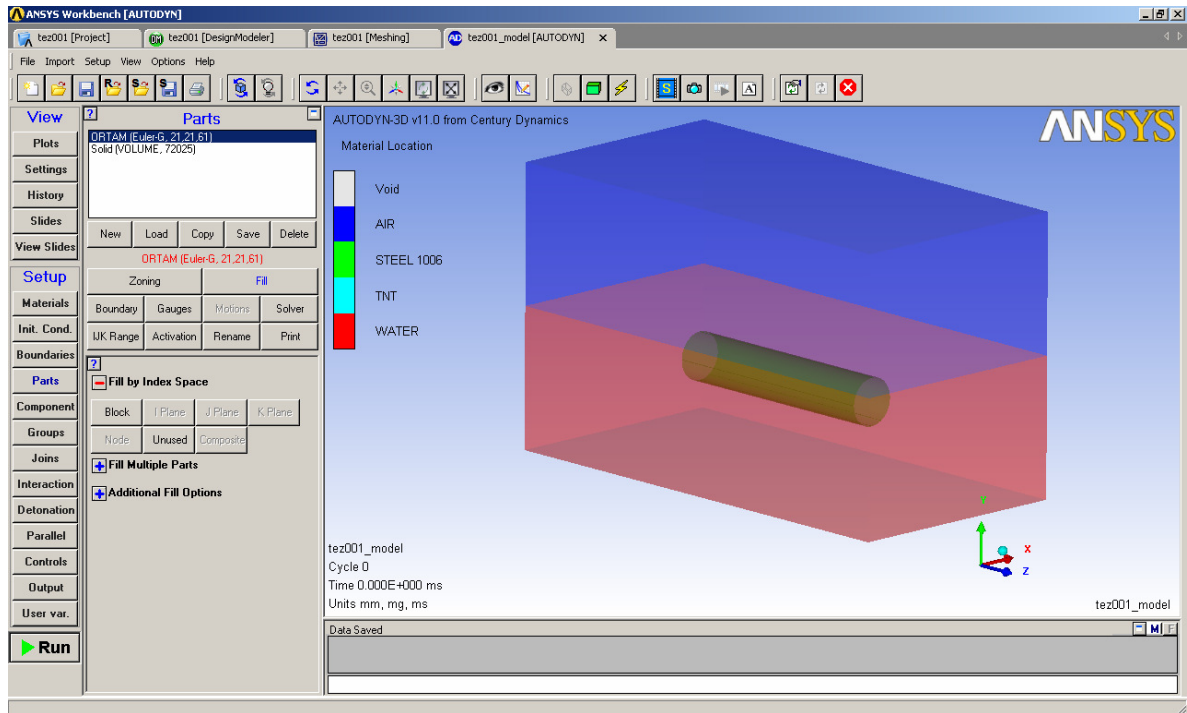
Ortamda sadece silindirik boru ve hava olmayacağından su dolu olan kısımların da ortamda gösterilmesi gerekmektedir. Bunun için parçaya ilk başta hava malzemesinin doldurulması gibi belirlenen eleman sınırlarına kadar su malzemesi doldurulmuştur. Ekranın solunda bulunan parçalar ekranından doldurma seçeneği seçilir. Yine bütün halde yapının doldurulması işlemi uygulanmıştır fakat eleman sınırları ile oynanarak bu yapılmıştır.

Ortam modellenirken istenen eleman sayılarına göre düğüm noktalarının da sayıları belirlenmiş olur. Su malzemesini ortama doldurulması işlemi sırasında I (x eksen) için 1'den 21'e , J (y eksen) için 1'den 11'e, K (z eksen) için 1'den 61'e seçenekleri seçilir ve bu şekilde doldurma işlemi gerçekleştirilir.



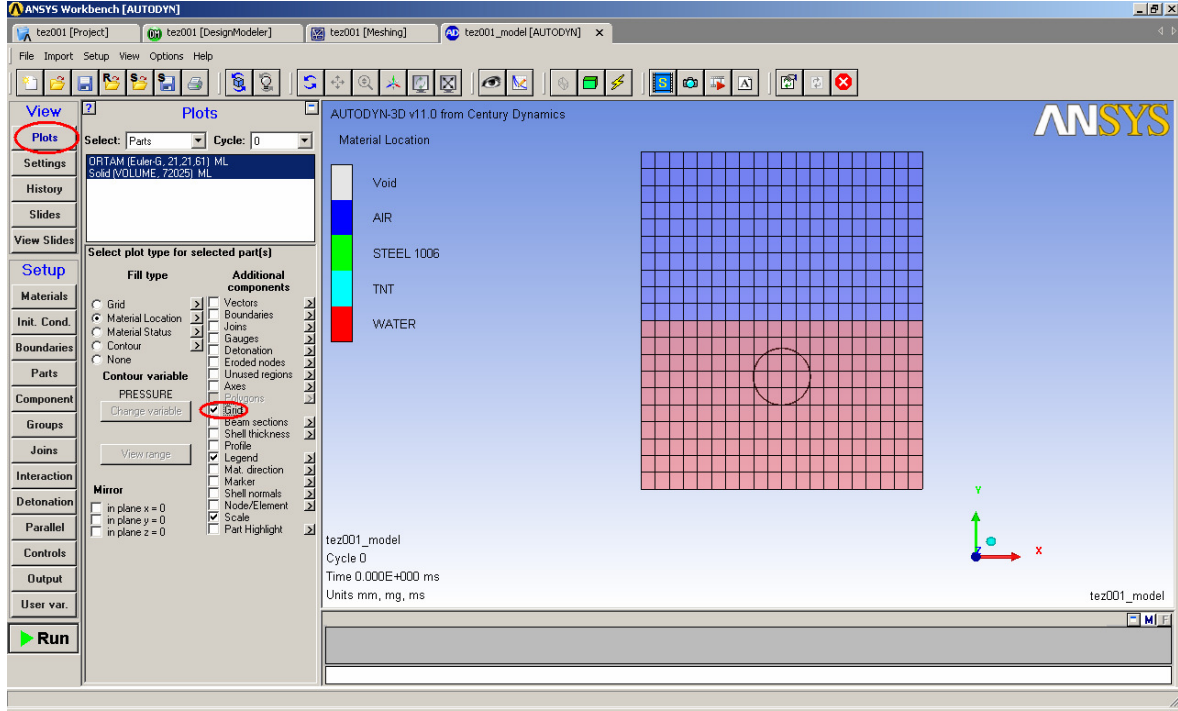
Şekil 6.34 Ortama su malzemesinin doldurulması

Çoklu malzemeye (hava ve su) sahip ortam ve içindeki silindirik boru artık simülasyon ortamında rahatlıkla görüntülenebilmektedir.



Şekil 6.35 Su-hava ortamında silindirik borunun görüntülenmesi

Parçaları oluşturan eleman miktarları ekranın solunda bulunan “Plot” seçeneğinden “Grid” in seçilmesiyle görülebilmektedir.



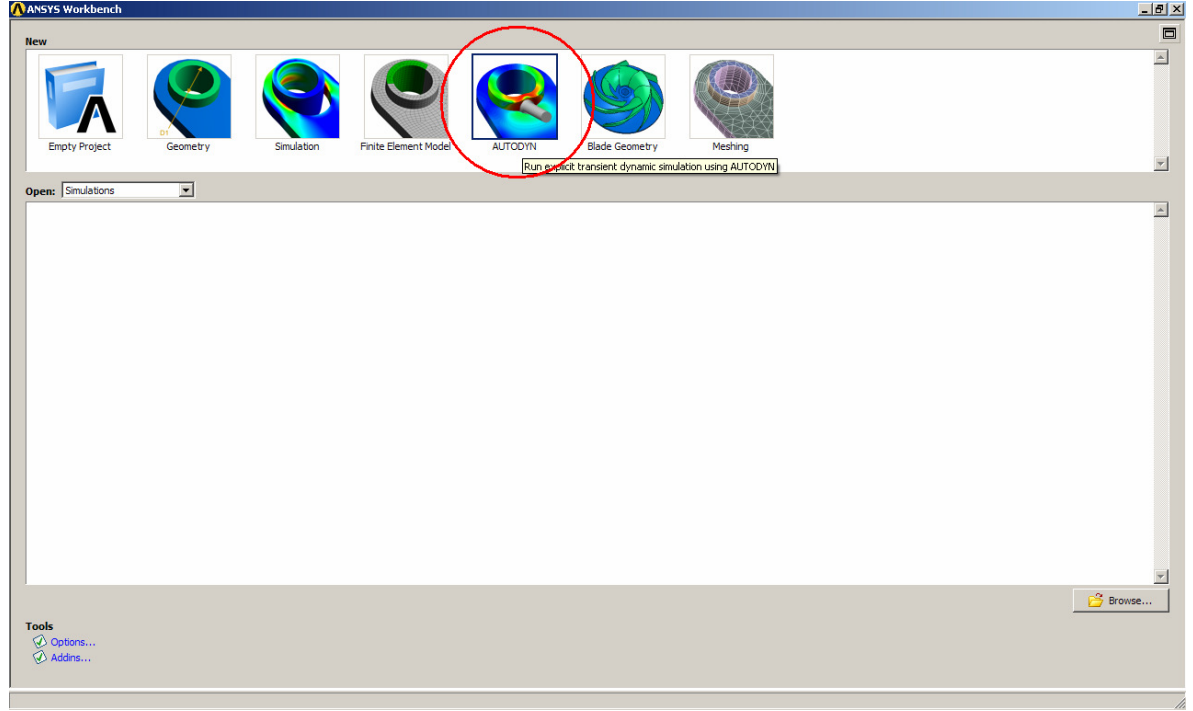
Şekil 6.36 Parçalara ait eleman yapısının görüntülenmesi

Simülasyona girecek parçaların modellenmesi işleminde bundan sonrası için yapılacak şey patlayıcının belirlenmesidir. Patlayıcı modellemeleri noktasında birden fazla teknik kullanılmaktadır. Kullanılan bilgisayarın performans özelliklerine göre çok daha fazla işlemci gücü ve zaman isteyen yöntemde simülasyondaki bütün parçaların her milisaniyede çözüme dahil olduğu patlayıcı elemanlar kullanılmaktadır. Mevcut çalışma düşünülecek olursa silindirik borunun hemen 2 metre altında bulunan su dolu elemanlardan istenilen miktardakileri boşaltılarak içlerine TNT malzemesi doldurulduktan sonra simülasyona sokulabilir. Fakat belirtildiği gibi bu yöntemde patlamanın daha sıfıncı milisaniyesinden itibaren bütün parçalar çözüme girmekte dolayısıyla çözüm süresi uzamaktadır.

Diğer yöntemde ise patlama başka bir ortamda simüle edilmekte ve belirli bir milisaniyesinden itibaren etkileri gerçek simülasyon ortamına aktarılmaktadır. Bu şekilde bütün simülasyonun henüz sıfıncı milisaniyesinde olursa bile patlama artık bütün şiddetiyle ortamdaki parçalara etkimeye başlamakta ve zaman kaybı olmamaktadır.

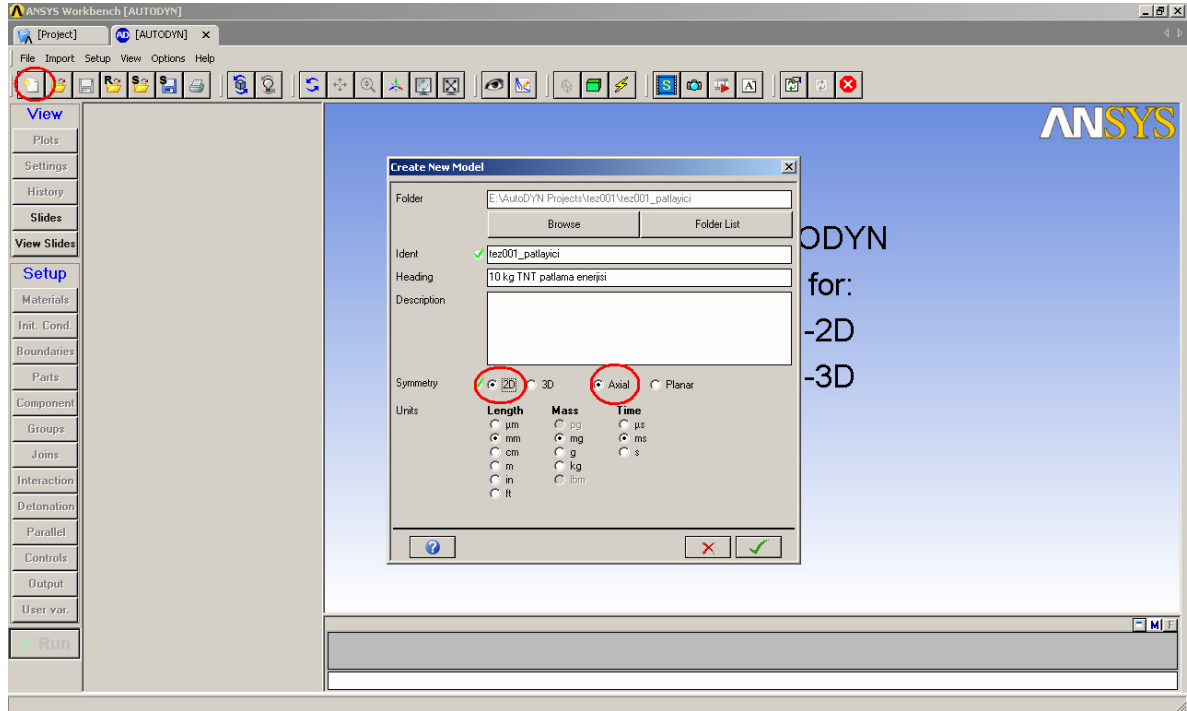
Bu çalışmada patlama farklı bir ortam simüle edilip sonuçları kaydedilmiş ve gerçek simülasyon ortamına aktarılarak sonuçlar incelenmiştir.

Bunu yapabilmek için ayrı bir projede patlamayı gerçekleştirmek gerekmektedir. İlk olarak Ayrı bir Autodyn projesi açılır.



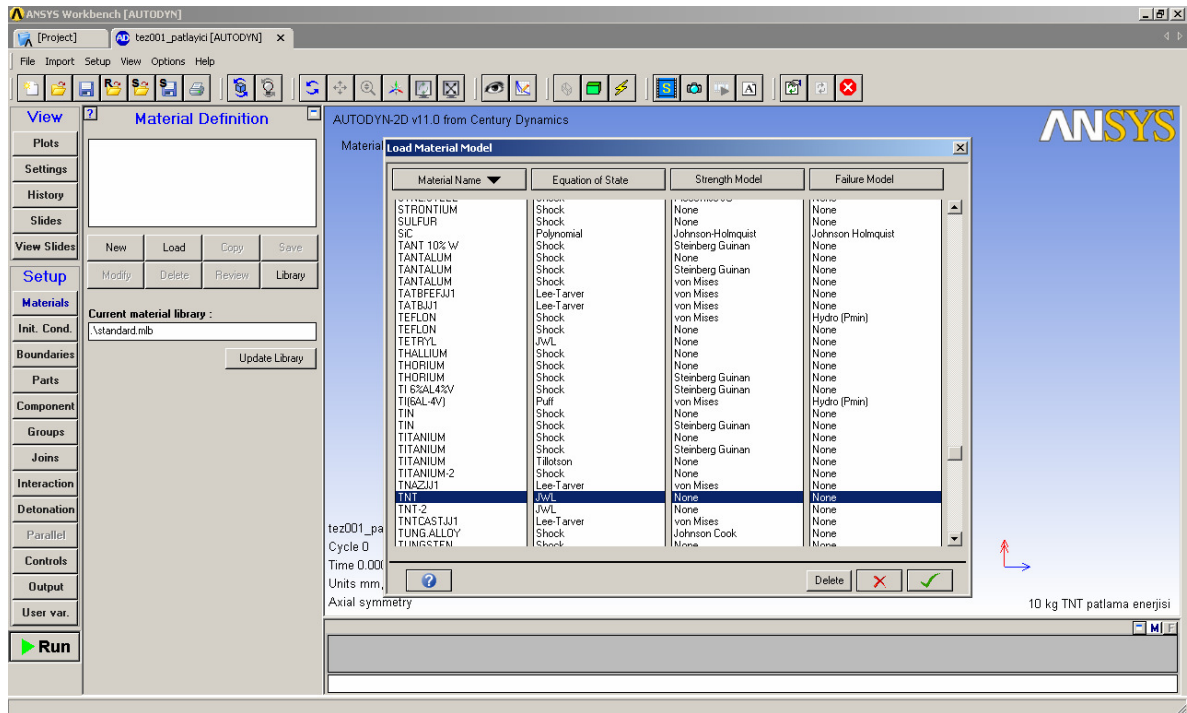
Şekil 6.36 Patlama simülasyonu için ayrı bir proje açılması

Açılacak olan proje iki boyutlu aksiyal bir proje olacaktır.



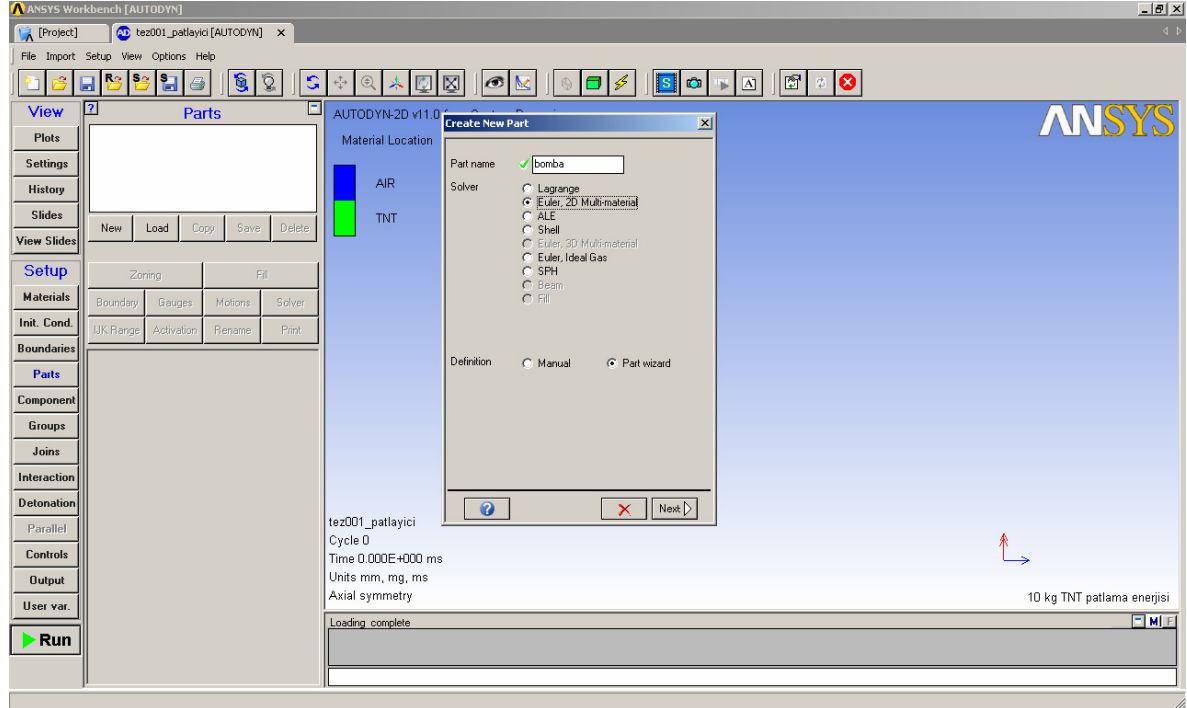
Şekil 6.37 Patlama simülasyon projesinin parametre seçimi

Patlama simülasyonunda kullanılacak olan malzemeler hava ve TNT malzemeler ekranında simülasyona dahil edilir.



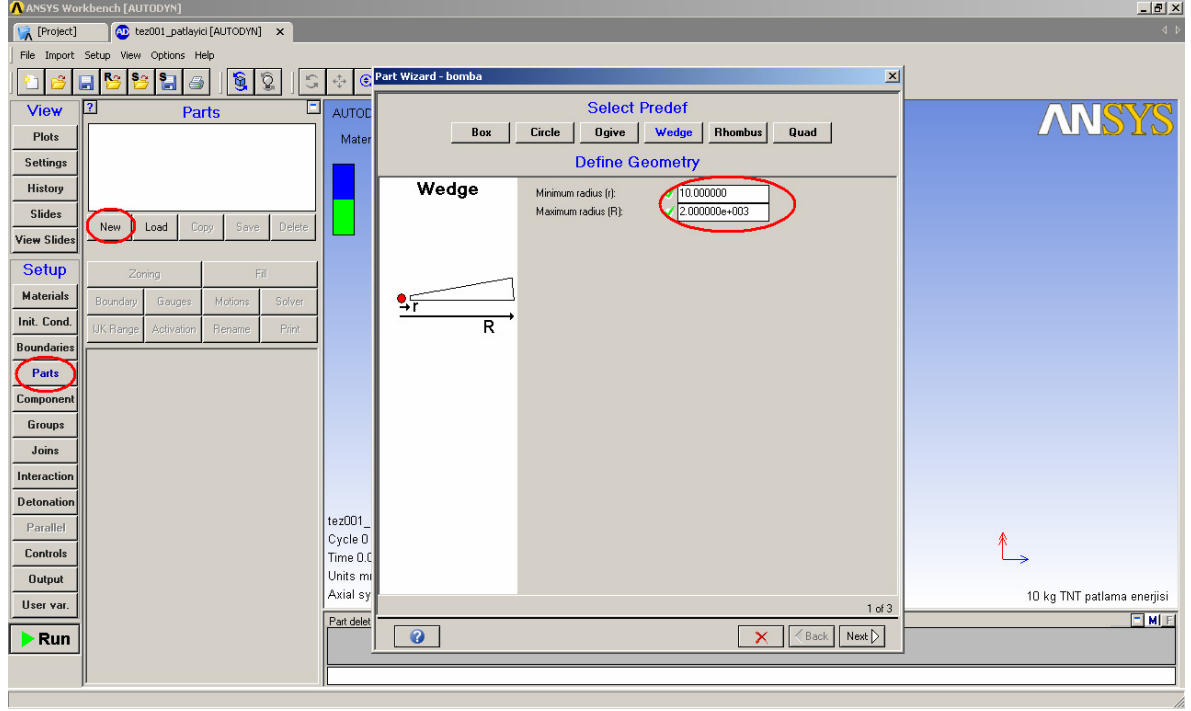
Şekil 6.38 Patlama simülasyon malzemelerinin seçimi

Patlama için farklı bir teknik kullanılarak kama benzeri iki boyutlu bir parça modellenmiştir. Bunun için iki boyutlu Euler çok malzemeli modelleyici seçeneği kullanılmıştır.



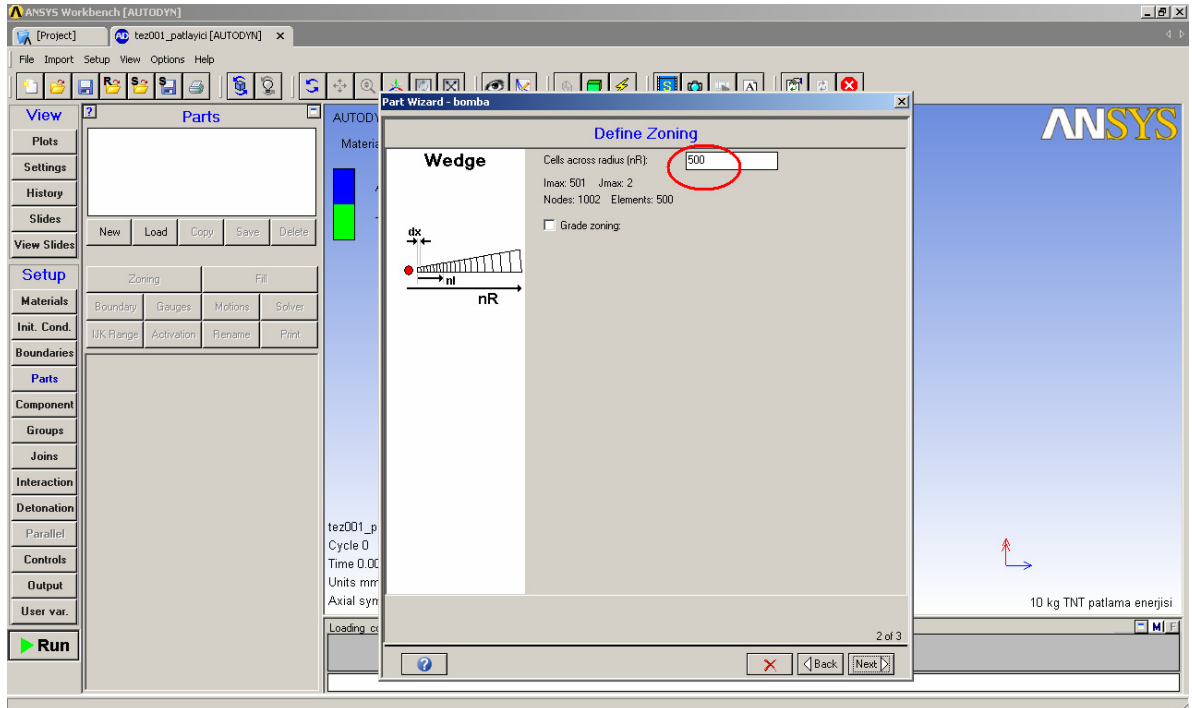
Şekil 6.39 Patlayıcı parça çözücü seçimi

Patlayıcının silindirik boru yapısına 2 metre yakınında bulunacağı kabulüyle patlamanın etkili olacağı çevresel uzaklık bilgisi parça modellenirken kullanılır. Parçalar ekranından yeni komutuyla “Wedge” seçeneği seçilir. Minimum radius için “10 mm” , maximum radius için “2000 mm” değeri girilir.



Şekil 6.40 Patlayıcı parça modellenmesi

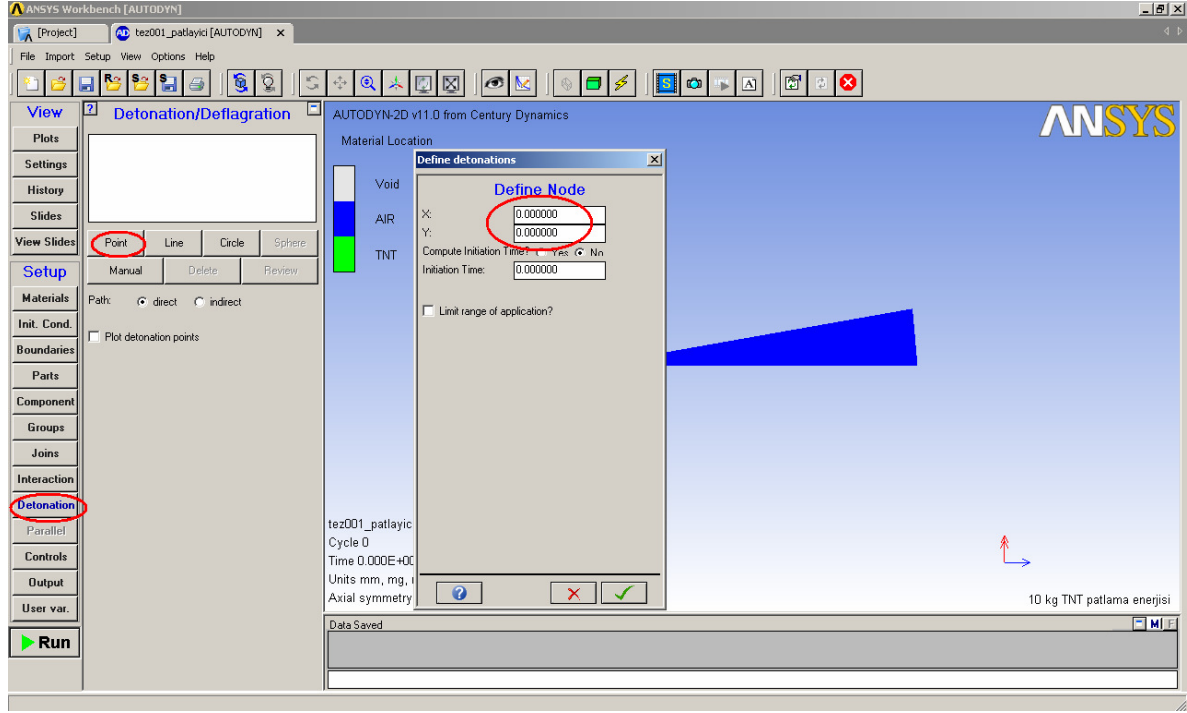
Patlayıcı modelinde kullanılacak olan model sayısı da 500 olarak seçilmiştir.



Şekil 6.41 Patlayıcı parça eleman sayısı seçimi

Oluşturulan model hava ile doldurulmuştur.

Küresel şekilde oluşturulan patlayıcı kütlesi daha öncesinde oluşturulan hava modelinin $X=0$, $Y=0$ noktalarına yerleştirilir.

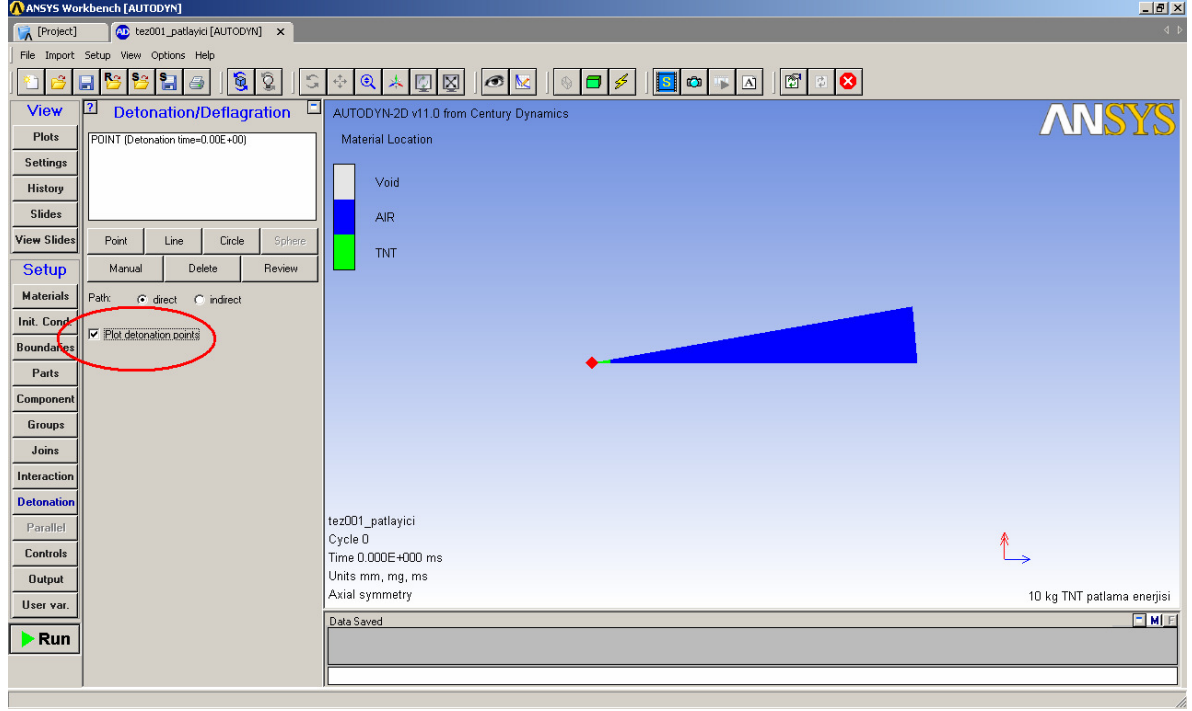


Şekil 6.44 Patlayıcı modelinin hava modeline yerleştirilmesi

Patlayıcı kütlesinin tek başına hava ortamına yerleştirilmesi simülasyon için yeterli parametrelere müdahaleye izin vermez. Ayrıca patlayıcıyı ateşleyecek bir “Detonation” noktası olmalıdır. Bu nokta sayesinde simülasyonun hangi anında patlamanın gerçekleştirileceği bilgileri parametrik olarak değiştirilebilir, gecikme verilebilir.

Bu çalışmada patlayıcı kütlesinin tam merkezine ve hiç bir gecikme yaşanmadan ateşlenmek üzere bir Detonation noktası eklenmiştir.

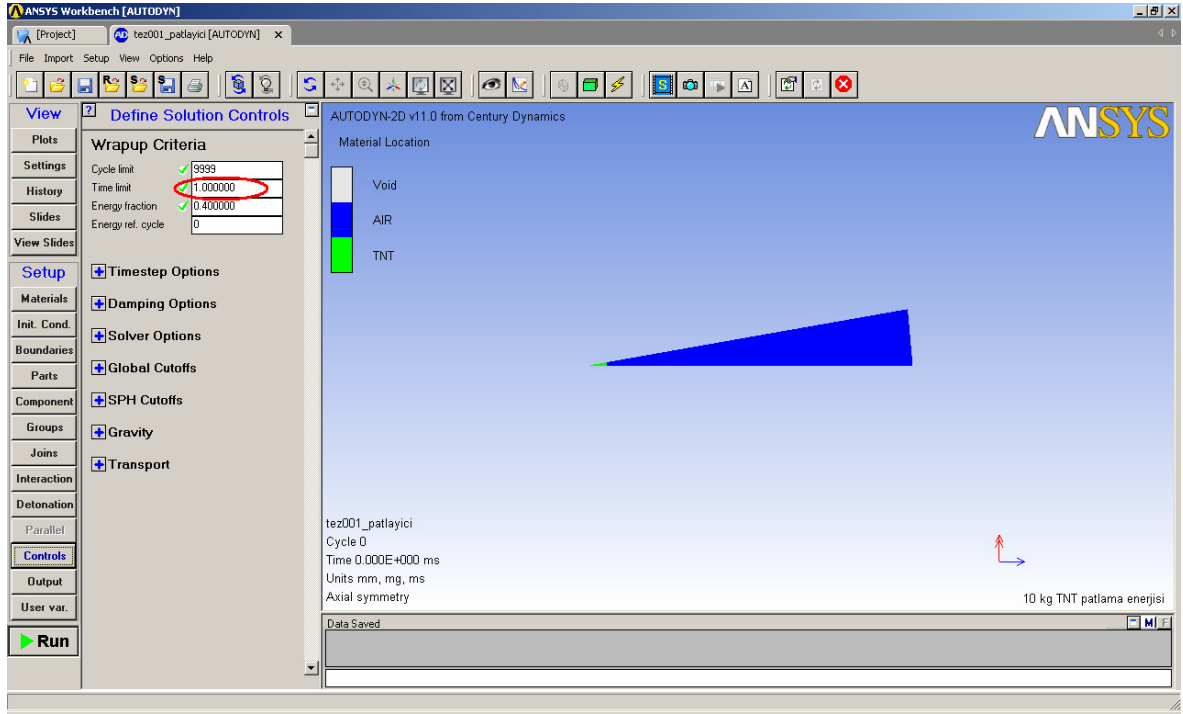
Ekran üzerinde bulunan “Plot Detonation Points” seçeneği seçildiğinde ateşleme noktasının nerede olduğu ekran üzerinden görüntülenebilir.



Şekil 6.45 Patlayıcı için Detonation noktası tanımlama

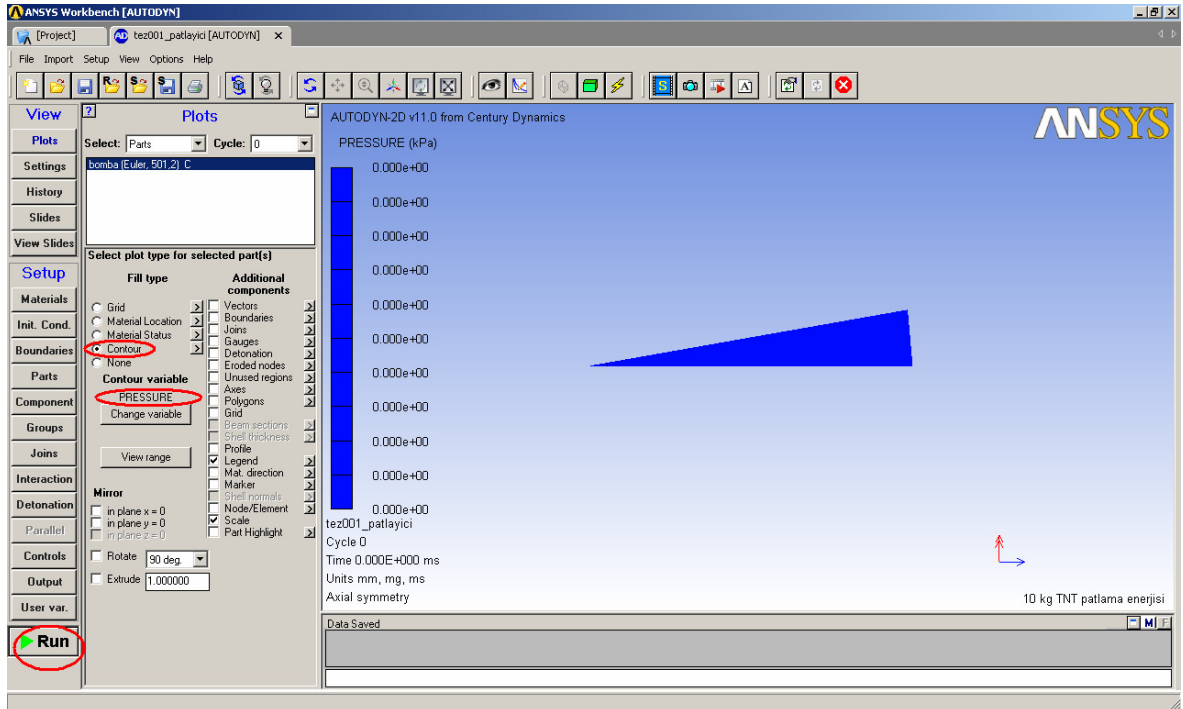
Patlayıcının kendi içinde simüle edilebilmesi için 2 metre uzaklığa şok dalgasının ulaştığı sürenin tespiti, patlayıcı etkisinin gerçek parçalarla kurulmuş olan modelde fazladan zaman kaybını engelleyecektir. Bunun için basınç dağılımını gösteren çizim ekranında iken simülasyon parametreleri tahmini değerlerle girilir.

Bu çalışmada bir iki deneme sonunda 2 metre uzaklığa şok dalgasının ulaşma süresi 1.0 ms olarak ölçülmüştür. Gerçek değer olarak 1.0 ms kullanılmıştır.



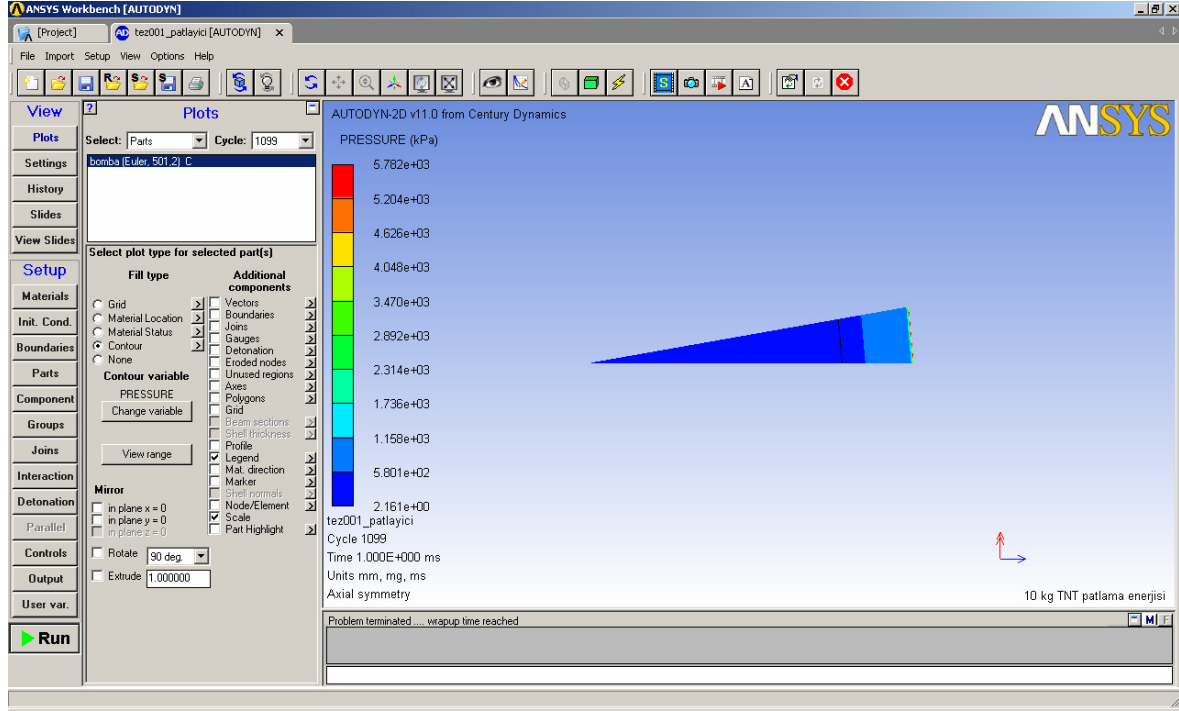
Şekil 6.46 Patlayıcının 2 metre uzaklığa eriştiği sürenin tespiti

“Run” komutuyla kurulan model çalıştırılır. Oluşan basınç dalgalarının rahat görülebilmesi ve seçilen sürenin yeteri kadar uzun olduğunu anlayabilmek için “Plots” ekranında “Contour” seçeneği seçilir ve parametre olarak da “Pressure” seçilir.



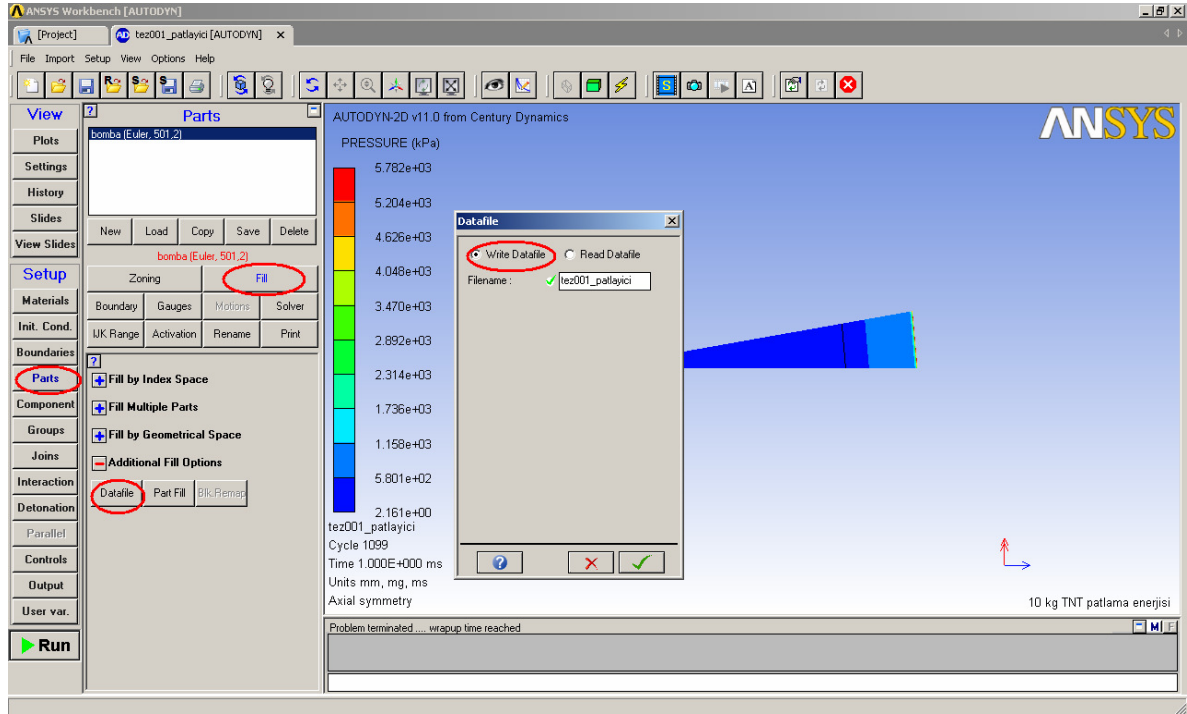
Şekil 6.47 Patlayıcı modelinin çalıştırılması

Seçilmiş olan 1.0 ms'nin sonunda 1099 çevrim tamamlanmıştır ve basınç dalgalarının 2 metre uzaklığa eriştiği görülmüştür.



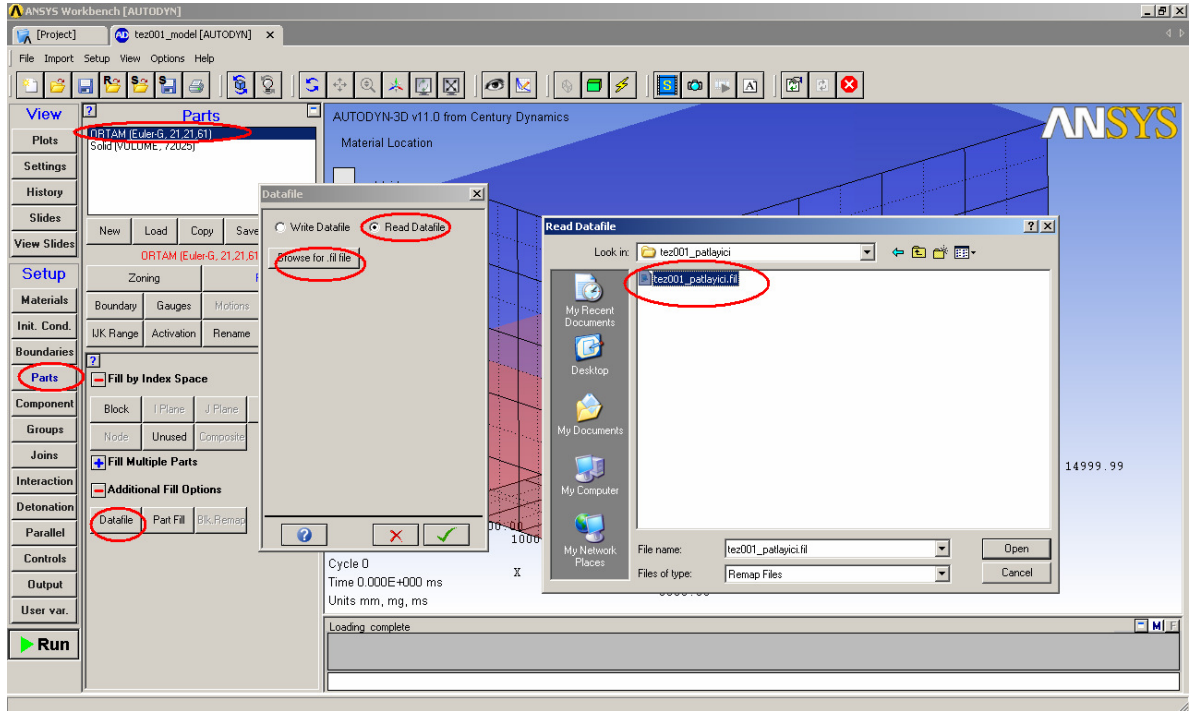
Şekil 6.48 Şok dalgasının 2 metre uzağa ulaşması

Oluşan bu simülasyon sonuçları gerçek model ortamında kullanılmak üzere kaydedilir. "Parts" ekranında "Fill" komutuyla açılan pencerede "Additional Fill Options" altında "Datafile" seçeneğiyle "Write Datafile" komutu kullanılır. Bir isim verilerek proje klasöründe herhangi bir yere kaydedilir.



Şekil 6.49 Patlama simülasyon sonuçlarının kaydedilmesi

Kaydedilen patlama simülasyon sonuçları hava, su ve silindirik boru parçalarının olduğu modele aktarılır. “Parts” ekranında ORTAM seçilerek “Fill” komutu kullanılarak “Datafile” seçeneği ile daha önce kaydedilmiş olan patlama sonuçları “Read Datafile” seçeneği ile seçilir.



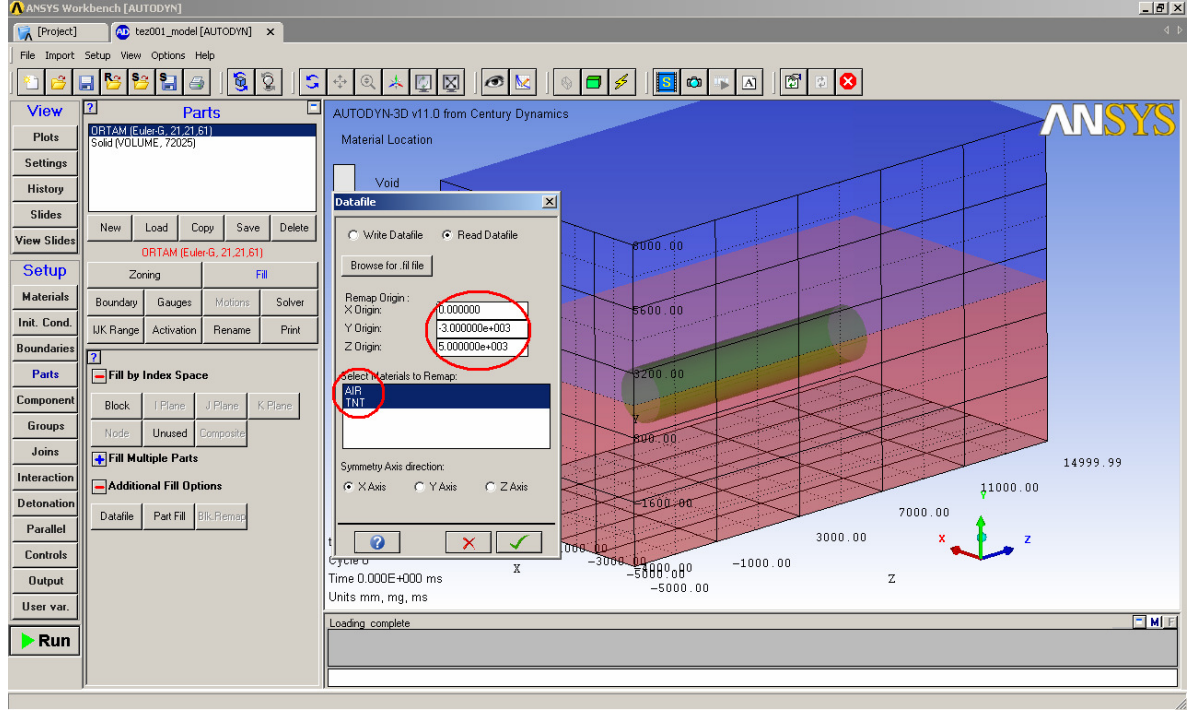
Şekil 6.50 Patlama simülasyon sonuçlarının gerçek modele aktarılması

Patlama olayının gerçek modelde hangi koordinatlarda gerçekleşeceği bu ekranda seçilmelidir. Bu çalışma silindirik boru, su ve hava ortamlarının koordinatlarına göre aşağıdaki değerler seçilmiştir:

X : 0

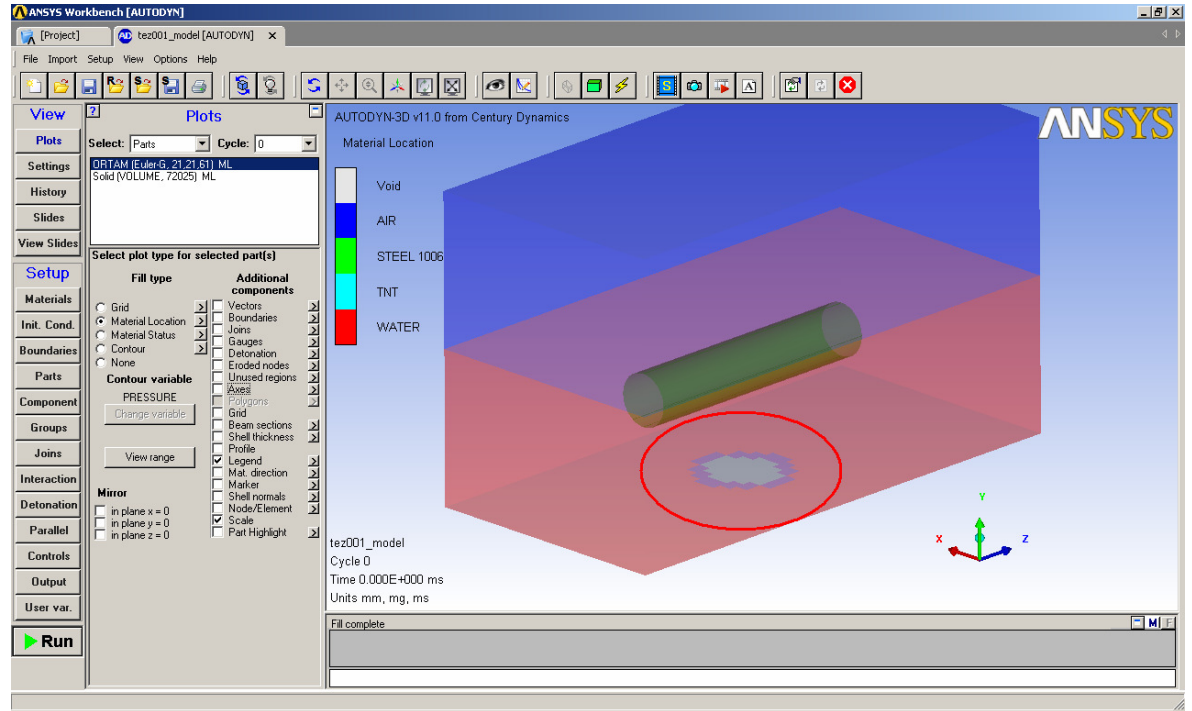
Y : -3000

Z : 5000



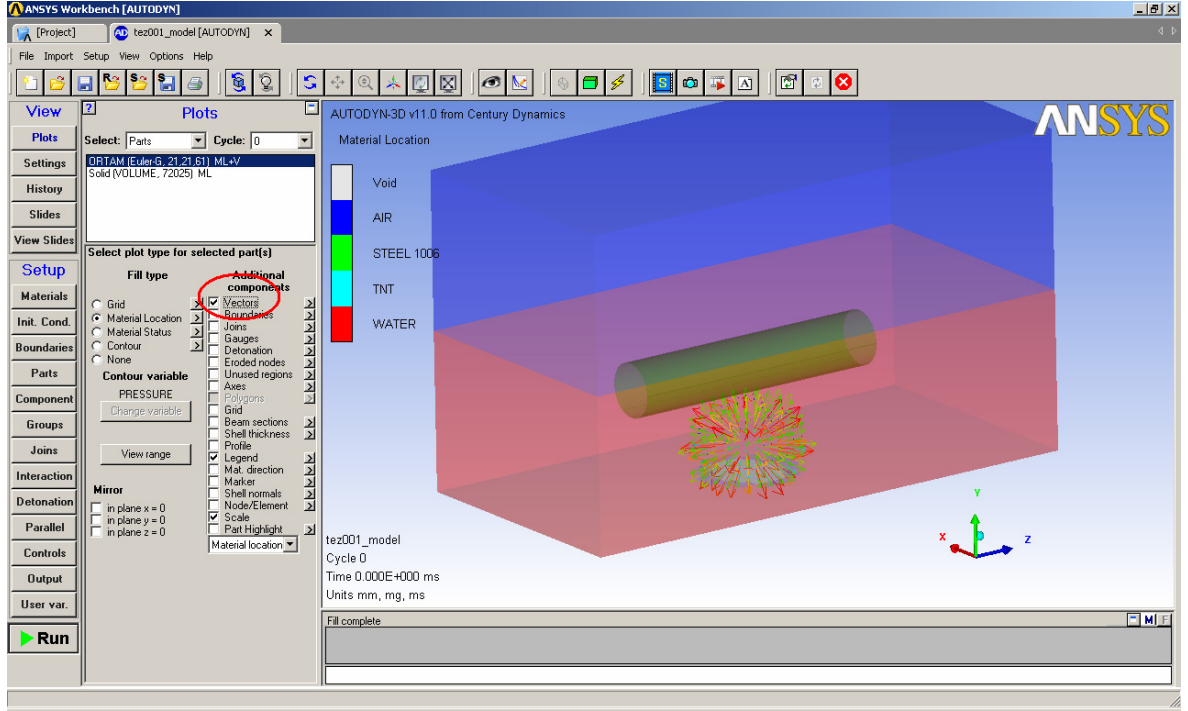
Şekil 6.51 Patlama koordinatlarının seçimi

Sonuçlarının aktarımının ardından zeminde patlayıcı dolu elemanların yol açtığı renk değişimi gözle görülebilir.



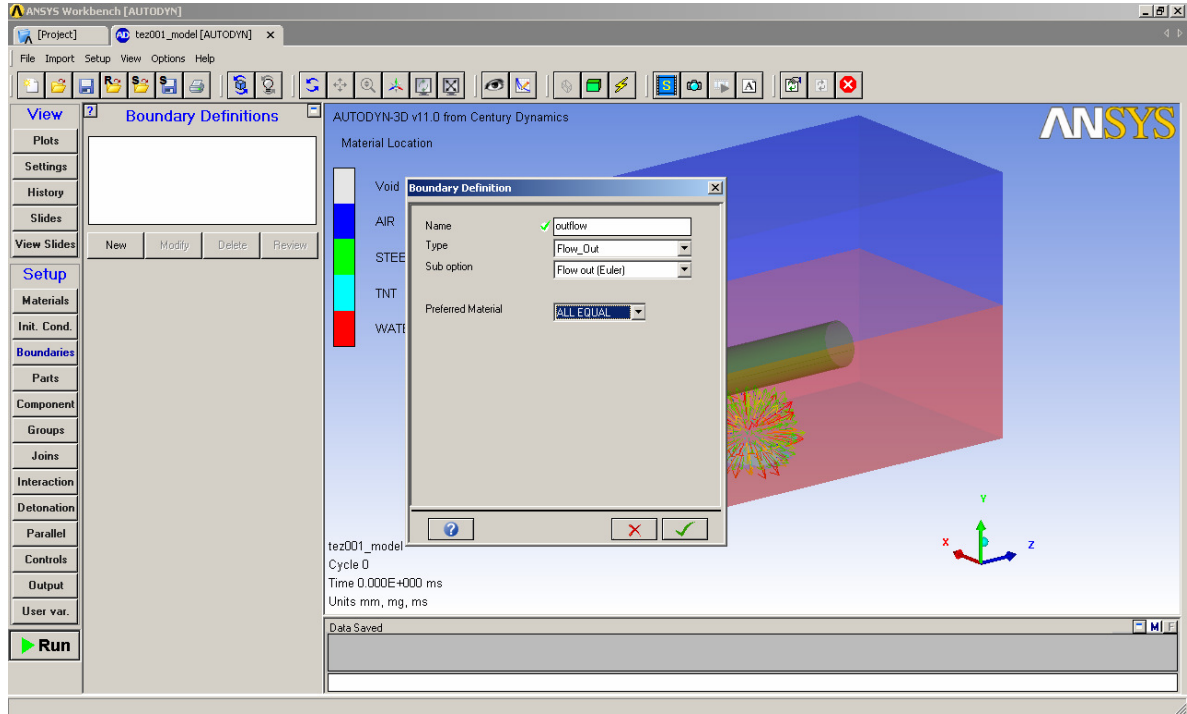
Şekil 6.52 Patlayıcı elemanların gerçek modelde gösterimi

Patlayıcı elemanlarla dolu ortamın vektörel gösterimi ile kuvvetlerin hangi yönlere yönlendiği görülebilir.



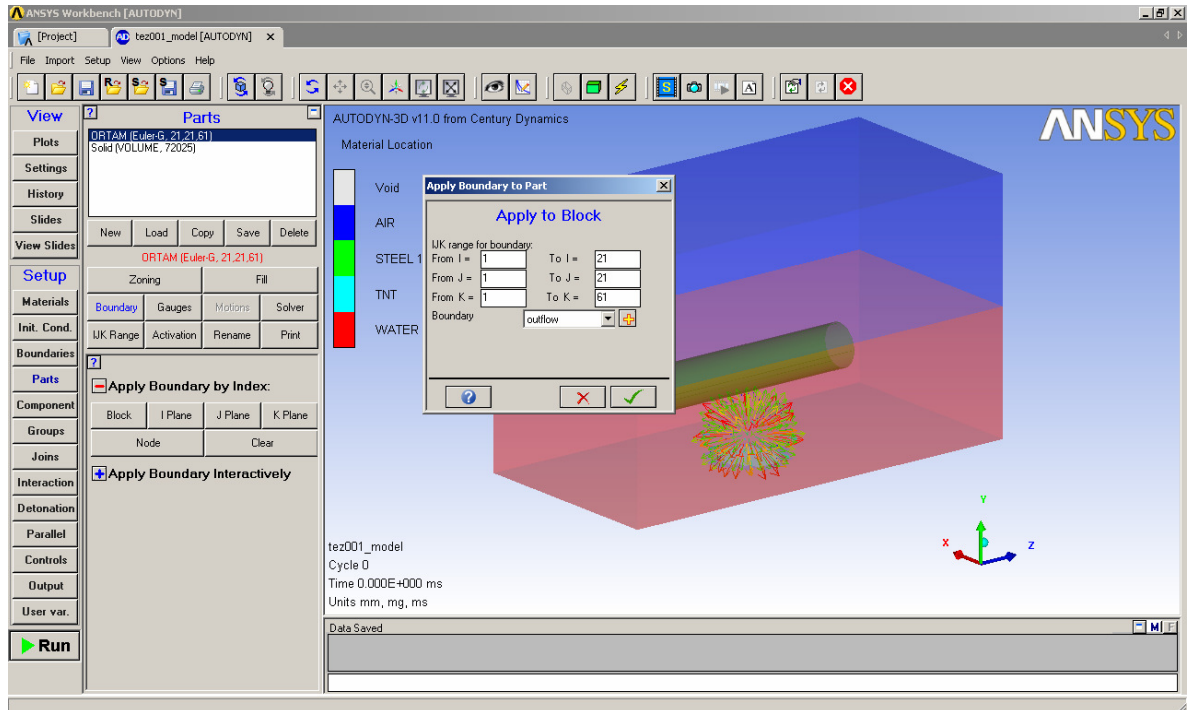
Şekil 6.53 Patlayıcı elemanların vektörel yönelimi

Bu hazırlıklardan sonra modeli sınırlayan sınır şartlarının oluşturulması gerekmektedir. "Boundaries" ekranından yeni bir kayıt ekleyerek tip olarak "Flow_out" ve malzeme olarak "ALL EQUAL" seçilir.



Şekil 6.54 Model sınır şartlarının oluşturulması

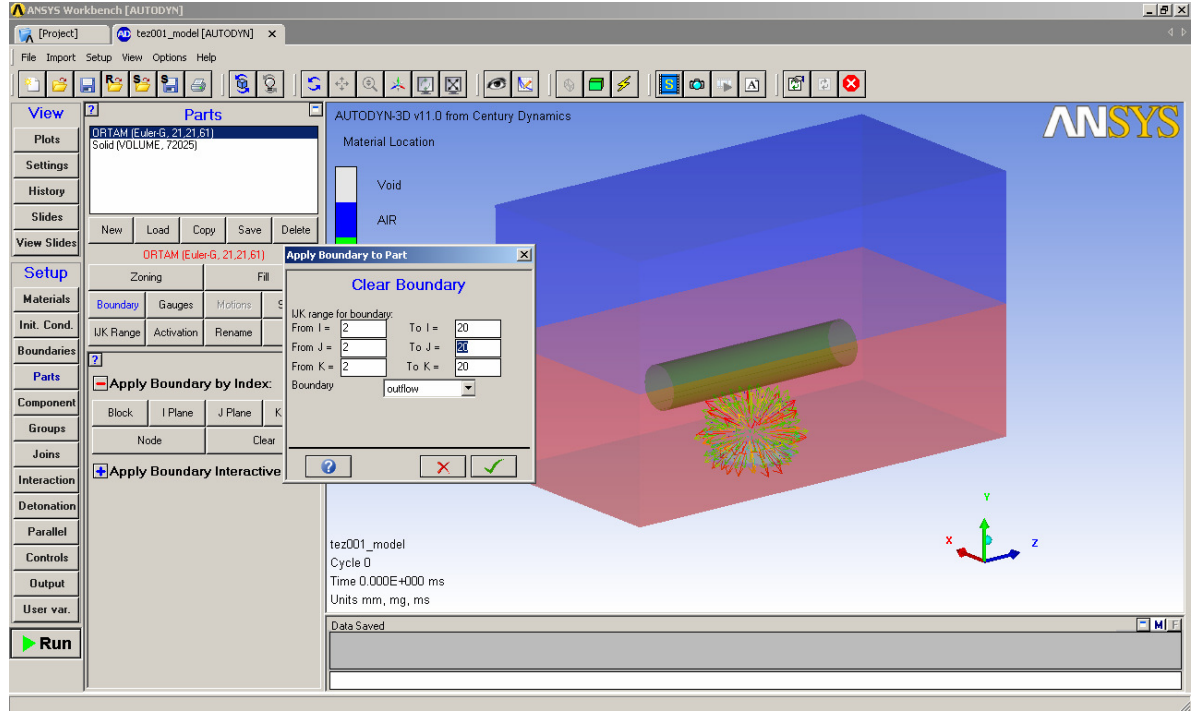
Oluşturulan sınır şartı bütün ortam için uygulanır.



Şekil 6.55 Model sınır şartlarının bütün elemanlara uygulanması

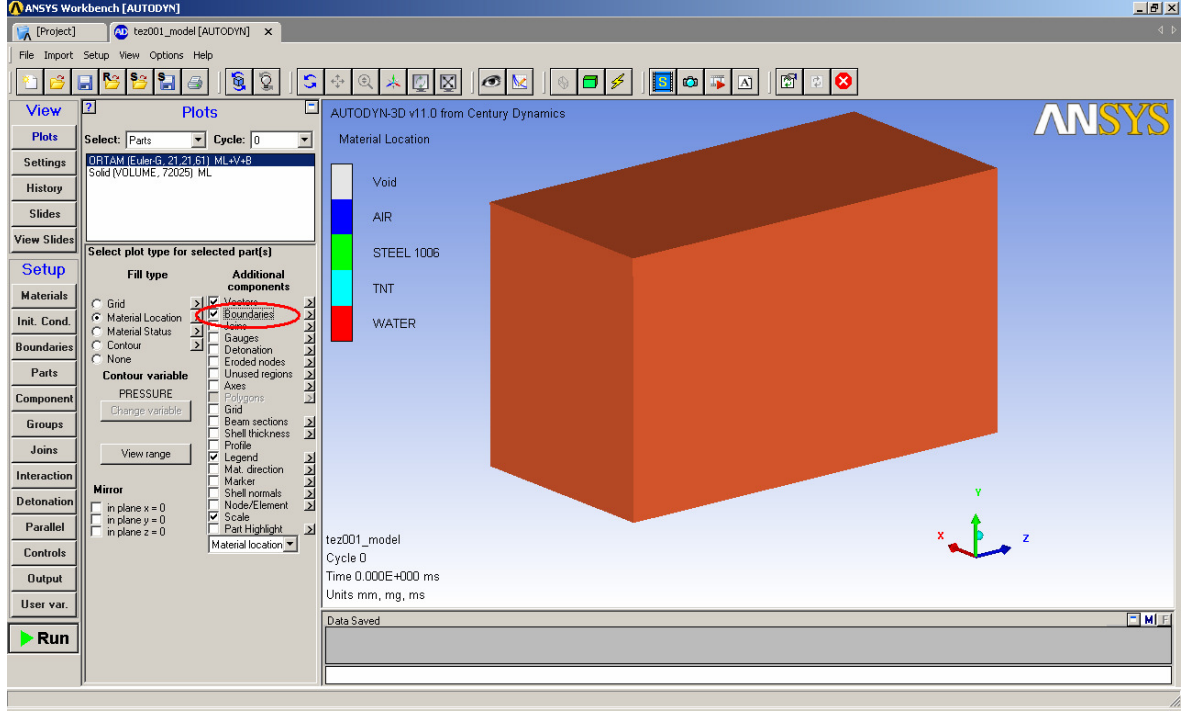
Uygulama tekniği açısından bütün elemanlara sınır şartı verip daha sonra istenmeyen bölgelerden çıkarılması daha kolay bir yöntemdir. Bu neden önceki aşamada elemanların tümüne sınır şartı verilir.

İkinci aşamada ise istenmeyen eleman aralıklarından sınır şartı temizlenir.



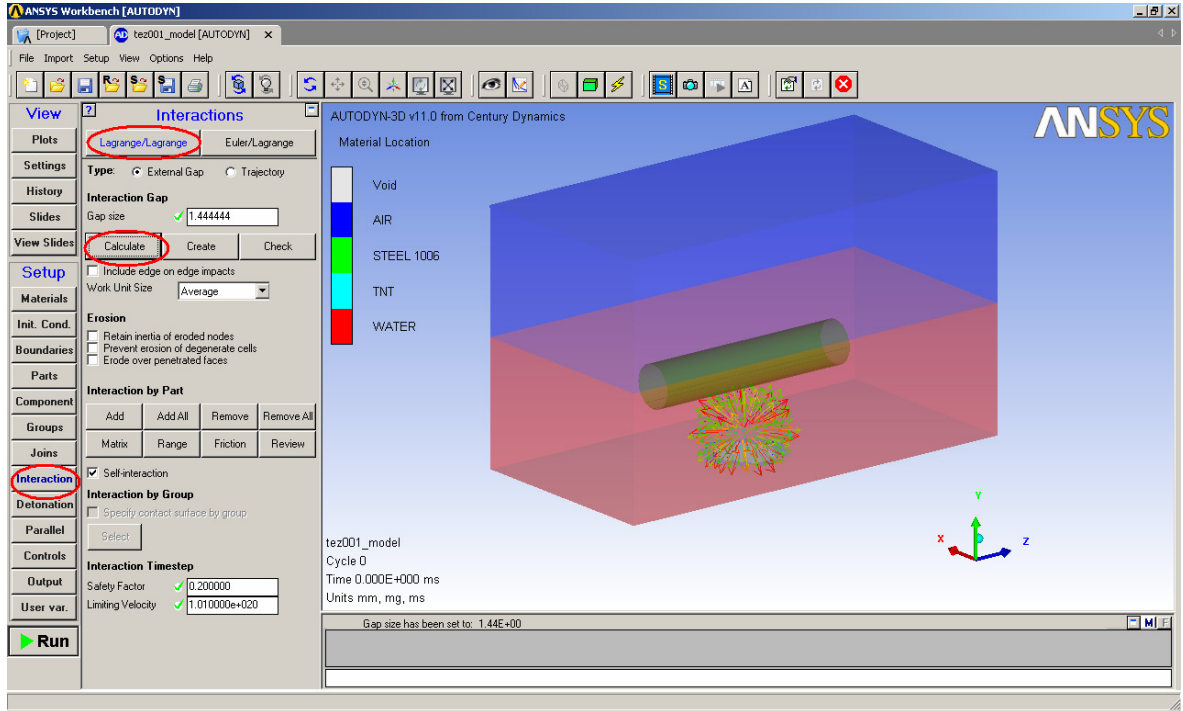
şekil 6.56 Model sınır şartlarının istenmeyen elemanlardan temizlenmesi

Oluşan sınır şartlarının doğru alanları kapsayıp kapsamadığını gözle görmek için “Plots” ekranından ortam için “Boundaries” seçeneği seçildiği taktirde aşağıdaki gibi bir görünüm elde edilir ve sınır şartlarının istenilen yerleri alıp almadığını teyit edilir.



Şekil 6.57 Model sınır şartlarının istenmeyen elemanlardan temizlenmesi

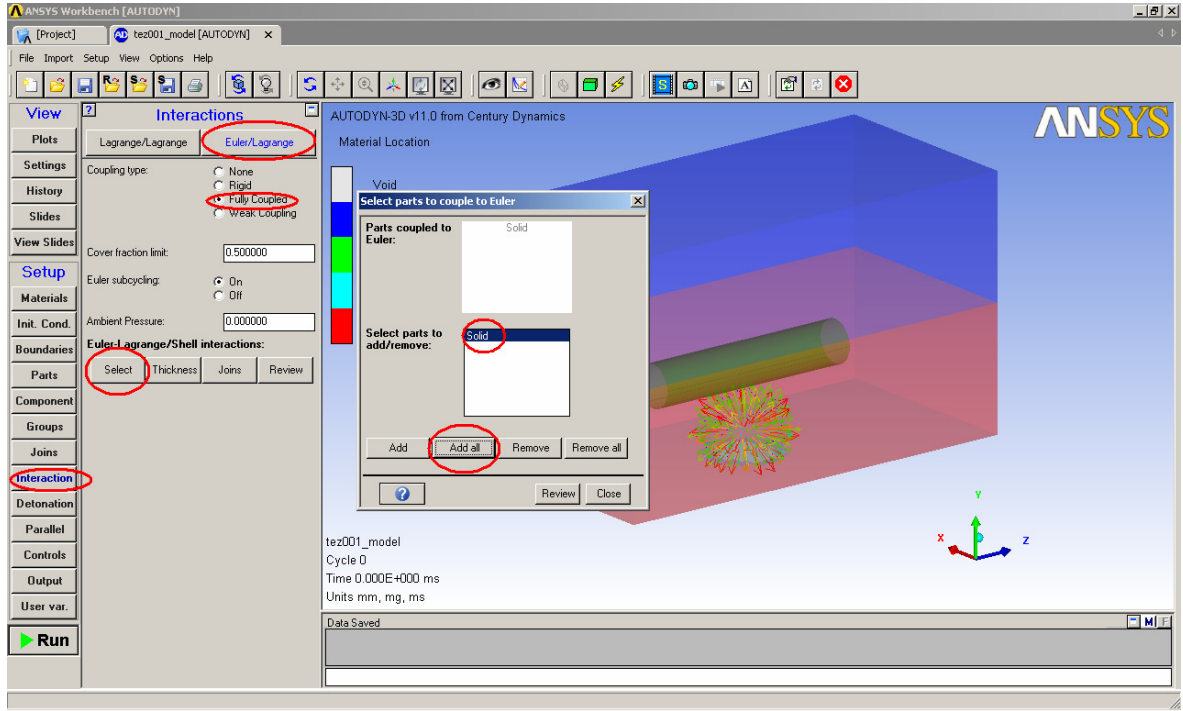
Modelde bulunan parçaların bağımsız olarak simülasyona girmemesi için ilişkilerin önceden tanımlanması gerekmektedir. Ansys'te iki tip ilişki verilebilmektedir. Çözümleyicisi Lagrange olan parçaların kendi içinde kurulan ilişki ve Lagrange ya da diğer çözümleyicileri olan parçaların Euler çözümleyicisi olan parçalarla olan ilişkiler şeklinde iki tip vardır. Bu çalışmada tek bir Lagrange çözümleyicisi olan parça olduğundan Lagrange/Lagrange ilişkisi kurmaya gerek yoktur. Sadece silindirik borunun su ortamında bulunduğu durumda çevreleyen yüzeydeki maksimum boşluk tespit edilmiştir.



Şekil 6.58 Lagrange/Lagrange ilişki tanımlama

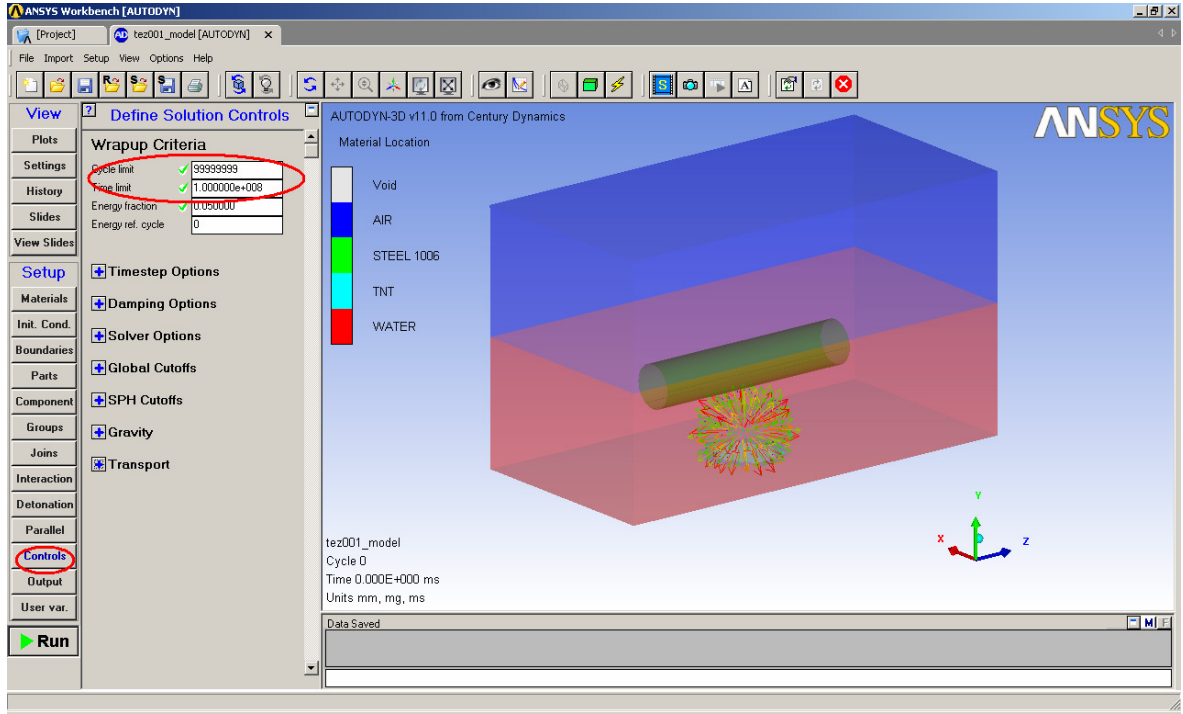
Euler/Lagrange ilişkisi bu modelde daha önemlidir. Silindirik borunun malzemesinin akacağı iki Euler çözümleyicisi olan parça vardır: Su ve hava ortamı.

Bu nedenle silindirik boru parçasının Euler ortamına dahil edilmesi gerekmektedir.



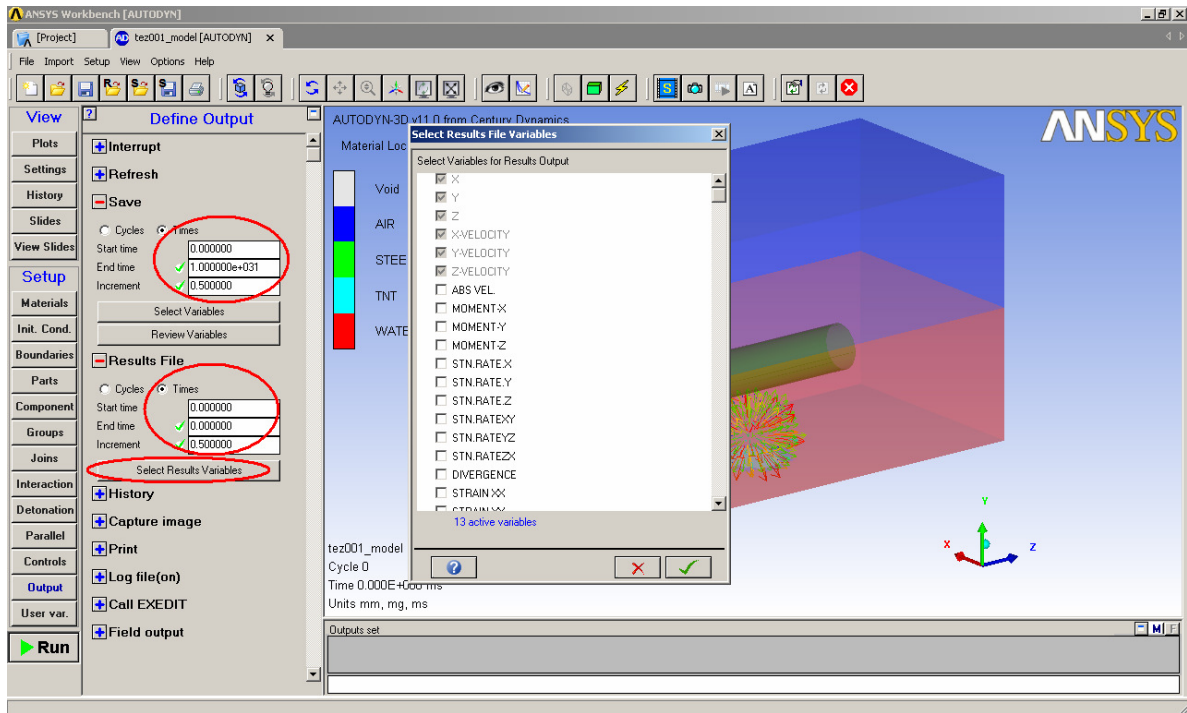
Şekil 6.59 Euler/Lagrange ilişki tanımlama

İlişkilerin tanımlanmasının ardından simülasyonunun genel parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir. Bunlar toplam simülasyon süresinin ya da çevrim sayısının ne olacağı, kaç milisaniyede sonuç dosyasının kaydedileceği, hangi milisaniye itibariyle sonuç dosyalarının kaydedileceği gibi bilgilerdir.



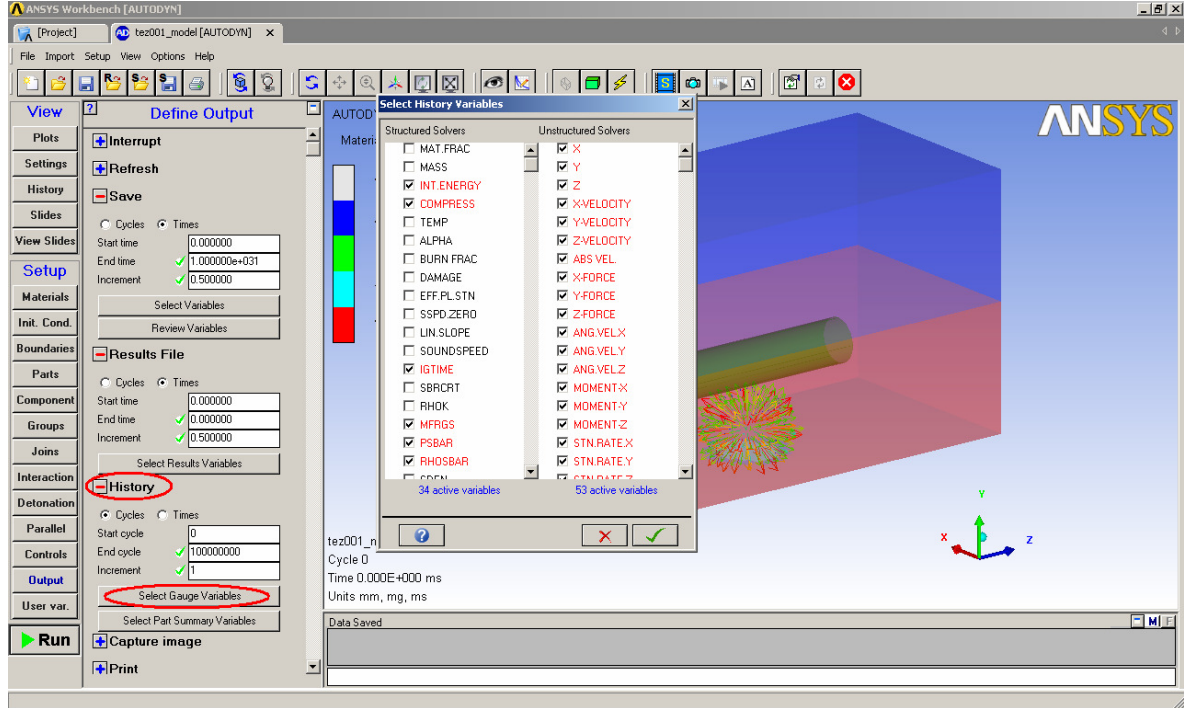
Şekil 6.60 Simülasyon parametrelerinin tanımlanması

Sonuç dosyalarında yer alacak büyüklükler de önceden seçilebilmektedir. Seçilen parametre sayısına göre de oluşacak olan dosya büyüklükleri değişecektir.



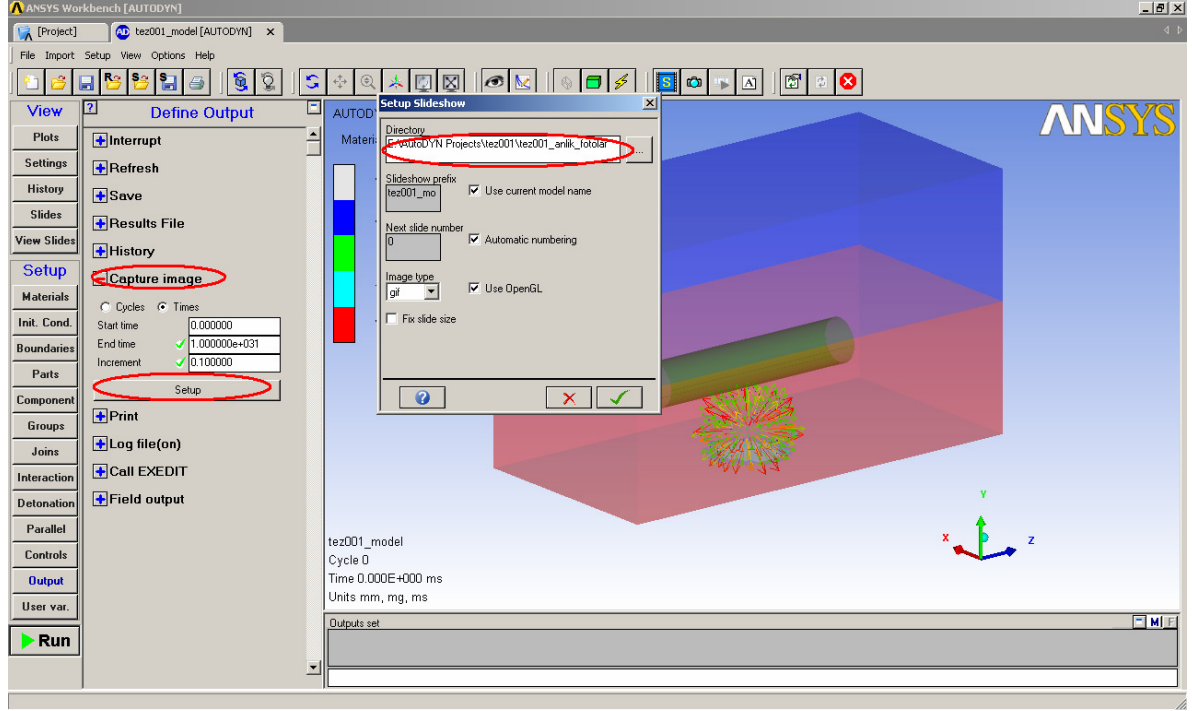
Şekil 6.61 Simülasyon sonuç parametrelerinin tanımlanması

Aynı zamanda modeldeki yapılar üzerinde koyulan ölçüm aygıtları için hangi büyüklüklerin ölçüleceği de simülasyon öncesinden seçilmelidir.



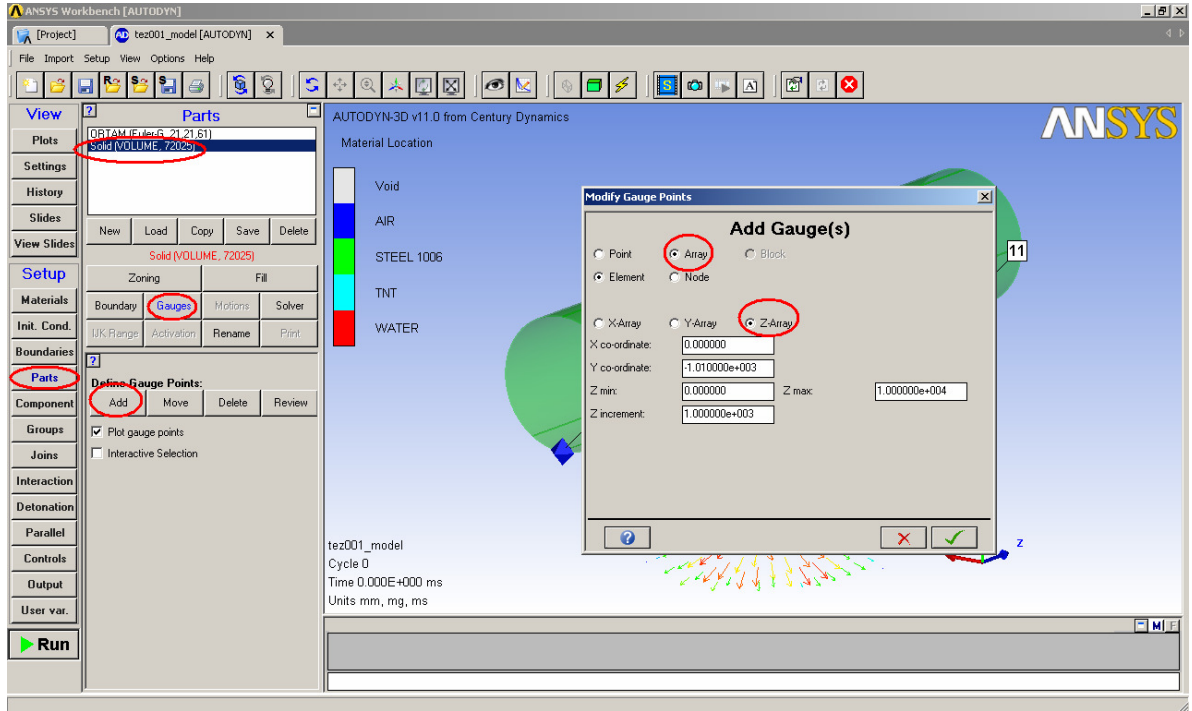
Şekil 6.62 Ölçüm aygıtları için sonuç parametrelerinin tanımlanması

Simülasyonunun her bir çevrim kaydetme periyodunda aynı zamanda bir de ekran görüntüsü kaydetmek için bir klasör tanımlayıp aralıklarının da belirtilmesi gerekmektedir. Modelin çalışma şeklinin görsel olarak incelenebilmesi için resimlerinin kaydedilmesi faydalı olmaktadır.



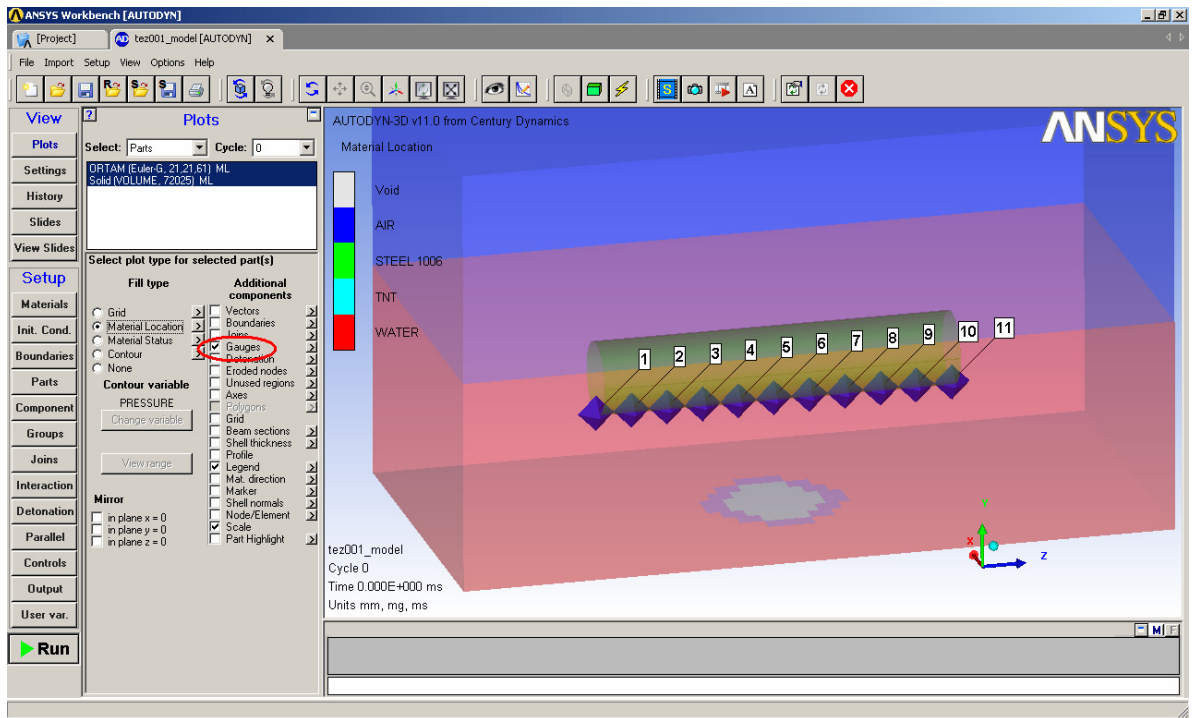
Şekil 6.63 Simülasyon içinde periyodik resimleme parametrelerinin tanımlanması

Normal şartlar altında simülasyonla ilgili önceden tanımlanmış her türlü parametreye bağlı sonuç almak mümkündür. Fakat modelde yer alan yapıların herhangi bir noktası için bu bilgilere ulaşmak mümkün değildir. Bunun için simülasyon öncesinden yapılar üzerine “Gauge” adı verilen ölçüm aygıtları eklenmelidir. Bu çalışmada silindirik borunun patlayıcıya yakın olan yüzey merkezine ardışık olarak 10 adet ölçüm aygıtı kullanılmıştır.



Şekil 6.64 Silindirik boru üzerine ölçüm aygıtı eklenmesi

Konulan bu ölçüm aygıtlarının gözle görülüp kontrol edilmesi için “Plots” ekranından “Gauges” seçeneğinin seçilmiş olması gerekmektedir.

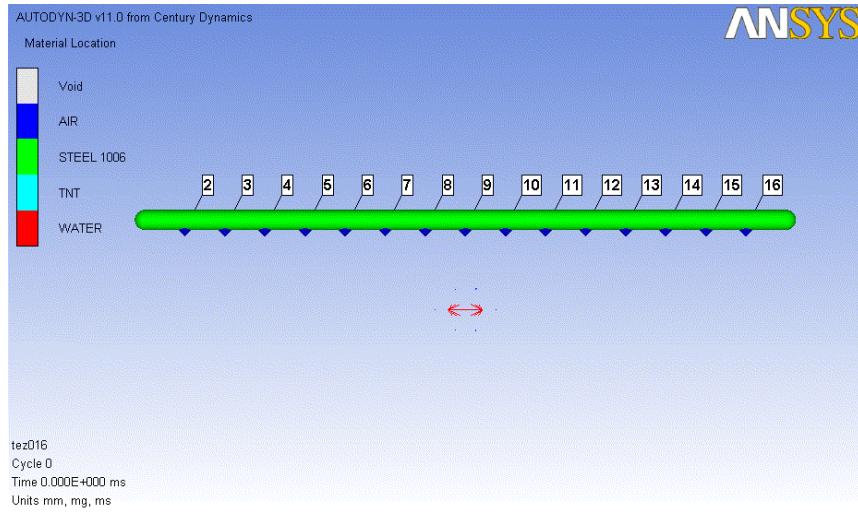


Şekil 6.65 Modelde bulunan ölçüm aygıtlarının görüntülenmesi

7. SONUÇLAR

Benzer uygulama denizaltı modeline benzemesi açısından iki ucu yarım kürelerle kapalı silindirik boru örneği üzerinde yapılarak sonuçlar incelenmiştir. 16500 mm uzunluğunda 500 mm çapında 5 mm et kalınlığında Ansys Steel 1006 malzemesi ile modellenen konstrüksiyon 100 gr TNT ile orta noktanın 2000 mm altından patlamaya maruz bırakılmıştır.

Konstrüksiyon üzerinde bulunan 16 adet ölçüm aygıtı ile patlamanın yol açtığı basınç, ivme, mutlak hız, yer değiştirme değerleri tespit edilmiştir. Geometrinin simetrik olması açısından ilk sekiz aygıtın okuma değerleri değerlendirilmiştir.

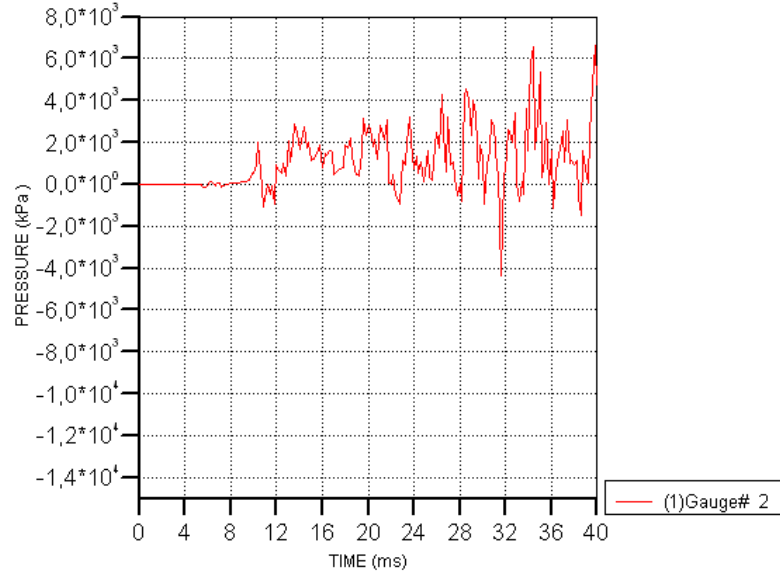


Şekil 7.1 İki ucu kapalı silindirik boru ve ölçüm aygıtları

7.1 Basınç – Zaman Grafikleri

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

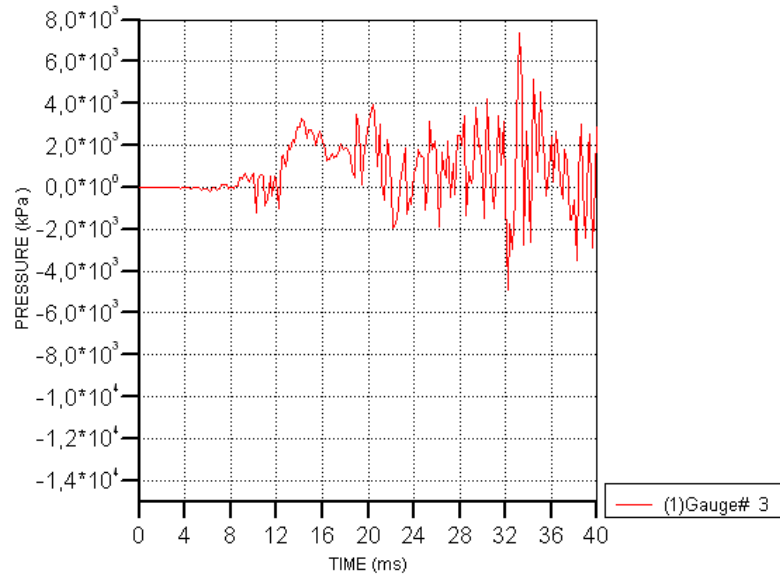
Gauge2 Basinc(kpa) - Zaman (ms)



Şekil 7.2 Gauge 2 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

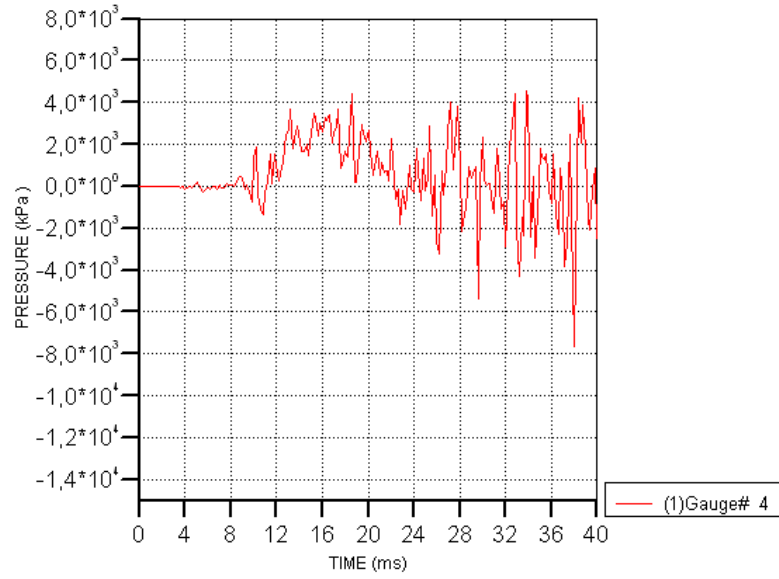
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge3 Basinc(kpa) - Zaman (ms)



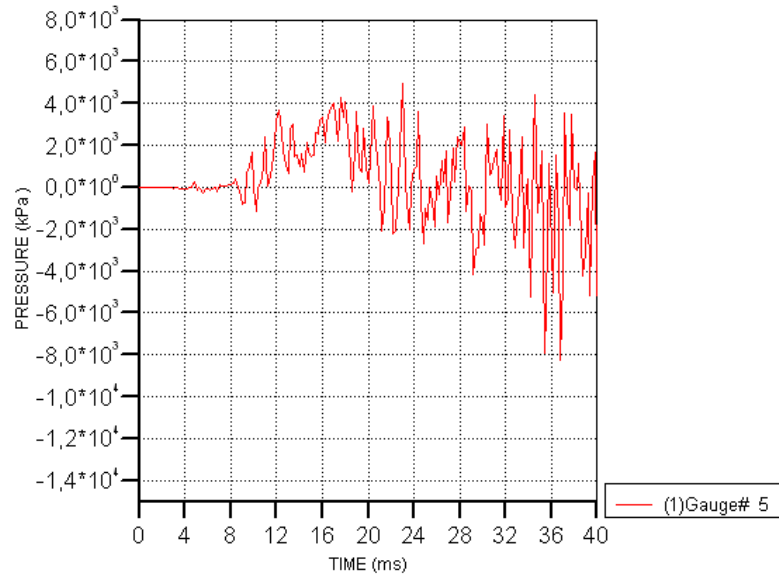
Şekil 7.3 Gauge 3 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge4 Basinc(kpa) - Zaman (ms)

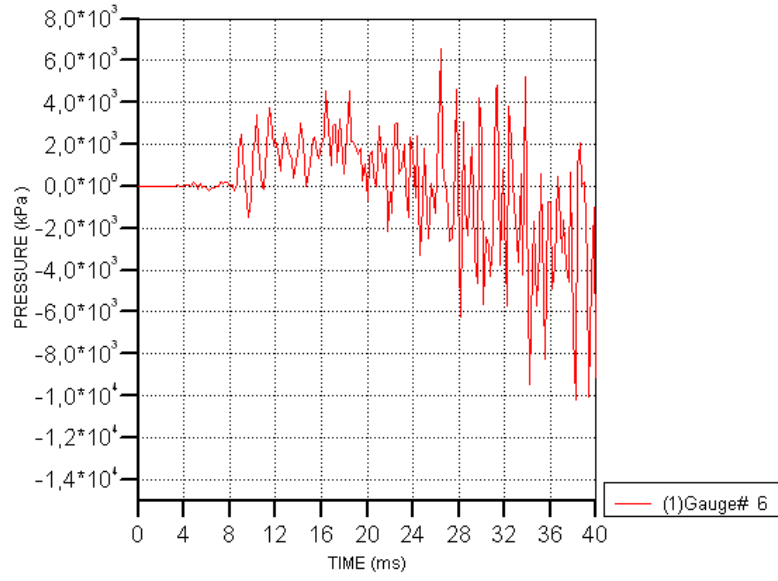
Şekil 7.4 Gauge 4 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge5 Basinc(kpa) - Zaman (ms)

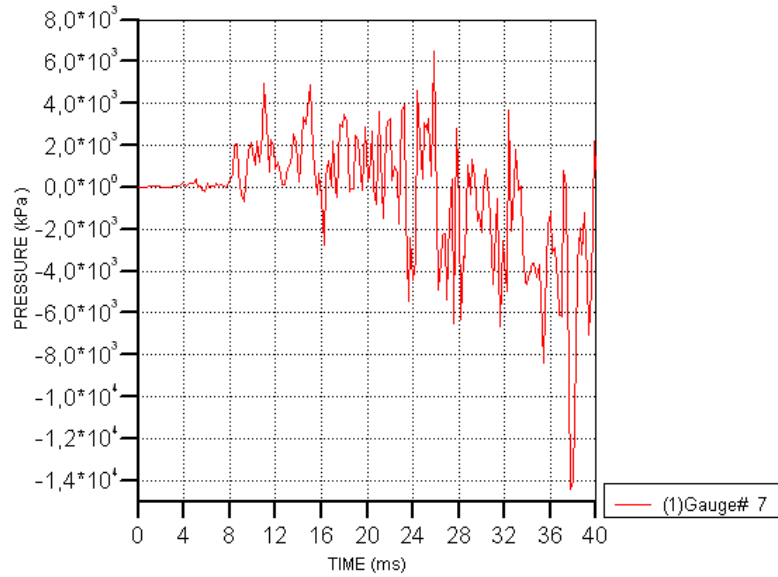
Şekil 7.5 Gauge 5 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge6 Basinc(kpa) - Zaman (ms)

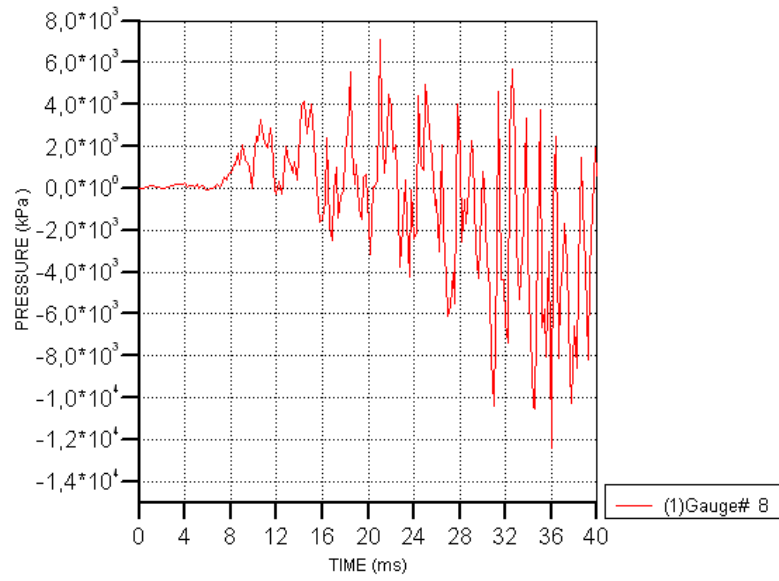
Şekil 7.6 Gauge 6 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge7 Basinc(kpa) - Zaman (ms)

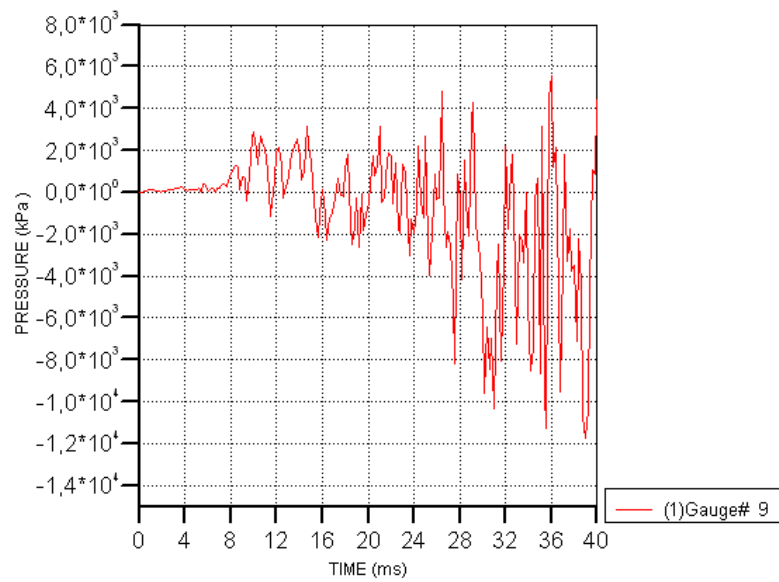
Şekil 7.7 Gauge 7 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge8 Basinc(kpa) - Zaman (ms)

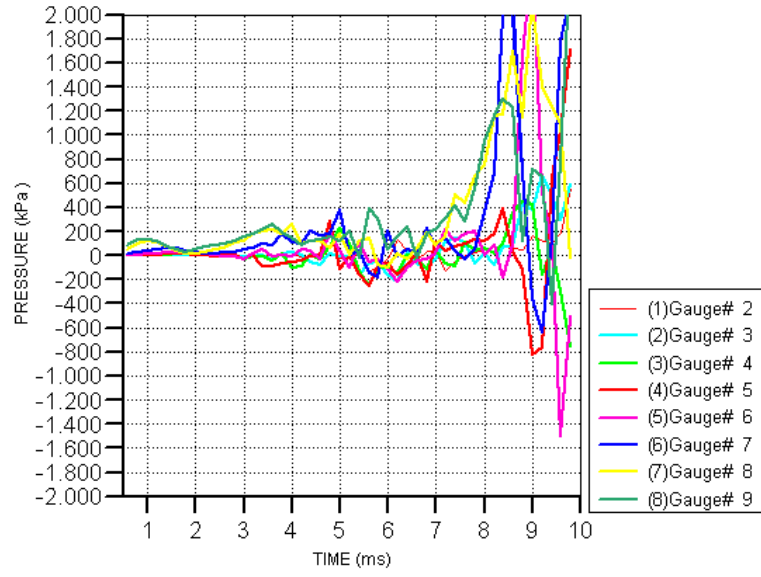
Şekil 7.8 Gauge 8 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge9 Basinc(kpa) - Zaman (ms)

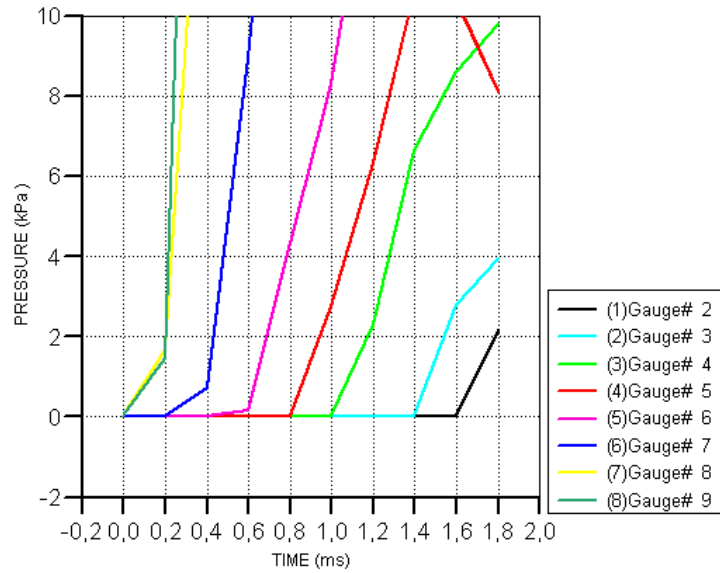
Şekil 7.9 Gauge 9 basınç (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

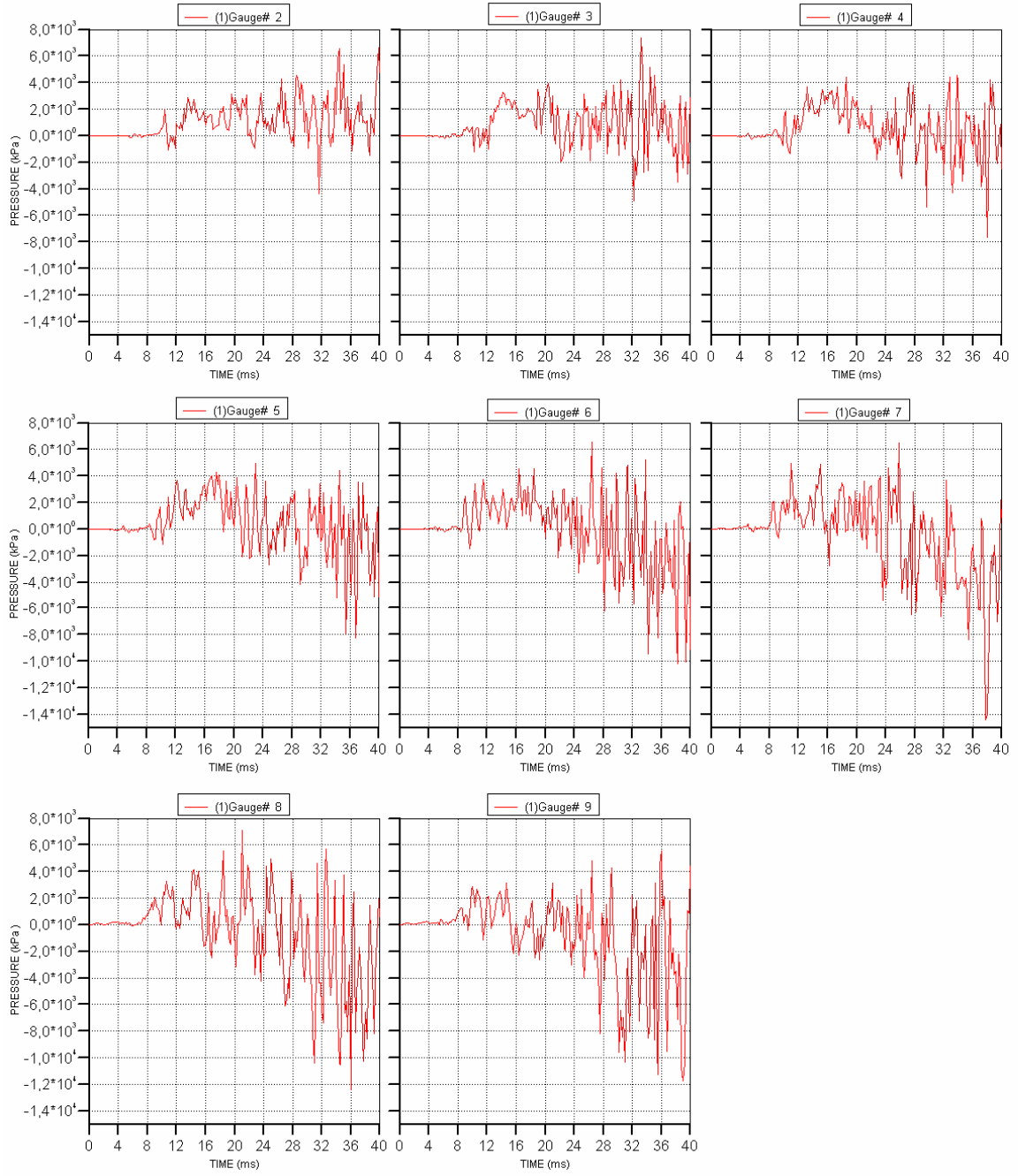
Gauge(2-9) Basinc(kpa) - Zaman (10) (ms)

Şekil 7.10 Bütün gauge'ler (2-9) için basınç (kpa) – zaman (10 ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge (2-9) Tepki Gecikmeleri Basinc (kPa) - Zaman (ms)

Şekil 7.11 Gauge 2-9 için tepki gecikme karşılaştırması



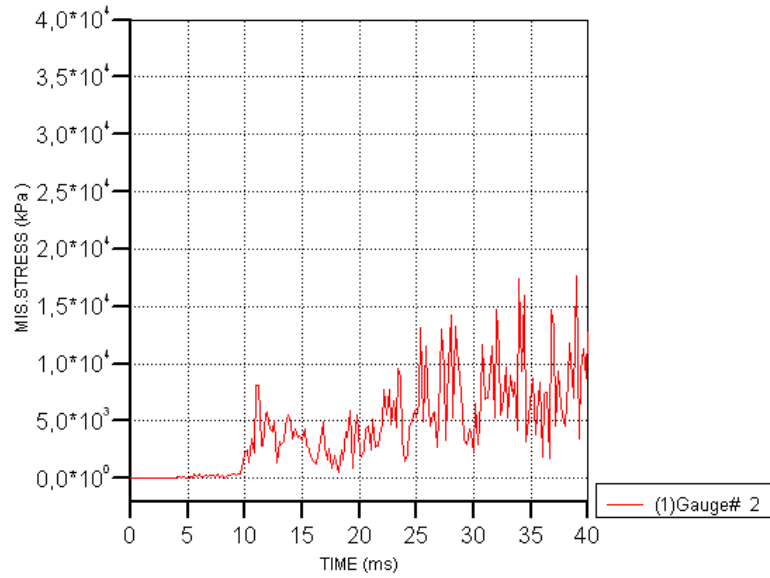
Şekil 7.12 Gauge 2-9 basınç zaman karşılaştırması

Görüldüğü gibi merkeze yakın üç noktadaki yer değiştirmeler 4 no'lu gauge'de en önce başlıyor daha sonra 3 ve 5 no'lu gauge'lere devam ediyor. Ölçüm aygıtlarının aralarında bulunan mesafelerde dalganın ilerleme hızı ile geçen zaman görülebilmektedir.

7.2 Von Mises Gerilme – Zaman Grafikleri

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

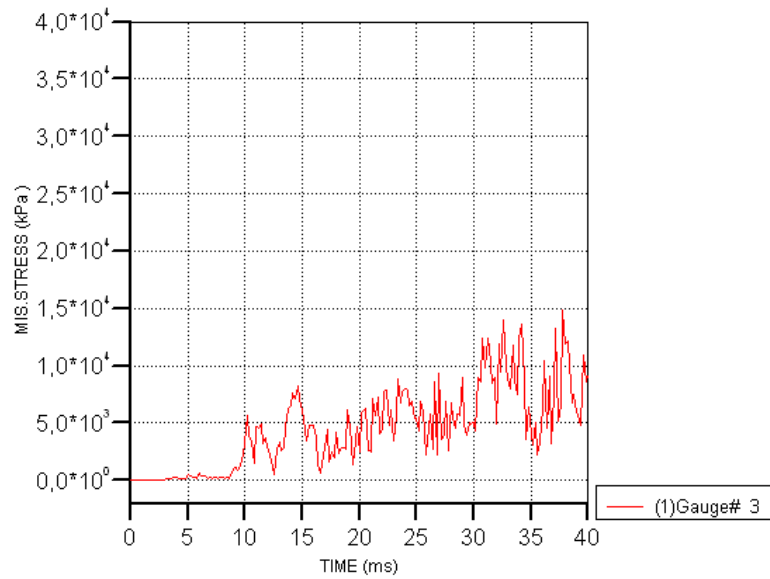
Gauge 2 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)



Şekil 7.13 Gauge 2 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

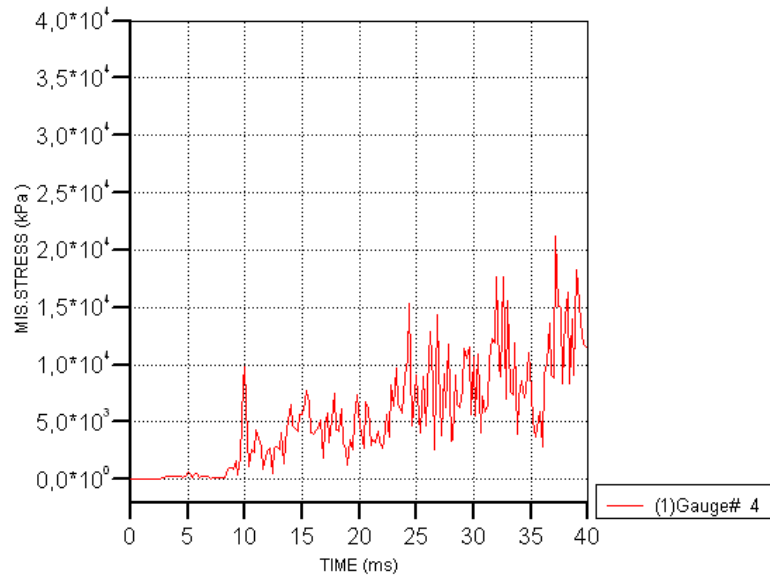
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 3 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)



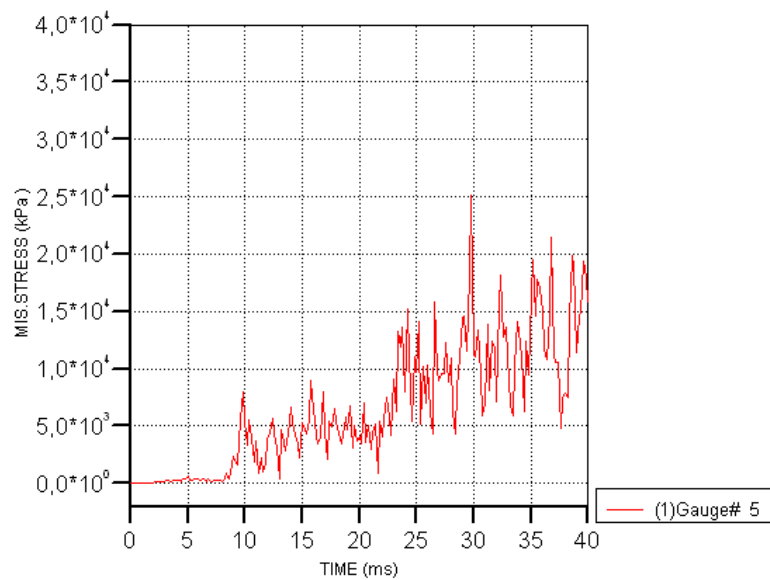
Şekil 7.14 Gauge 3 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 4 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)

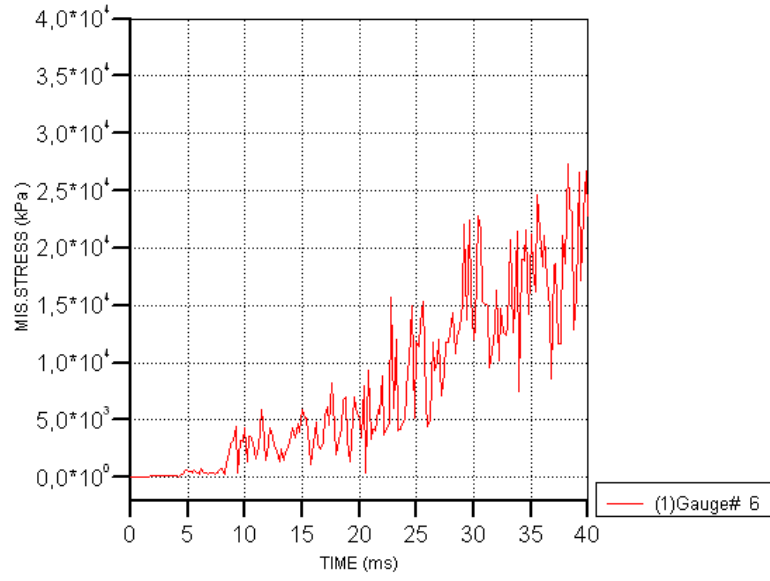
Şekil 7.15 Gauge 4 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 5 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)

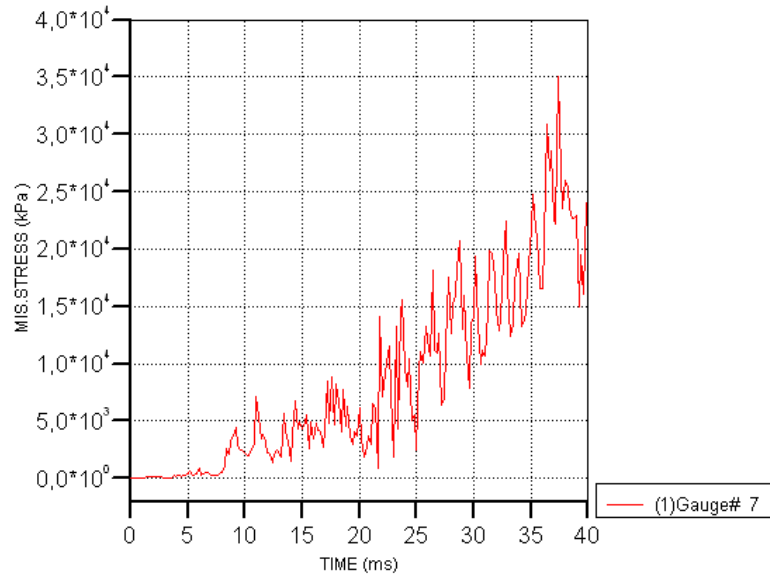
Şekil 7.16 Gauge 5 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 6 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)

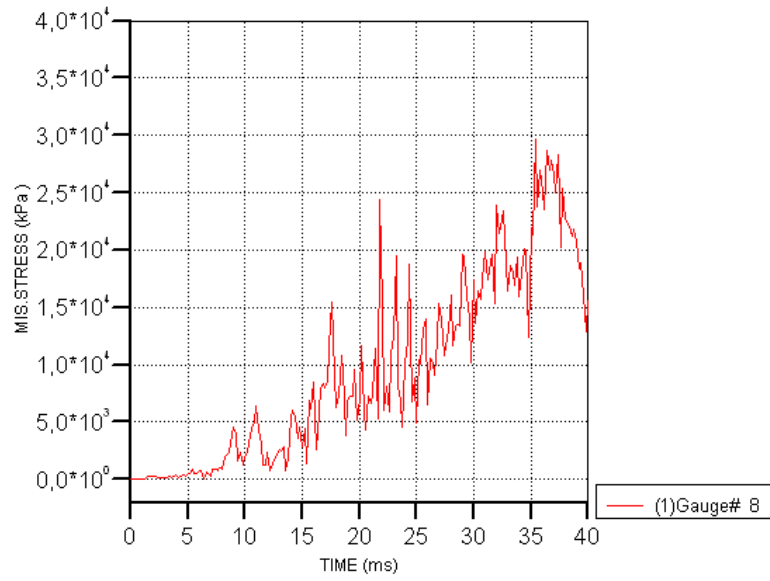
Şekil 7.17 Gauge 6 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 7 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)

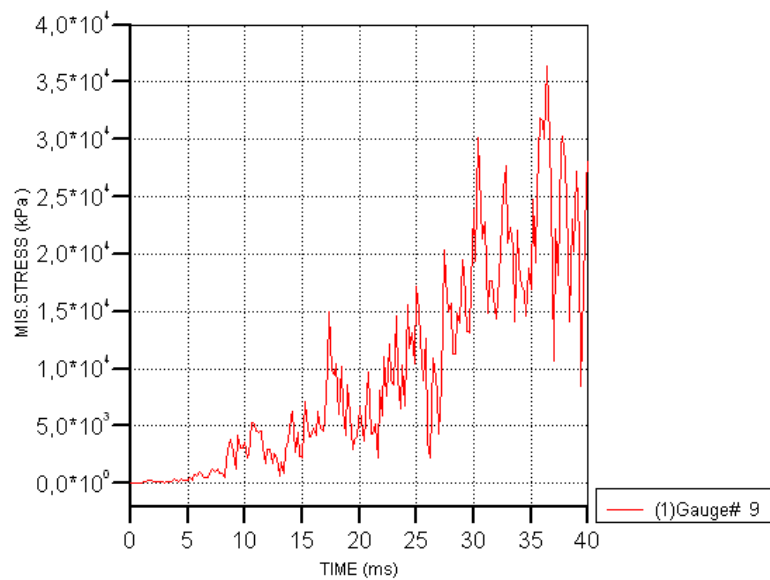
Şekil 7.18 Gauge 7 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

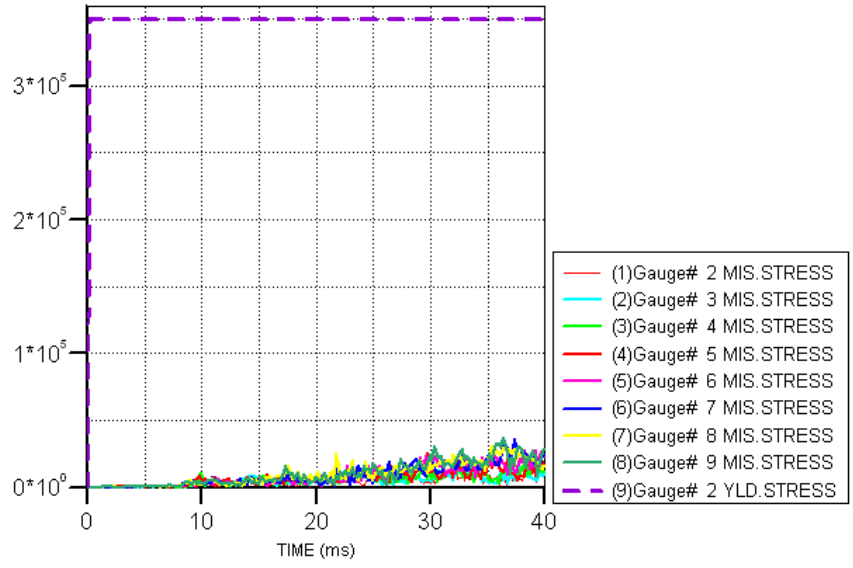
Gauge 8 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)

Şekil 7.19 Gauge 8 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

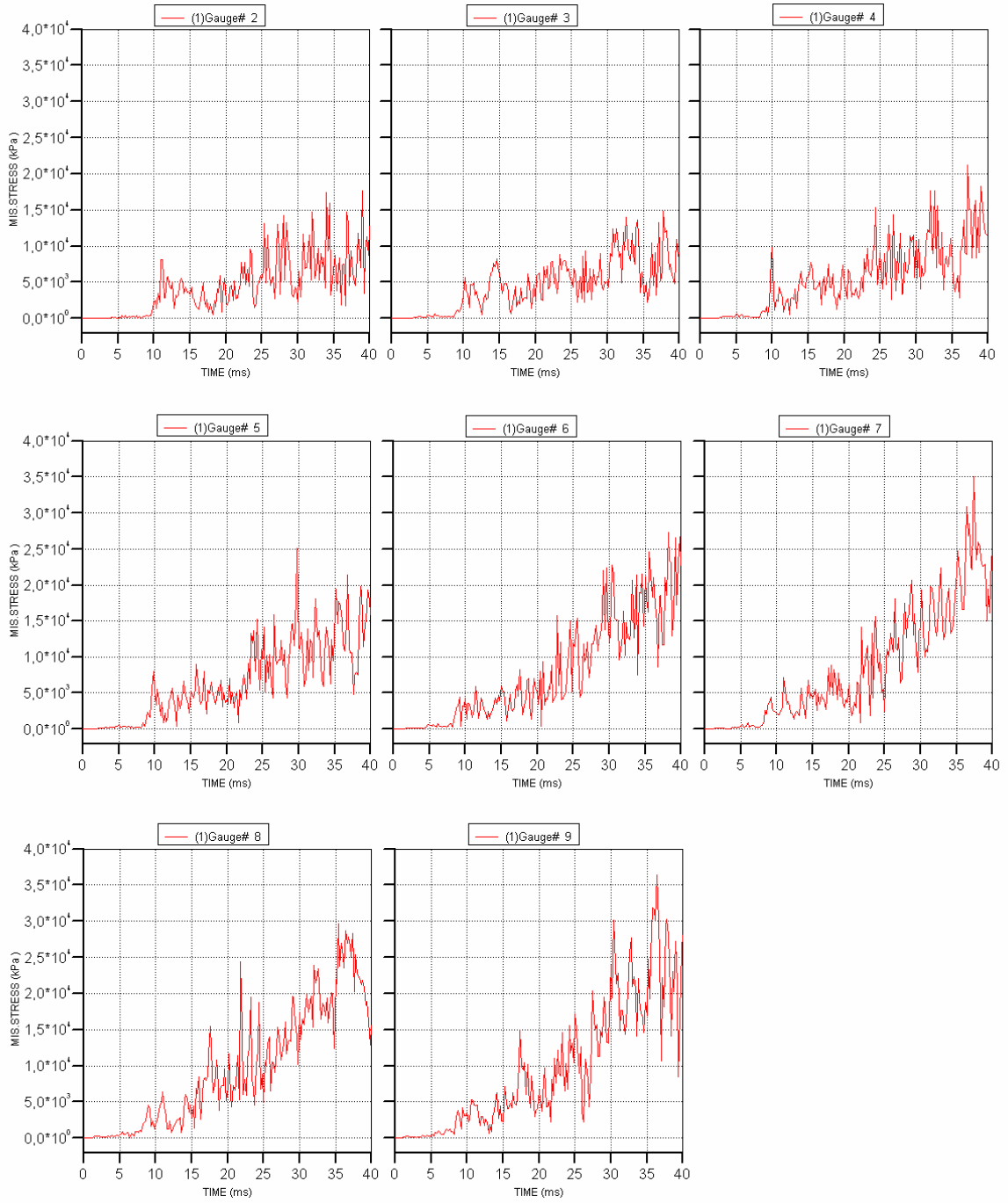
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 9 VonMises Gerilmesi (kPa) - Zaman (ms)

Şekil 7.20 Gauge 9 Von Mises gerilimi (kpa) – zaman (ms) grafiği

Akma Gerilmesi ve VonMises Gerilmeleri - Zaman (ms)

Şekil 7.21 Bütün gauge'ler (2-9) için von mises gerilimi ve Steel 1006 akma gerilmesi (kpa) – zaman (ms) grafiği

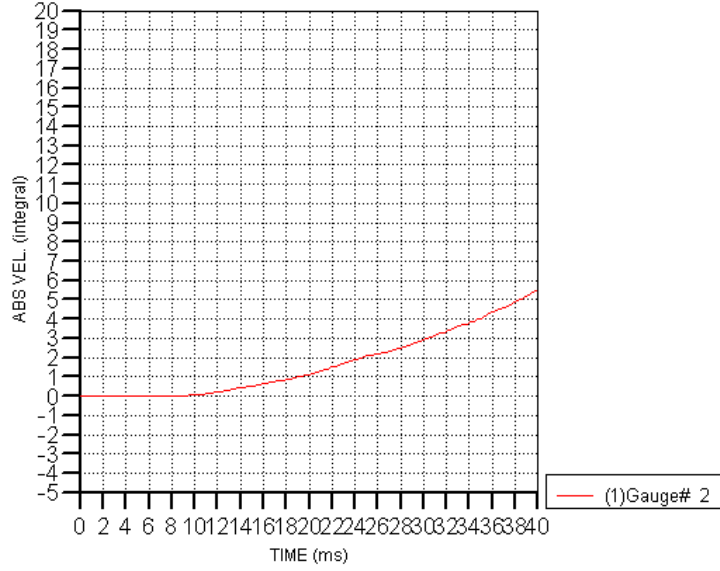


Şekil 7.22 Gauge 2-9 Von Mises gerilimi karşılaştırması

7.3 Yer Değiştirme – Zaman Grafikleri

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

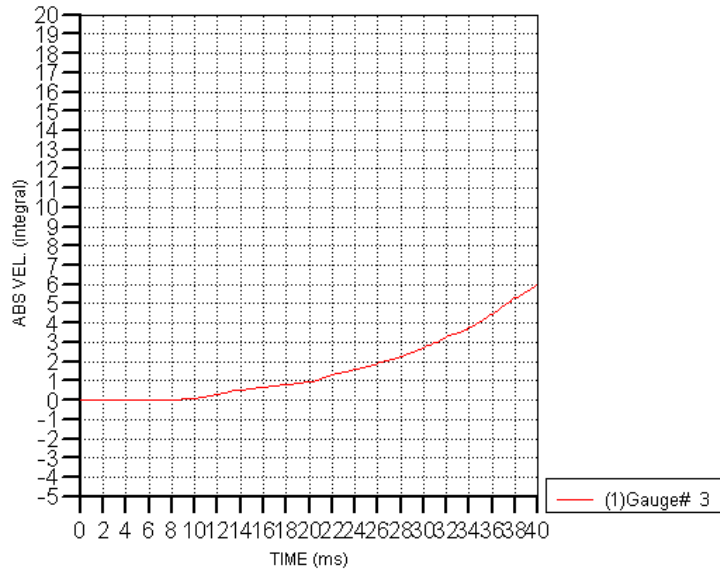
Gauge 2 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)



Şekil 7.23 Gauge 2 yer değişikliği (mm) – zaman (ms) grafiği

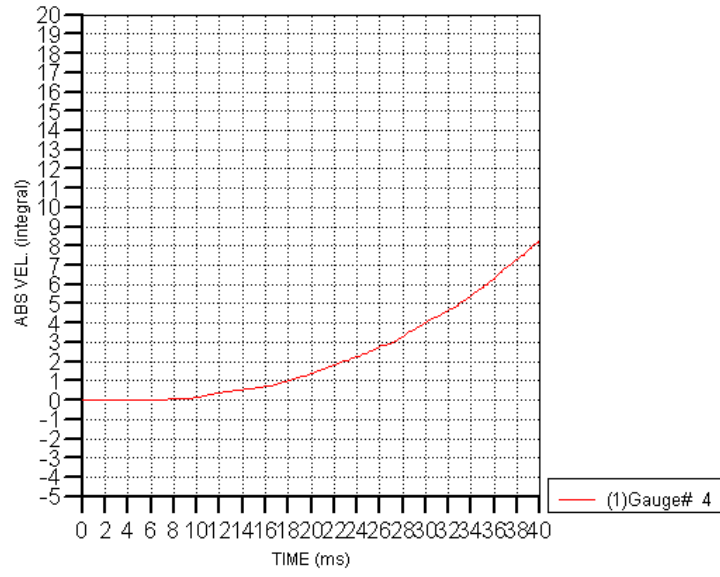
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 3 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)



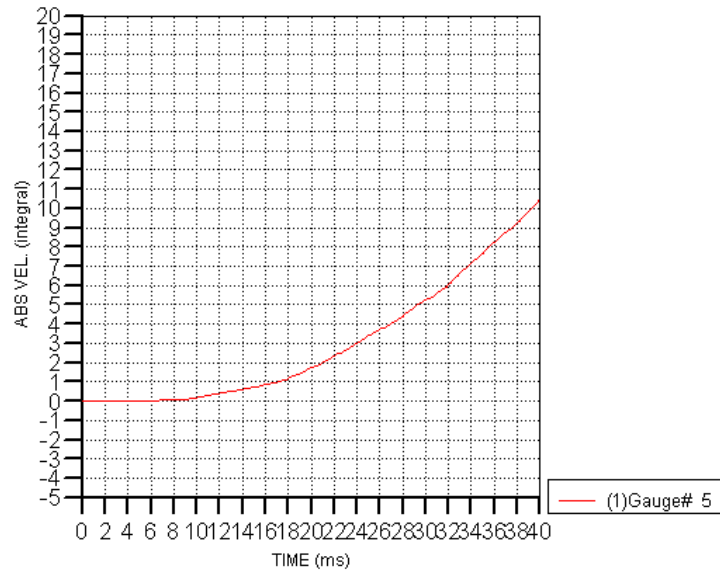
Şekil 7.24 Gauge 3 yer değişikliği (mm) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

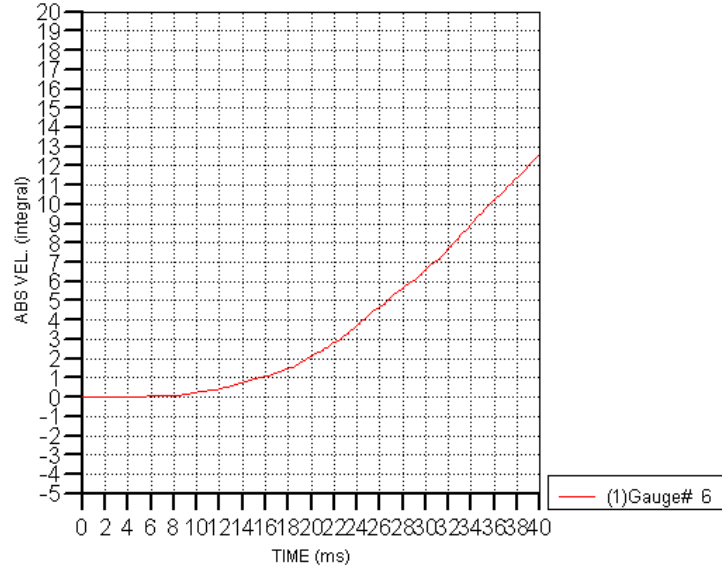
Gauge 4 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)

Şekil 7.25 Gauge 4 yer değıştirme (mm) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

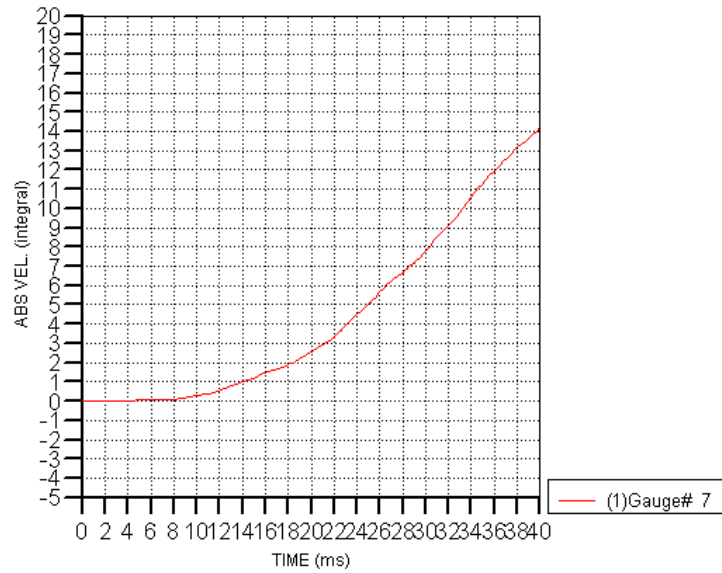
Gauge 5 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

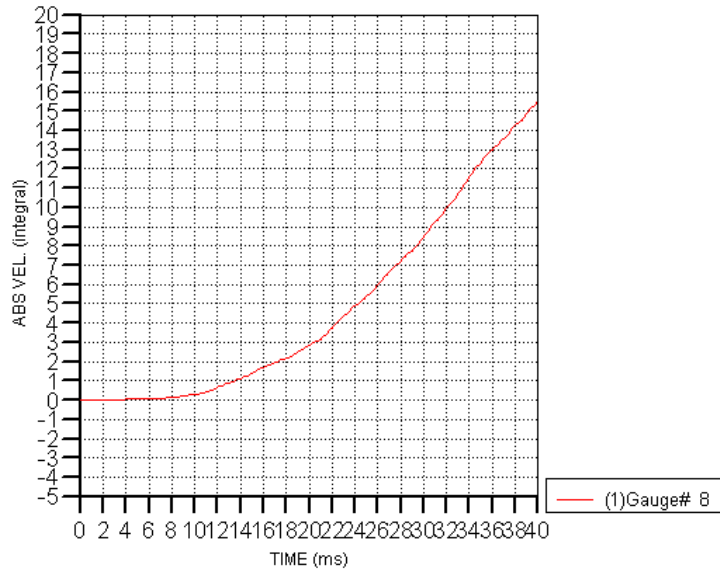
Gauge 6 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)

Şekil 7.27 Gauge 6 yer değıştirme (mm) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

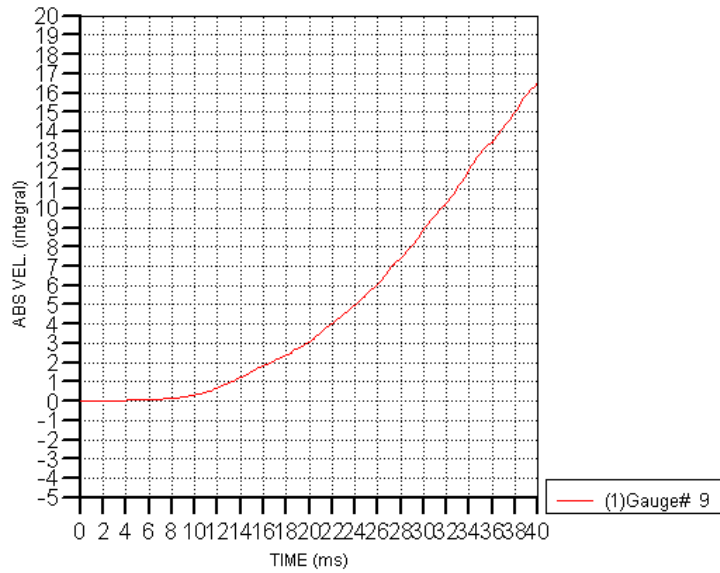
Gauge 7 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

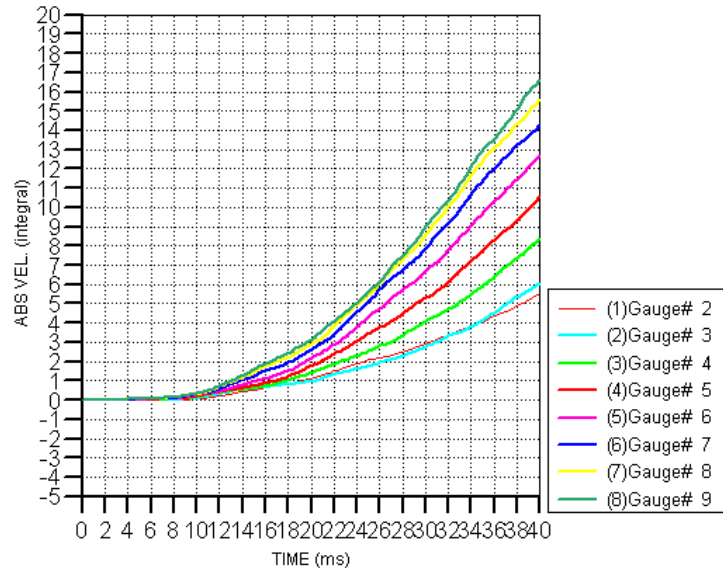
Gauge 8 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)

Şekil 7.29 Gauge 8 yer değıştirme (mm) – zaman (ms) grafiği

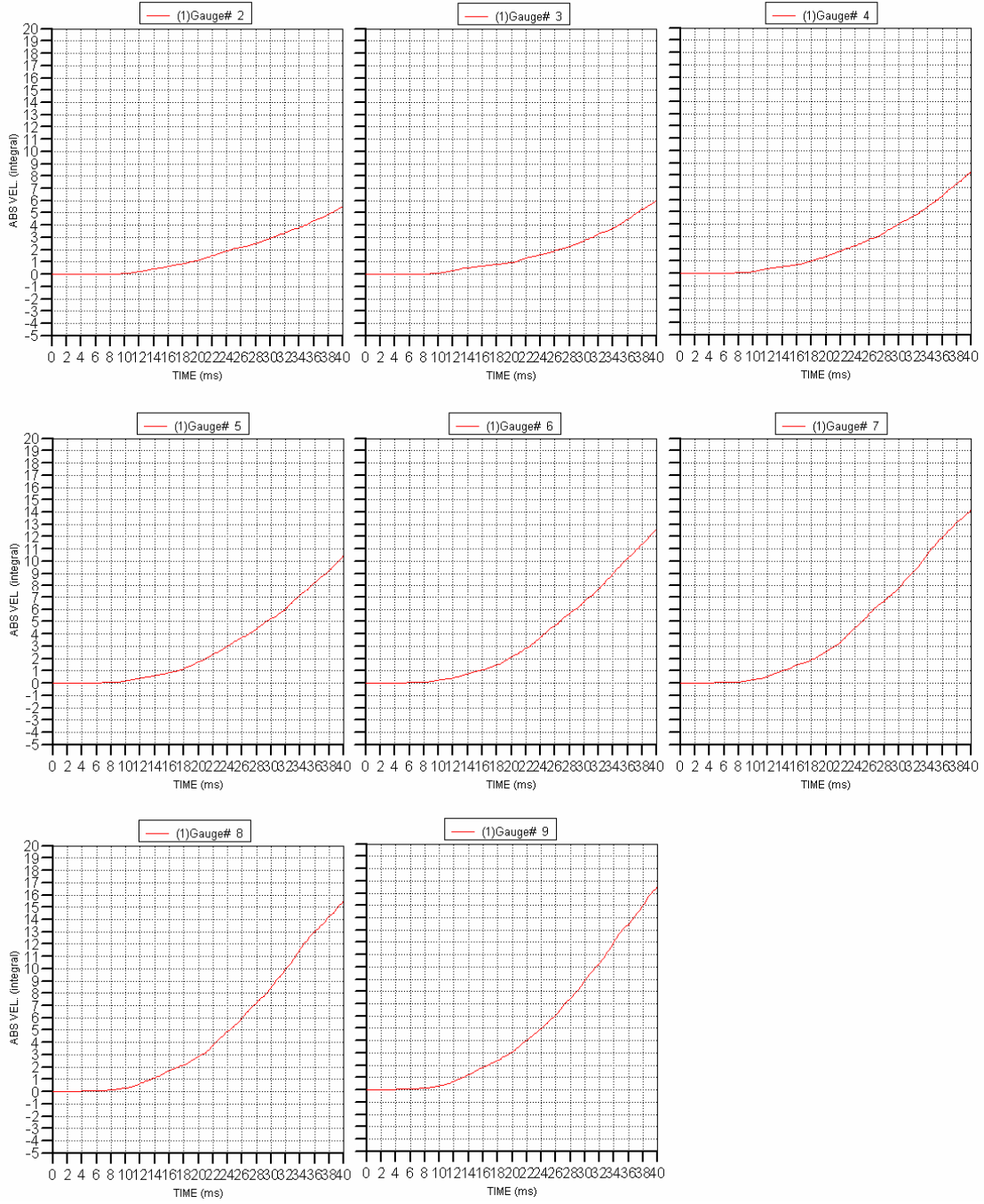
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 9 Yerdegistirme (mm) - Zaman (ms)

Şekil 7.30 Gauge 9 yer değıştirme (mm) – zaman (ms) grafiği

Gauge (2-9) Yerdegistirme (mm) - Zaman (40) (ms)

Şekil 7.31 Bütün gauge'ler (2-9) için yer değıştirme (mm) – zaman (ms) grafiği

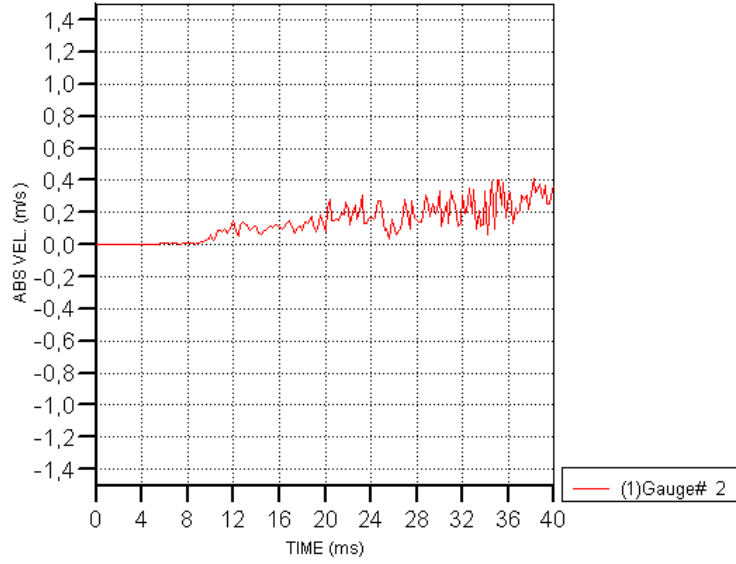


Şekil 7.32 Bütün gauge'ler (2-9) için yer değiştirme karşılaştırması

7.4 Hız – Zaman Grafikleri

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

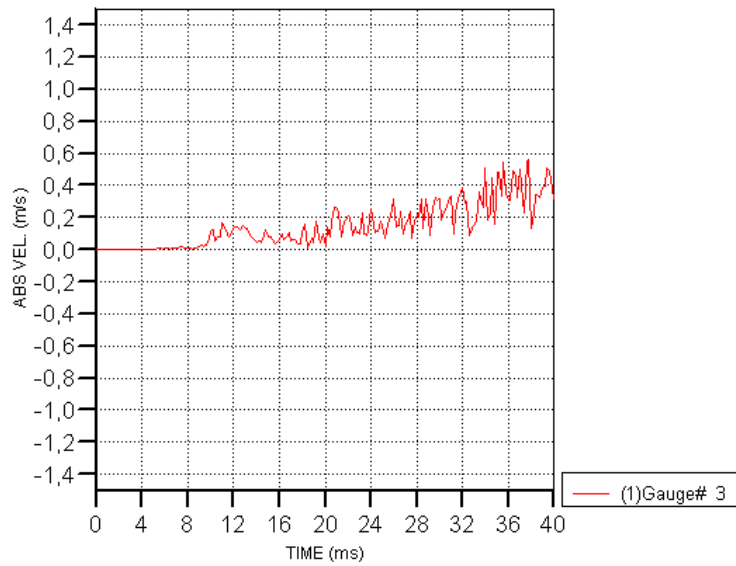
Gauge 2 Mutlak Hız (mm/ms) - Zaman (ms)



Şekil 7.33 Gauge 2 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

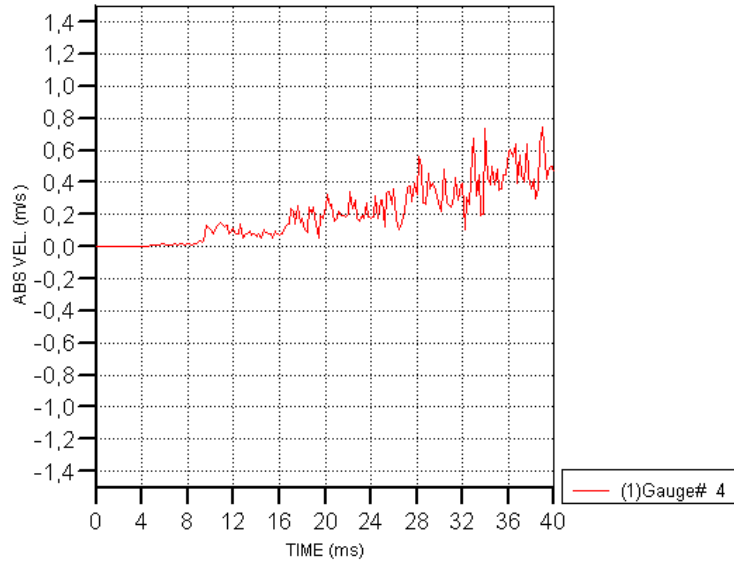
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 3 Mutlak Hız (mm/ms) - Zaman (ms)



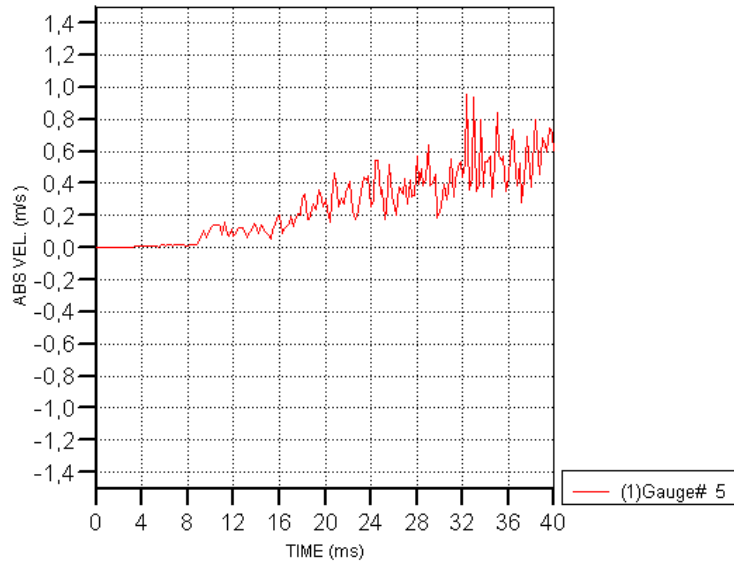
Şekil 7.34 Gauge 3 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 4 Mutlak Hiz (mm/ms) - Zaman (ms)

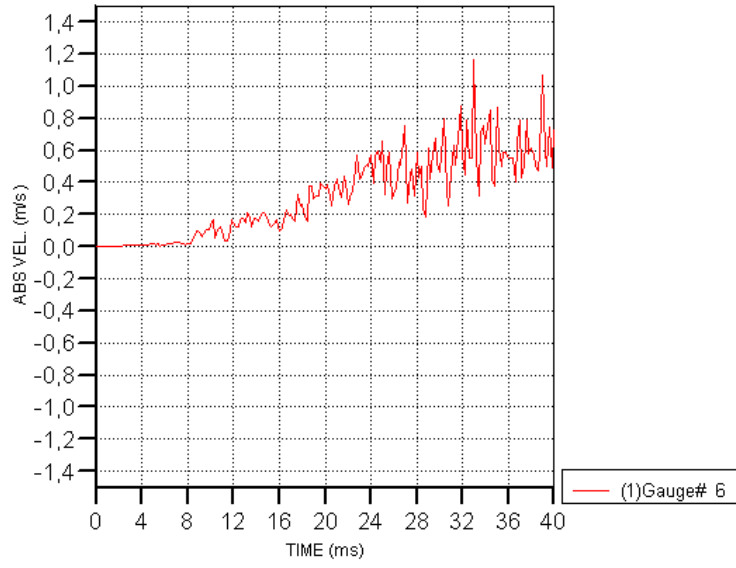
Şekil 7.35 Gauge 4 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 5 Mutlak Hiz (mm/ms) - Zaman (ms)

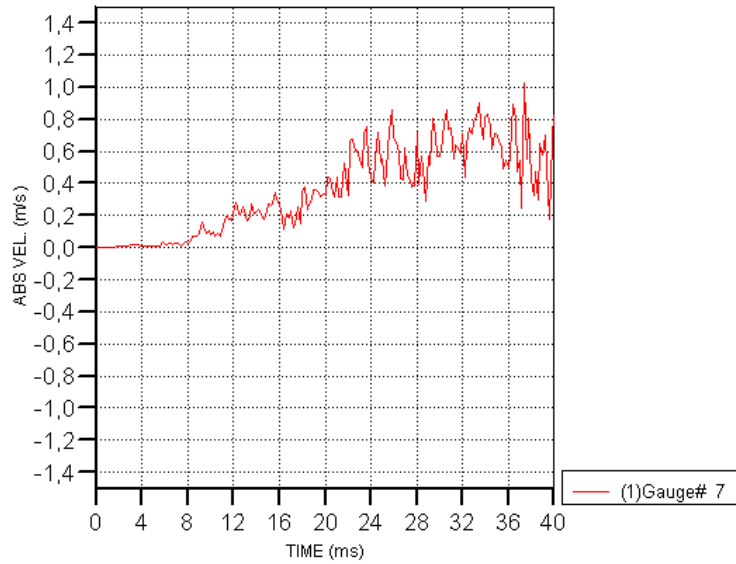
Şekil 7.36 Gauge 5 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 6 Mutlak Hiz (mm/ms) - Zaman (ms)

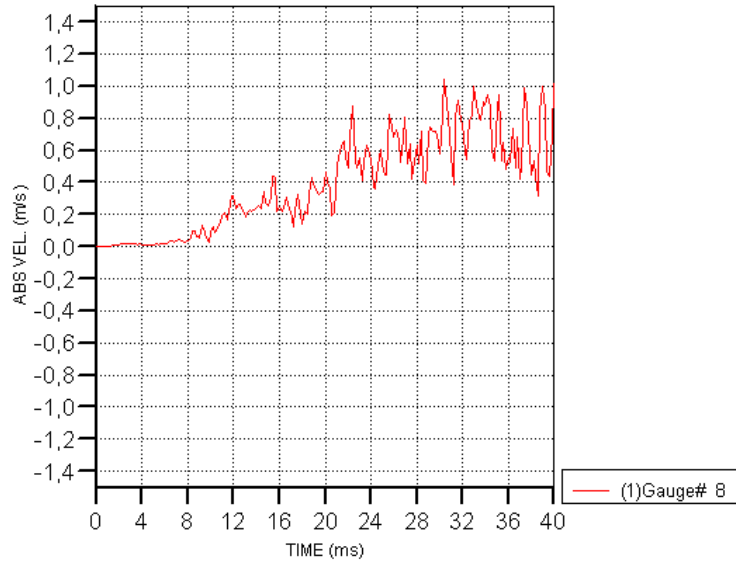
Şekil 7.37 Gauge 6 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 7 Mutlak Hiz (mm/ms) - Zaman (ms)

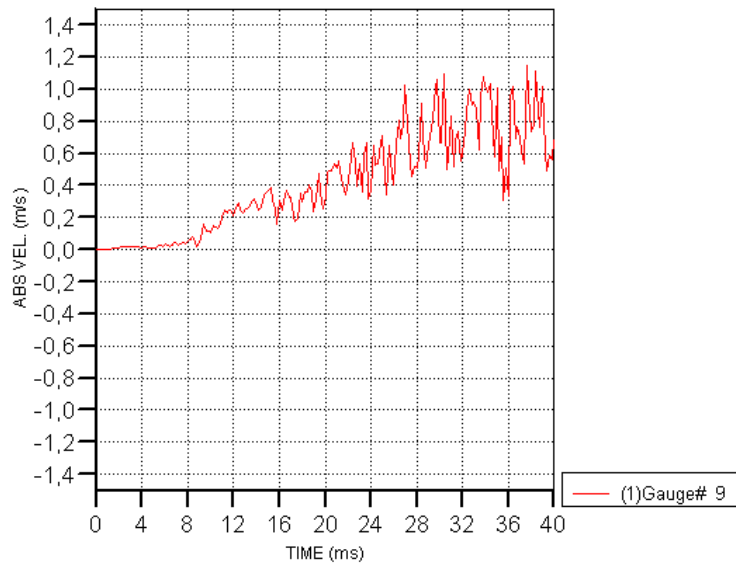
Şekil 7.38 Gauge 7 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

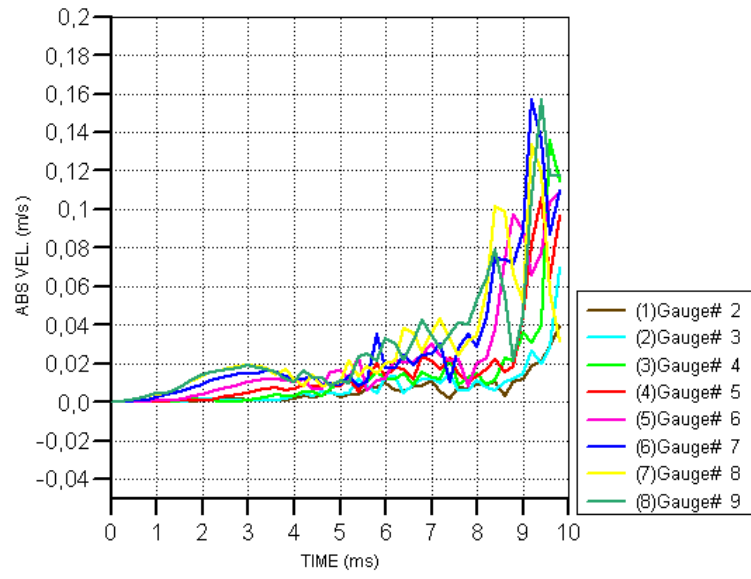
Gauge 8 Mutlak Hiz (mm/ms) - Zaman (ms)

Şekil 7.39 Gauge 8 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

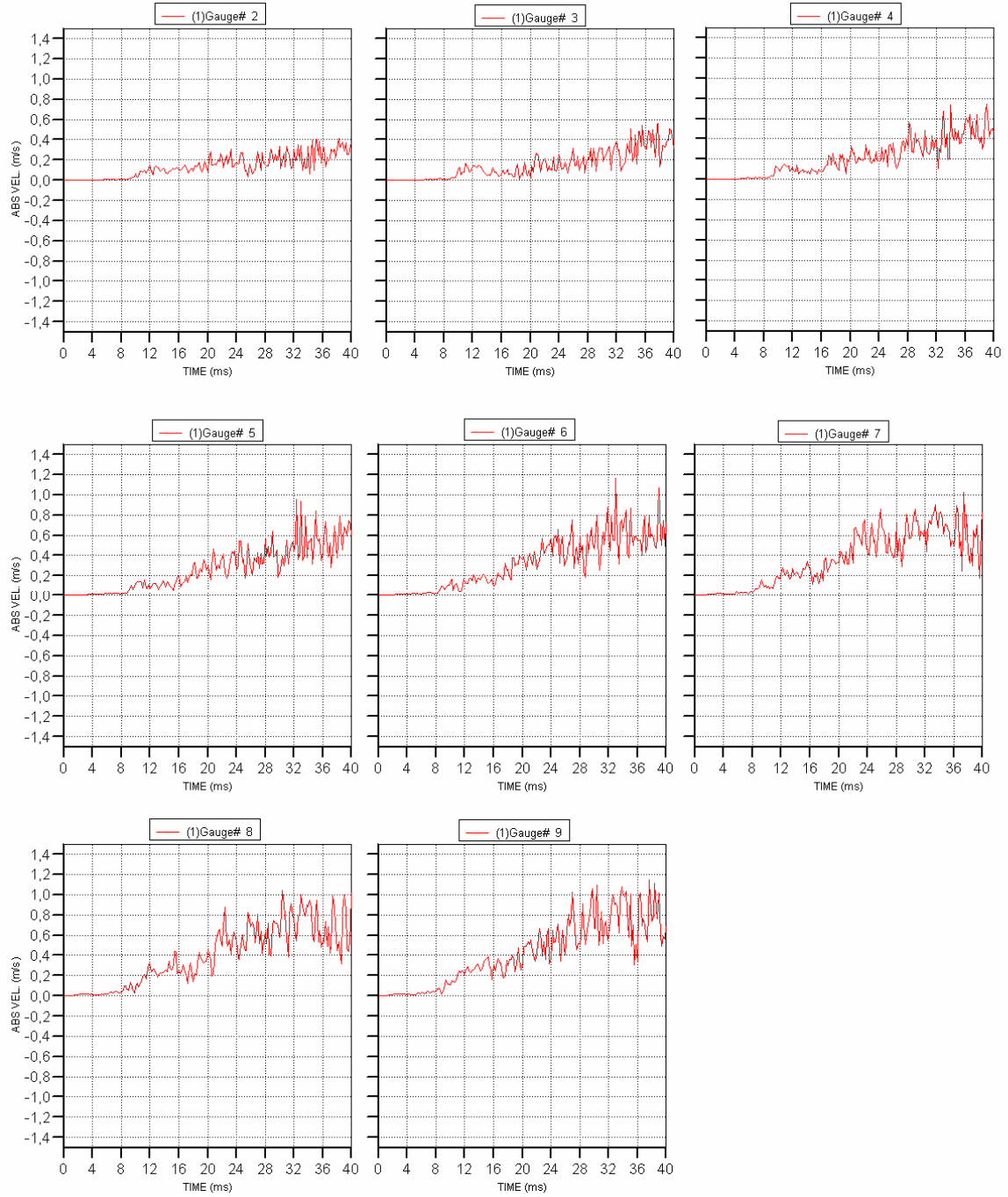
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 9 Mutlak Hiz (mm/ms) - Zaman (ms)

Şekil 7.40 Gauge 9 mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği

Gauge (2-9) Mutlak Hiz (mm/ms) - Zaman (10) (ms)

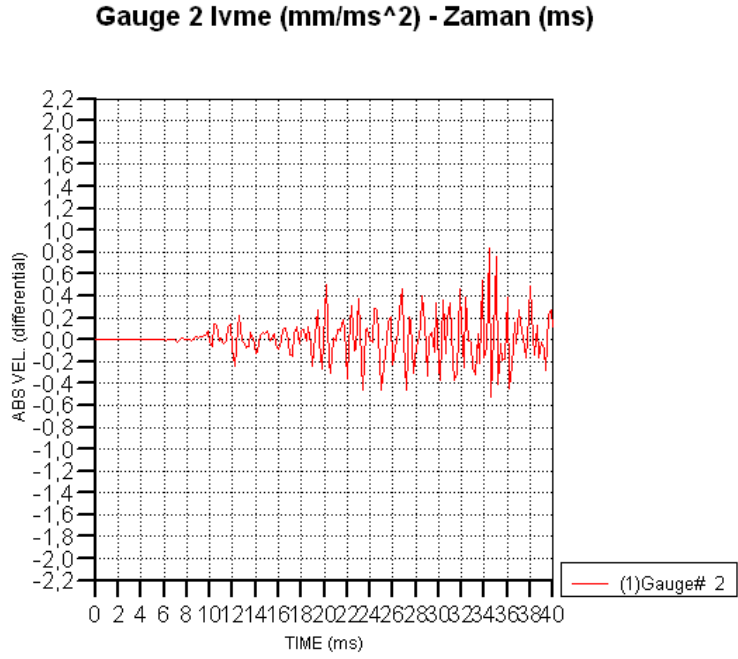
Şekil 7.41 Bütün gauge'ler (2-9) için mutlak hız (mm/ms) – zaman (ms) grafiği



Şekil 7.42 Bütün gauge'ler (2-9) için mutlak hız karşılaştırması

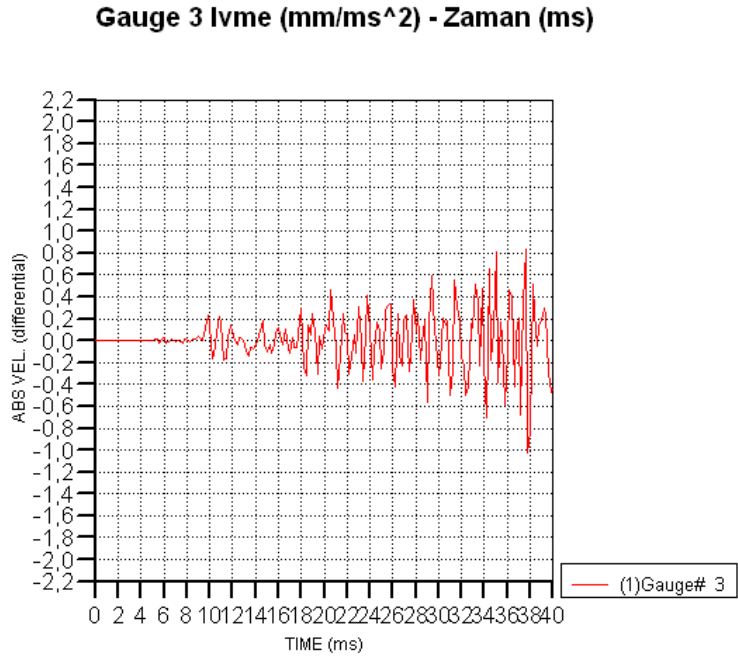
7.5 İvme – Zaman Grafikleri

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics



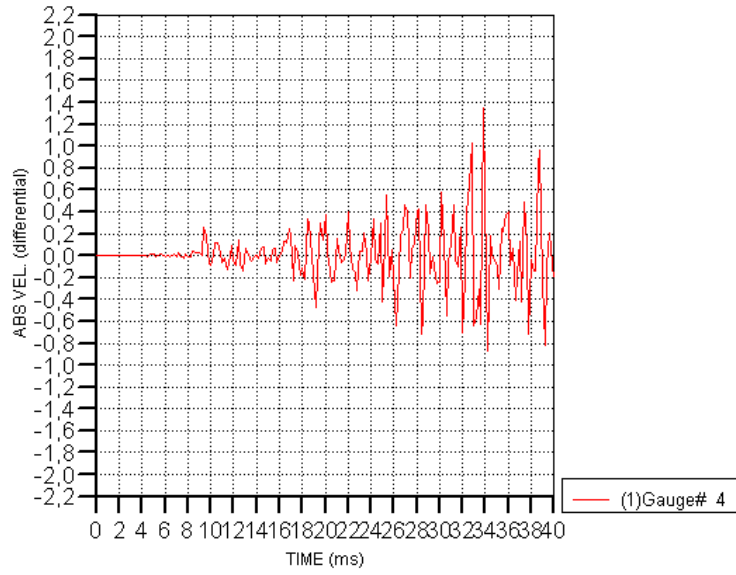
Şekil 7.43 Gauge 2 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

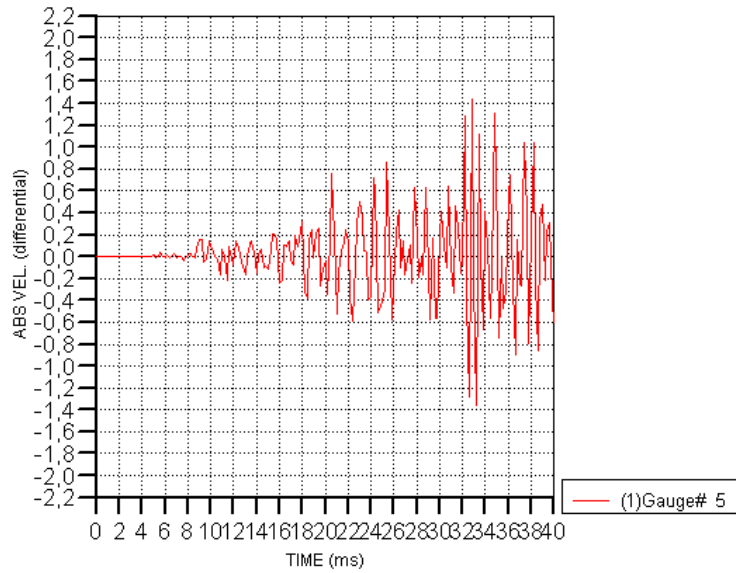


Şekil 7.44 Gauge 3 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği

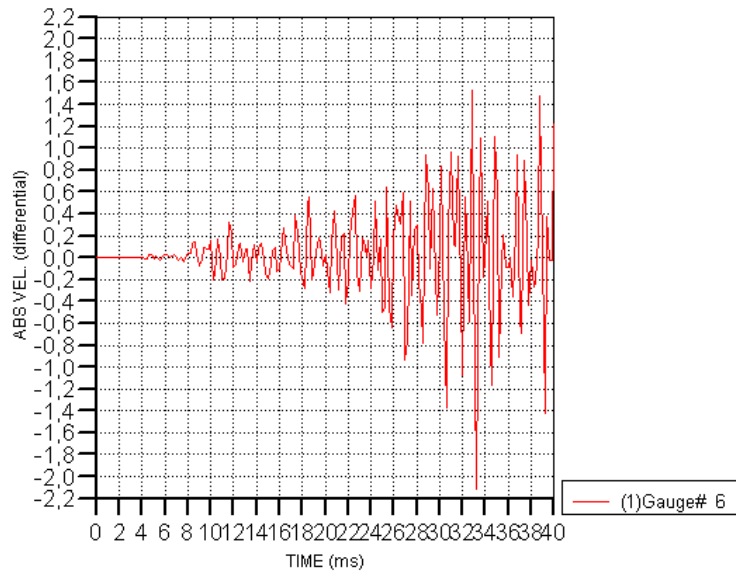
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 4 Ivme (mm/ms²) - Zaman (ms)Şekil 7.45 Gauge 4 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği

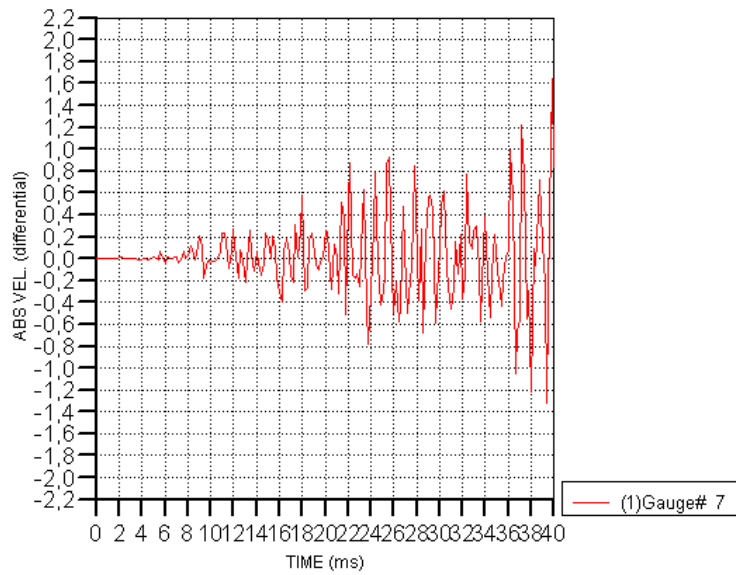
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 5 Ivme (mm/ms²) - Zaman (ms)Şekil 7.46 Gauge 5 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği

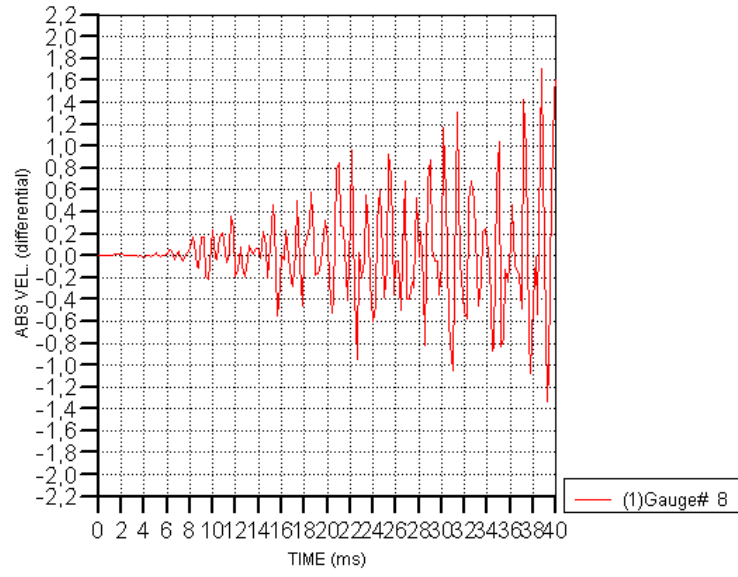
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 6 Ivme (mm/ms²) - Zaman (ms)**Şekil 7.47 Gauge 6 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği**

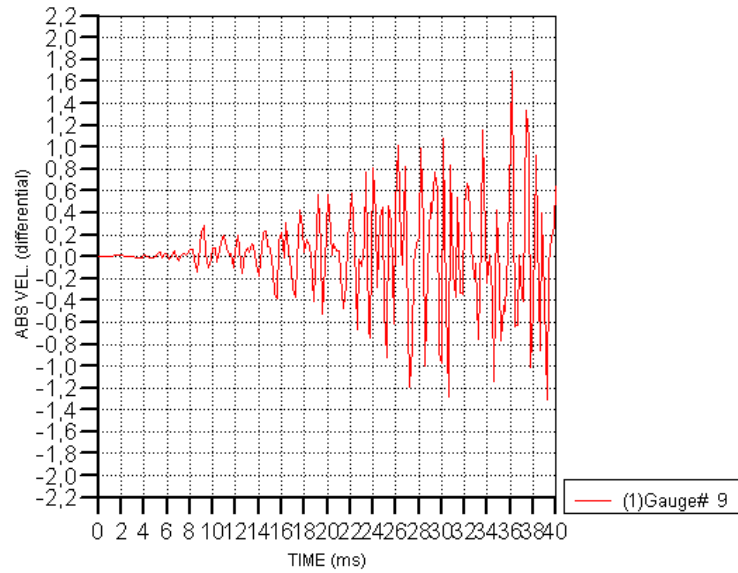
AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

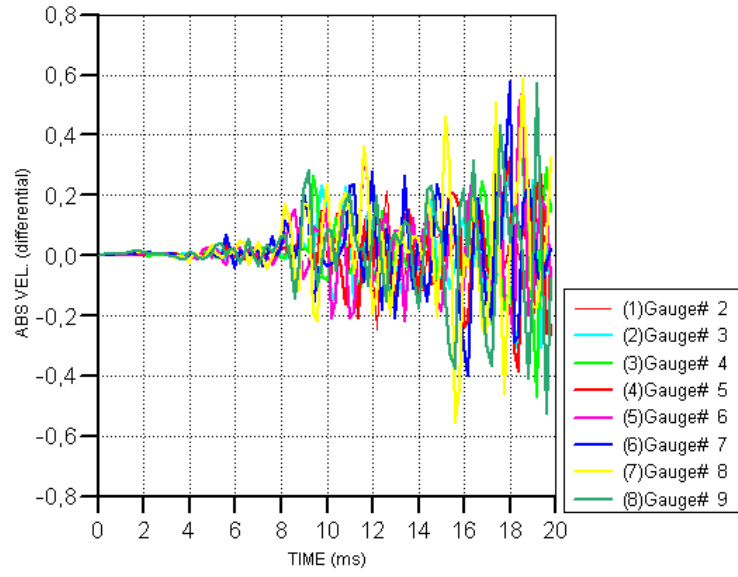
Gauge 7 Ivme (mm/ms²) - Zaman (ms)**Şekil 7.48 Gauge 7 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği**

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

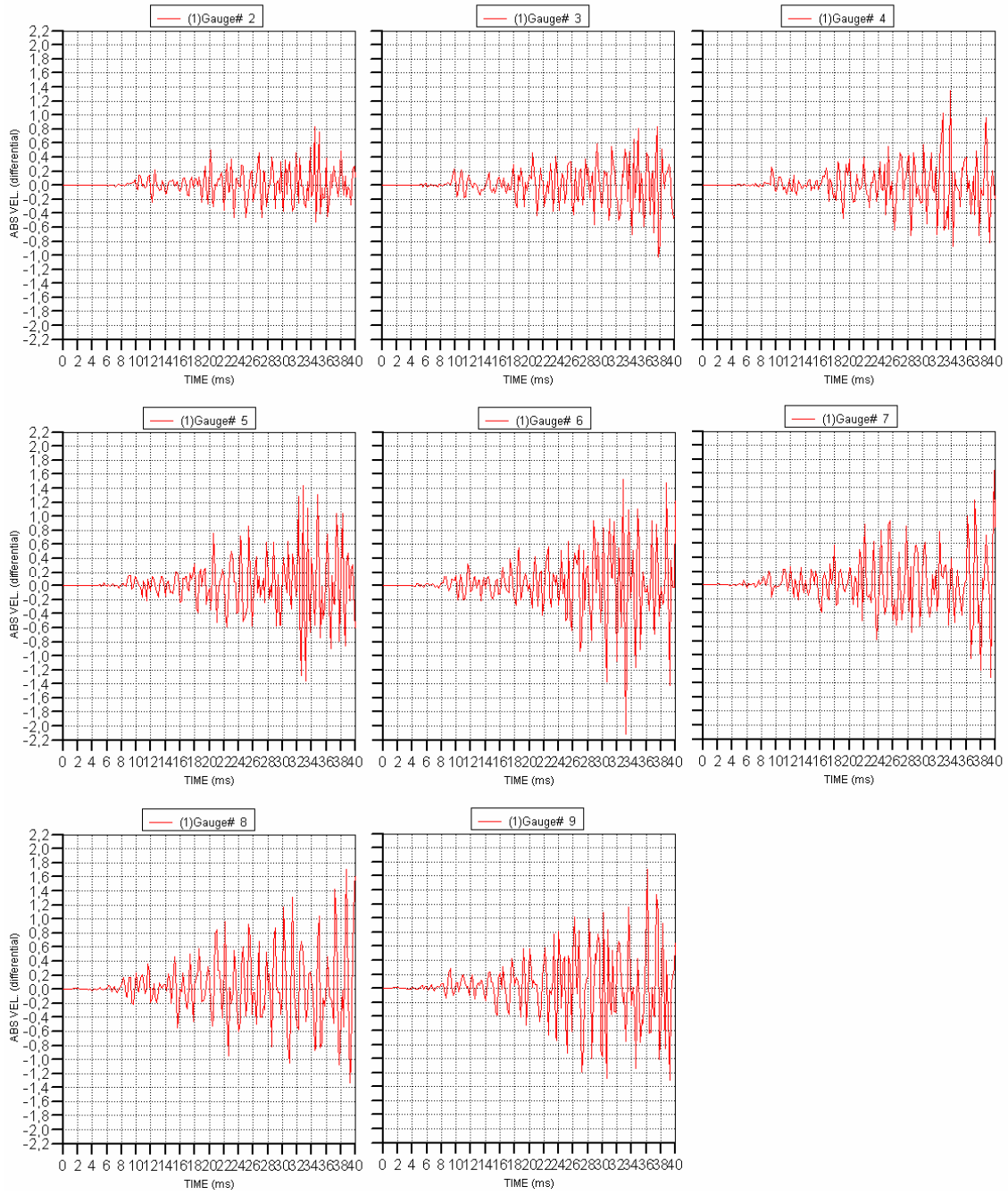
Gauge 8 Ivme (mm/ms²) - Zaman (ms)**Şekil 7.49 Gauge 8 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği**

AUTODYN-3D v11.0 from Century Dynamics

Gauge 9 Ivme (mm/ms²) - Zaman (ms)**Şekil 7.50 Gauge 9 ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği**

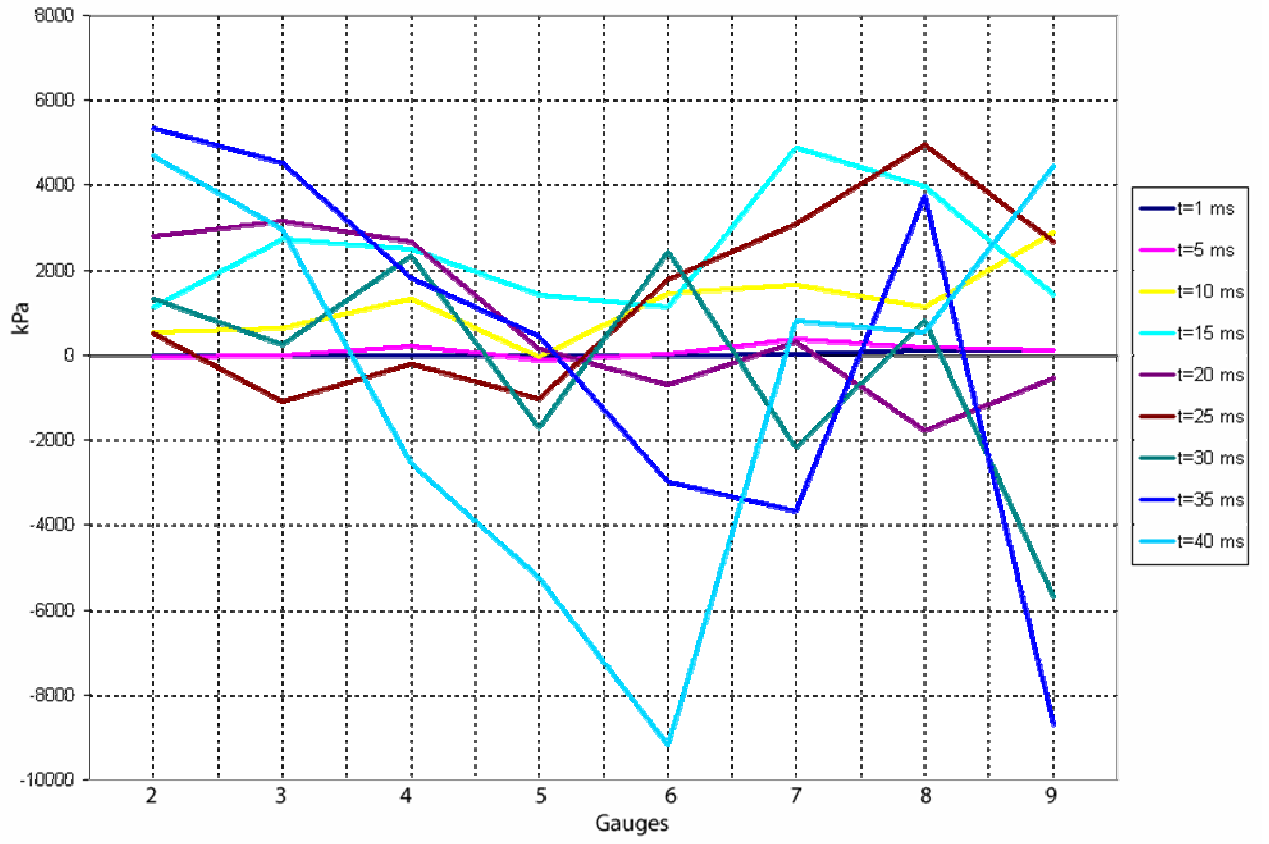
Gauge (2-9) Ivme (mm/ms²) - Zaman (20) (ms)

Şekil 7.51 Bütün gauge'ler (2-9) için ivme (mm/ms²) – zaman (ms) grafiği

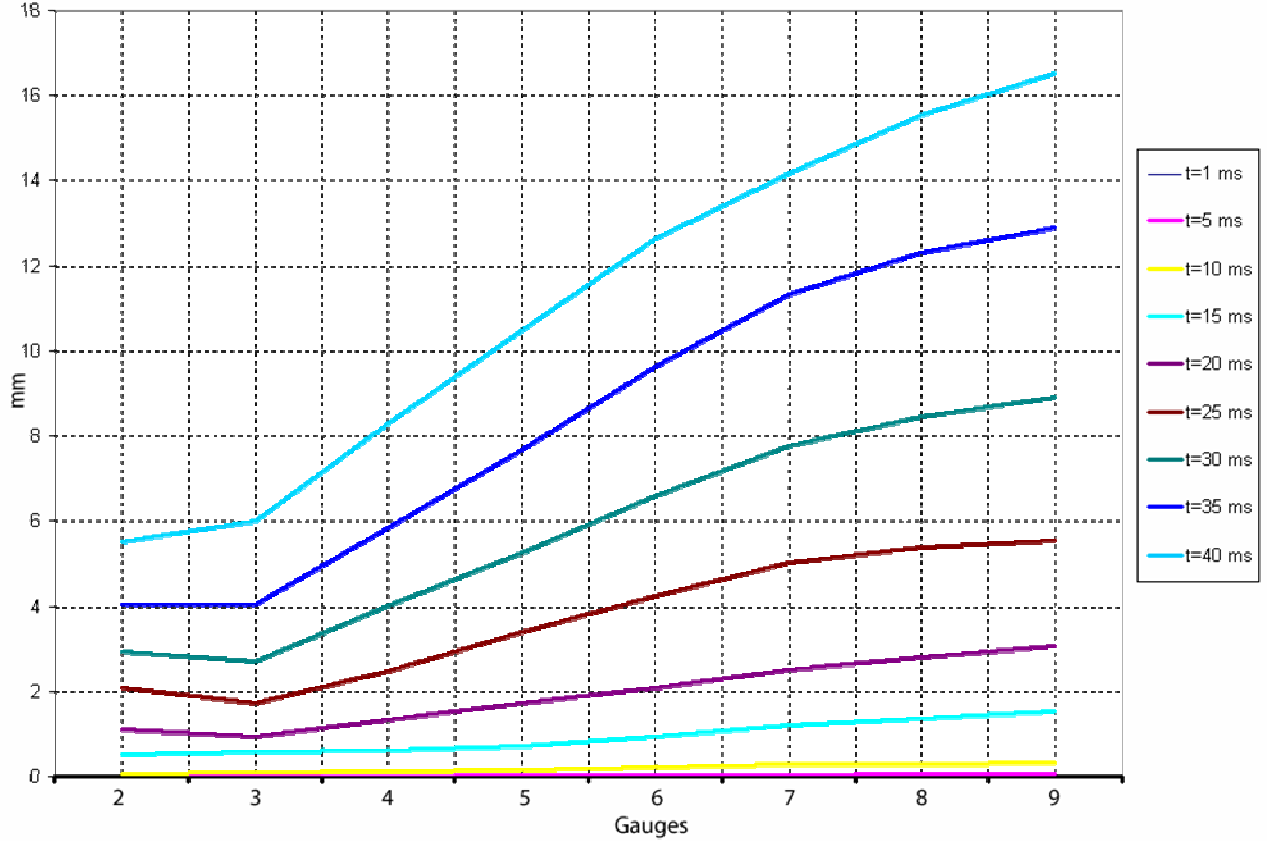


Şekil 7.52 Bütün gauge'ler (2-9) için ivme karşılaştırması

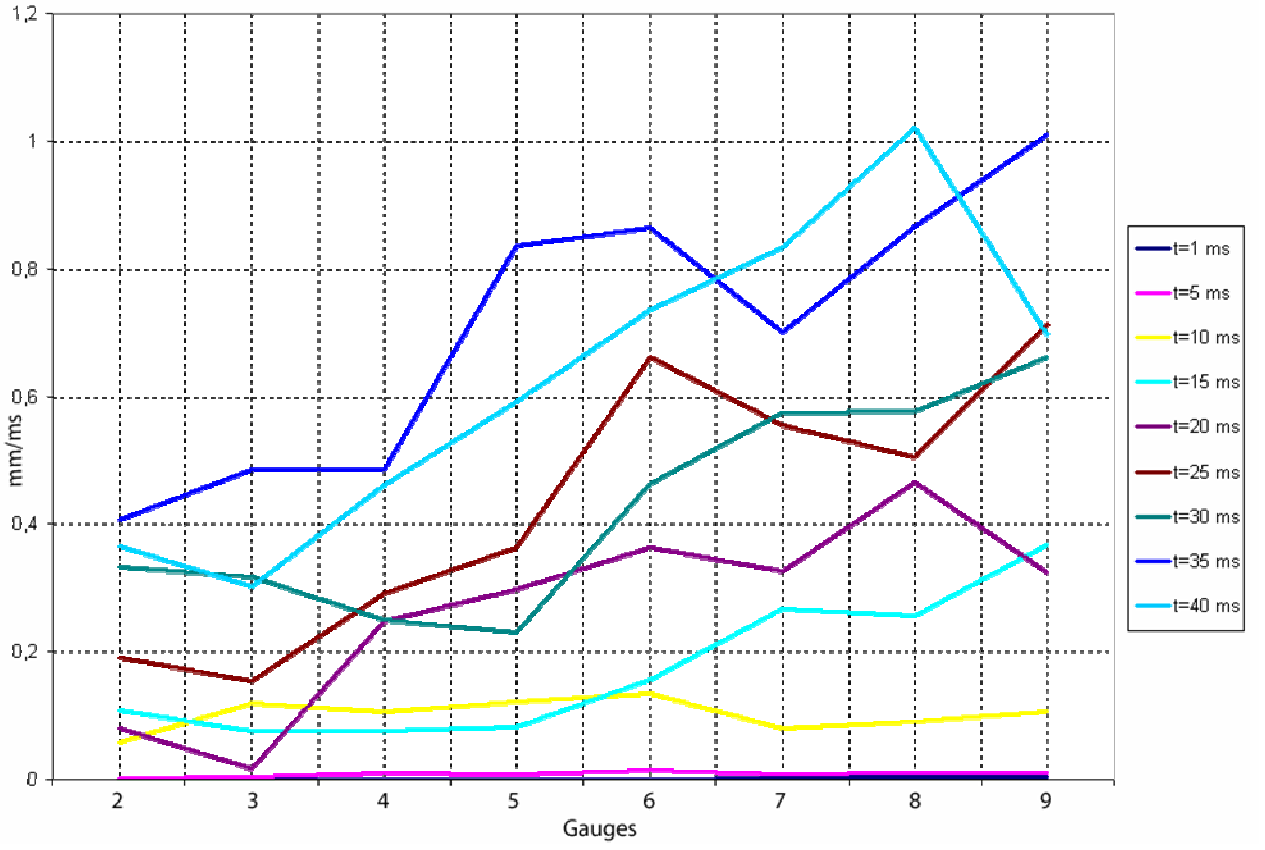
7.6 Sabit Zamanlardaki Değer Karşılaştırmaları



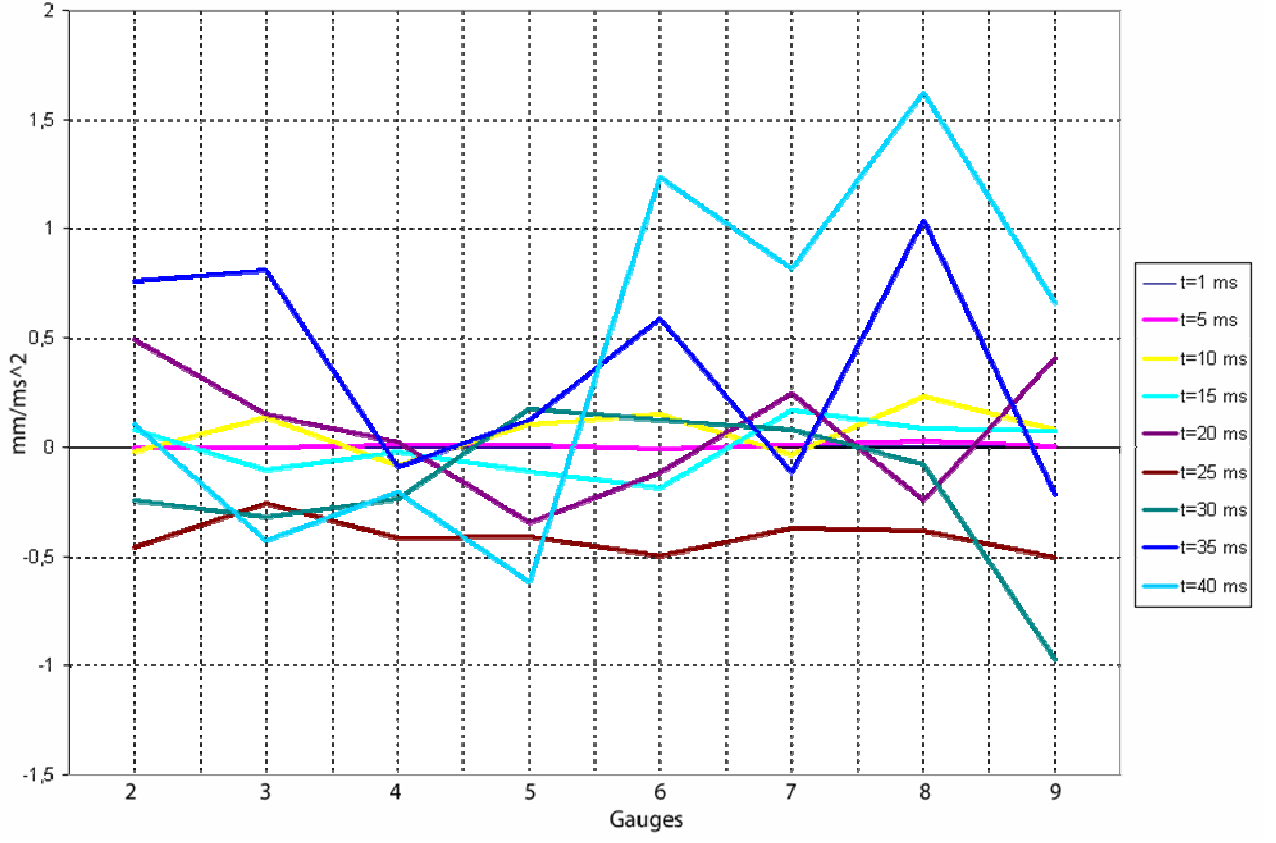
Şekil 7.53 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda basınç karşılaştırması



Şekil 7.54 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda yer değiştirme karşılaştırması



Şekil 7.55 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda hız karşılaştırması



Şekil 7.56 Bütün gauge'ler (2-9) sabit zamanlarda ivme karşılaştırması

Çıkan sonuçlara bakıldığında patlama ile oluşan şok dalgasının gerçekte olduğu gibi küresel bir formda yayılarak ilerlediği görülmektedir.

Şekil 7.11'de görüldüğü gibi patlama merkezine en yakın nokta olan 9 no'lu ölçüm aygıtı ile olarak uyarılmış ve devam eden ölçüm aygıtları belirli faz farkları olacak şekilde ayrı ayrı uyarılmıştır. Çevreleyen sıvı ortamının mesh sıklığı artırılarak hatalar minimuma indirilip uyarılma süreleri arası süreler eşit olarak görülebilirdi. Fakat işlem süresinin optimum şekilde tutulması ve istenen verilerin bu hassasiyette kabul edilir olması nedeniyle çalışmada çok sık bir mesh kullanılmamıştır. Bu nedenle ölçüm aygıtları arası mesafe eşit olsa bile uyarılma faz farkları kimi yerde iki kata kadar çıkabilmektedir. Tabi ki bunun tek nedeni sıvı ortamının mesh sıklığı değil diğer bir nedeni de yansıyan basınç dalgaları ve katıya temas ettiği noktada dalganın yapı üzerinde sıvıya oranla çok daha hızlı ilerleyebilmesidir. Dolayısıyla birbiri üstüne binen dalgalardan bahsetmek ve bunun etkisi olarak da faz farklarının eşit olmaması durumundan söz edilebilir. Genele bakıldığında ise dalganın yayılma geometrisini tam olarak yansıttığı görülmektedir. Bütün ölçüm aygıtları dizilme sırasıyla uyarılmıştır. Bunlarla beraber sudaki ses hızı ile ilerlendiğinde ölçüm aygıtları arası mesafeyi katetme süresi ile grafiklerde elde edilen süreler birbirine oldukça yakın çıkmaktadır. Bütün bu verilerden hareketle uygulanan yöntemin teorik olarak doğru olduğu ve gerçek bir şok dalga yayılımını gösterdiği söylenebilir. Bu yöntem uygulanarak tasarım aşamasında savunma sanayinde önemli rol oynayan deniz araçlarının optimum şekilde dizayn edilmesi, mevcut deniz araçlarının minimum maliyetle iyileştirilmesi ya da olası senaryolarda ne gibi zararlar göreceği önceden tahmin edilebilecektir.

Bu bilgiler ışığında yapılacak ileriki çalışmalarda patlayıcıların ısı ve basınç etkilerinin dışında parçacık etkileri de modele eklenerek daha gerçekçi uygulamalar yapılabilecektir. Simülasyondan istenecek olan her hassas detay için ekstradan işlemci desteğine ihtiyaç duyulacağı da unutulmaması gereken diğer bir noktadır.

KAYNAKLAR

Chunliang X., Gengguang X. , Kezhong L., (2008) “Numerical Simulation of Underwater Explosion Loads”, Tianjin University and Springer-Verlag, 519-522.

Liang C., Tai Y., (2006) “Shock responses of a surface ship subjected to noncontact underwater explosions”, *Ocean Engineering* 33,748-772.

Hayhurst C., Clegg R., Livingstone I., Francis N., (1996) “The Application of SPH Techniques in Autodyn 2D to Ballistic Impact Problems”, 16th International Symposium on Ballistics, San Francisco.

Jingbo L., Qiushi Y., Jun W., (2008) “Analysis of Blast Wave Propagation Inside Tunnel”, Tianjin University and Springer-Verlag, 358-362.

Walsh M. E., Ranney T. A., (1999) “Determination of Nitroaromatic, Nitramine, and Nitrate Ester Explosives in Soils Using GC-CD”, US Army Corps of Engineers Cold Regions Research & Engineering Laboratory.

Stein S. D., Horvat G. J., Sheffield O. E. ,(1969) “Some Properties and Characteristics of HBX-1, HBX-3 and H-6 Explosives”, Samuel Fdeltman Ammunition Laboratories Picatinny Arsenal.

Fowler J. E., Roughton J.H., Deer A.W., Krivich D., (1993) ”Field Study on the Effects of Waves and Currents on a Distributed Explosive Array”, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station.

Rajendran R., (2008) “Numerical simulation of response of plane plates subjected to uniform primary shock loading of non-contact underwater explosion”, *Materials and Design* 2008.

Rajendran R., (2008) “Reloading effects on plane plates subjected to non-contact underwater explosion”, *Journal of Materials Processing Technology* (2008) 275–281.

Rajendran R., Lee J. M., (2008), “Blast Loaded Plates”, *Marine Structures* (2008) 1-29.

Kim J. H., Shin H. C., (2008) “Application of the ALE technique for underwater explosion analysis of a submarine liquefied oxygen tank”, *Ocean Engineering* (2008) 812-822.

Chen Y., Tong Z. P., Hua H. X., Wang Y., Gou H. Y., (2007) “Experimental investigation on the dynamic response of scaled ship model with rubber sandwich coatings subjected to underwater explosion”, *International Journal of Impact Engineering* (2007).

Taylor D. A., “Marine Engineering”, Elsevier.

Dokkum K. V., “Ship Knowledge A Modern Encyclopedia”, DokMar.

Century Dynamics Inc., “Hands on Training #14-Ship Blast”.

Ansys V11 Autodyn Help Documentation .

İNTERNET KAYNAKLARI

Acoustic Properties of Water -

http://www.efunda.com/materials/common_matl/Common_Matl.cfm?MatlPhase=Solid&MatlProp=Acoustic#Acoustic

Naval Mines -

http://en.wikipedia.org/wiki/Naval_mine#History

Nonlinear finite elements/Nonlinearities in solid mechanics -

http://en.wikiversity.org/wiki/Nonlinear_finite_elements/Nonlinearities_in_solid_mechanics

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 25.07.1984

Doğum yeri Rize

Lise 1995-2002 Adile Mermerci Anadolu Lisesi

Lisans 2002-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Makine Teorisi ve Kontrol
Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2007-Devam ediyor IFS Kurumsal Bilgi Sistemleri A.Ş.