

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Fatma ÖNALAN Tarafından Hazırlanan**

**PATLAMA YÜKÜNE MARUZ BETONARME BİNALARIN DİNAMİK
DAVRANIŞLARININ SAYISAL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 14/ 06 /2019 gün ve 1807 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Murat Emre KARTAL



Üye : Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK



Üye : Prof. Dr. Şevket ATEŞ



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Patlama Yüküne Maruz Betonarme Binaların Dinamik Davranışlarının Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi” isimli tez çalışmasını bana öneren ve her aşamasında gerek bilgi ve tecrübelerini gerekse maddi ve manevi her türlü desteğini benden esirgemeyen çok kıymetli Hocam Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı yakından takip eden, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, özellikle deneysel modelin oluşturulması kısmında büyük özveri ile çalışan, kıymetli Hocam Prof. Dr. Süleyman ADANUR'a gönülden şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince bilgi ve önerilerini benimle paylaşan, çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan değerli arkadaşlarım, Arş. Gör. Betül DEMİRTAŞ, Arş. Gör. Ali Fuat GENÇ, Arş. Gör. Olguhan Şevket KARAHASAN, İnş. Yük. Müh. Yunus Emrahan AKBULUT, İnş. Yük. Müh. Tekin Çağatay PARILTAN, İnş. Yük. Müh. Onur Oğuz ÖZTÜRK, İnş. Yük. Müh. Özgün BIÇAK, İnş. Yük. Müh. Hatice ERDOĞMUŞ'a teşekkür ederim.

Lisans hayatımın ilk gününden bugüne her koşulda yanımda olan çok kıymetli dostlarım ve destekçilerim, İnş. Yük. Müh. Fatma AKÇAY ve İnş. Yük. Müh. Yasemin Firdes AYDIN'a yürekten teşekkür ederim.

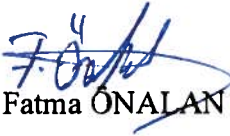
Hayatım boyunca maddi manevi her anlamda desteklerini esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip başta babam Harun ÖNALAN ve annem Gülseher ÖNALAN olmak üzere, tüm aile fertlerine göstermiş oldukları sabır ve özveriden ötürü şükranlarımı sunar, bu çalışmanın yeni çalışmalara ışık tutmasını ve Ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Fatma ÖNALAN

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “PATLAMA YÜKÜNE MARUZ BETONARME BİNALARIN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ SAYISAL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 01/07/2019


Fatma ÖNALAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ	XVIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konuyla İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	2
1.3. Tezin Amacı ve İçeriği.....	18
1.4. Patlama, Patlayıcı Madde Çeşitleri, Patlamanın Oluşum Şekilleri ve Yapılar Üzerindeki Tesirleri	19
1.4.1. Patlamanın Tanımlanması ve Genel Terimler	19
1.4.2. Patlayıcı Madde Çeşitleri ve Özellikleri	22
1.4.3. Patlamanın Oluşum Şekilleri ve Yapılar Üzerindeki Tesirleri	26
1.4.3.1. Sınırlandırılmış Ortamda Yaşanan Patlamalar.....	27
1.4.3.1.1. Serbest Ortamda Yaşanan Patlamalar	27
1.4.3.1.2. Zemin Yüzeyinde Meydana Gelen Patlamalar	32
1.4.3.1.3. Yerden Belli Bir Mesafede Yükseklikte Yaşanan Patlamalar	34
1.4.3.2. Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	35
1.4.3.2.1. Tamamen Sınırlandırılmış Ortamda Yaşanan Patlamalar.....	36
1.4.3.2.2. Kısmen Sınırlandırılmış Ortamda Yaşanan Patlamalar	37
1.4.3.2.3. Tamamen Havalandırma Boşluklu Ortamda Yaşanan Patlamalar.....	37
1.4.3.3. Patlamaların Yapılar Üzerindeki Tesirleri	37
1.4.3.3.1. Serbest Ortamda Yaşanan Patlamaların Yapılar Üzerindeki Tesirleri	37

1.4.3.3.2.	Sınırlandırılmış Ortamda Yaşanan Patlamaların Yapılar Üzerindeki Tesirleri.....	42
1.5.	Temel Patlama Dalgası Parametreleri	43
1.6.	Yapısal Sistem Modellemesi ve Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi .46	
1.6.1.	Tek Serbestlik Dereceli Sistem	46
1.6.2.	Elastoplastik Tek Serbestlik Dereceli Sistem	49
1.7.	Patlama Yüklerinin Malzeme Davranışına Etkisi	52
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....	57
2.1.	Giriş.....	57
2.2.	Deneysel Çalışma.....	57
2.3.	Sayısal Çalışmalar	60
2.3.1.	ANSYS Autodyn Programının Çalışma Prensipleri.....	60
2.3.2.	Yığma Duvarın Analitik Modellenmesi.....	65
2.3.2.1.	Yığma Duvar Modeline ait Sonlu Eleman Analiz Sonuçları	67
2.3.2.2.	Sonlu Eleman Analiz Sonuçlarının Doğrulanması	69
2.3.3.	Betonarme Yapı Modellerinin Sonlu Eleman Modellenmesi	73
2.3.3.1.	Yapı Elemanlarının Malzeme Modellemesi	76
2.3.3.2.	Betonarme Yapılara ait Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	84
2.3.3.2.1.	C25 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	84
2.3.3.2.2.	C30 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	102
2.3.3.2.3.	C35 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	119
2.3.3.2.4.	C40 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	136
2.3.3.2.5.	C45 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	153
2.3.3.2.6.	C50 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları.....	169
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	190
4.	KAYNAKLAR.....	193
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

PATLAMA YÜKLERİNE MARUZ BETONARME BİNALARIN DİNAMİK
KARAKTERİSTİKLERİNİN SAYISAL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Fatma ÖNALAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK
2019, 198 Sayfa

Bu tez çalışmasında, betonarme binaların patlama etkilerinden dolayı dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, betonarme yapı ve elemanlarının dinamik karakteristiklerinde meydana gelen değişimler; farklı geometri, malzeme özellikleri ve patlayıcı ağırlığı gibi değişken parametreler göz önünde bulundurularak sayısal yöntemlerle belirlenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışması üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm genel bilgiler, konu ile ilgili daha önceden yapılmış çalışmalar hakkında teorik bilgiler verilerek ülkemiz ve dünyamızda konunun öneminin giderek arttığının vurgusu yapılarak; patlama olgusu, patlayıcı çeşit ve etkileri, patlamanın oluşum şekilleri ve yapılar üzerindeki tesirleri, analitik yöntemlerle ilgili denklemlere yer verilmektedir. İkinci bölümde yapılan çalışmalar ve bu çalışmalar neticesinde elde edilen bulgulara yer verilmektedir. Bu bölümde önce deneysel olarak inşa edilen tuğla modelin iç taban merkezine yerleştirilen farklı patlayıcı ağırlıklarında gösterdiği tepkiler ölçülmüştür. Daha sonra sonlu eleman yazılımı olan ANSYS Workbench programı ile modeller oluşturulmuş, Autodyn programı ile patlama analizleri yapılarak, teorik formülasyonlardan elde edilen ve konu ile ilgili abaklardan okunan değerler ile karşılaştırılmış, basınç değerleri için tablolar halinde sunulmuştur. İkinci aşamada simetrik yapıda, farklı geometrik özelliklere sahip iki adet betonarme model üzerinde çeşitli patlama senaryoları kurgulanarak yapısal dinamik tepkiler incelenmektedir. Üçüncü bölümde, tez çalışmasından elde edilen verilere ve önerilere yer verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

Anahtar Kelimeler : Patlama, TNT, Betonarme Yapı, Dinamik Karakteristik

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF EXPOSURE REINFORCED
CONCRETE STRUCTURE UNDER EFFECT OF EXPLOSIVE BY USING NUMERICAL
METHODS

Fatma ÖNALAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK

2019, 198 Page

In this thesis study, it is aimed to the changes in the dynamic characteristics of the concrete buildings due to the explosion effects. For this purpose, the changes in the dynamic characteristics of the reinforced concrete structure and elements; different geometry, material properties and explosive weight were determined by numerical methods.

Master's thesis consists of three sections. First section gives general informations, theoretical informations about preexisting studies of this subject and emphasises ever increasing importance of this subject in our country and the World. In this section, burst phenomenon, explosive variety and effects, shape of explosive's constitution, and effects on structures are explained, equations relating to analytical methods are given to place. In the second section, studies conducted and findings after this studies are given place. In this section firstly, brick model - experientially constructed gives some reactions when it is with different explosive weights and it is measured. Then with the finite element software ANSYS Workbench program, models are being constituted, with Autodyn program, explosive analyses are being made. The values gained from theoretical formulation are being compared with the values read. It is presented via tables for pressure. In the second stage, two reinforced concrete construction having symmetrical structure, single storey, having different geometrical characteristics are constructed and various explosive scenarios are fictionalised and structural dynamic reactions are examined. In the third section, datas received and suggestions are identified. Sources and personal background follow this section.

Key Words : Explosion, TNT, Reinforced Concrete Building, Dynamic Characteristic

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Patlama dalgası basınç-zaman grafiği 28
Şekil 1.2.	Deniz seviyesinde serbest ortamda yaşanan patlama sonucu oluşan pozitif faz şok dalgası parametreleri..... 32
Şekil 1.3.	Yansıyan basıncın geliş açısının fonksiyonu olarak değişimi 32
Şekil 1.4.	Yer yüzeyinde meydana gelen patlama dalgaları ve yapıya etkileri 33
Şekil 1.5.	Yerin yüzeyinde yaşanan patlama parametreleri..... 34
Şekil 1.6.	Yerden belirli bir yükseklikte yaşanan patlama ve çevreye etkileri 35
Şekil 1.7.	Yerden belirli bir mesafe yüksekte yaşanan patlama parametreleri 35
Şekil 1.8.	Yapı içinde meydana gelen patlamada kısmen sınırlandırılmış ortamda yansıyan ve gaz basıncının zamanla değişimi ve idealleştirilmiş yansıyan ve gaz basınç zaman grafikleri 36
Şekil 1.9.	Serbest ortamda patlama basınç dalgalarının yapıya etkisi 39
Şekil 1.10.	Dış patlamada kapı, pencere gibi boşlukları bulunan yapının iç ön duvar, iç yan duvar ve çatı, iç arka duvar yüzeyleri için ideal basınç zaman eğrisi..... 42
Şekil 1.11.	Elastik TSD sistem ve idealleştirilmiş patlama yük grafiği 48
Şekil 1.12.	TSD eşdeğer sistemin elastoplastik dayanım yerdeğiştirme grafiği..... 51
Şekil 1.13.	Düzgün yayılı yüklerle yüklenmiş basit mesnetli bir kirişin plastik yerdeğiştirmesi..... 51
Şekil 1.14.	Farklı yüklemeler ile şekildeğiştirme hızı ilişkisi..... 53
Şekil 1.15.	Şekildeğiştirme hızının beton ve çelik malzemeler üzerindeki etkisi 54
Şekil 1.16.	Basınca maruz betonun şekildeğiştirme dinamik artım faktörü katsayısı grafiği..... 57
Şekil 2.1.	DeneySEL çalışmaya ait tuğla duvar yapım aşamaları 58
Şekil 2.2.	Kapsüle duyarlı TNT ve tamamlanmış deney düzeneği..... 59
Şekil 2.3.	290gr TNT ile yapılan deney sonrası mesnetlerinden ayrılarak tamamen yıkılan tuğla duvar 60
Şekil 2.4.	Lagrange ve Euler modellemeleri arasındaki farkın gösterimi 61
Şekil 2.5.	Euler-Lagrange etkileşimi 62
Şekil 2.6.	Autodyn programında Lagrange çalışma prensibi akış diyagramı 63
Şekil 2.7.	Autodyn programında Euler çalışma prensibi akış diyagramı 63

Şekil 2.8.	Sayısal ayrıklaştırma (mesh) yöntemiyle sonlu elemanlara bölünmüş yığma duvara ait görsel.....	65
Şekil 2.9.	Yığma duvara ait izometrik ve üstten görünüş	66
Şekil 2.10.	Yığma duvara sonlu eleman modeline ait ölçüm noktaları	67
Şekil 2.11.	Yığma duvara ait 40, 150 ve 290gr TNT kullanılarak elde edilen hasar kontur diyagramları	68
Şekil 2.12.	Betonarme modellere ait 2D görüntüler, her iki modele ait ön ve arka cepheler.....	75
Şekil 2.13.	Sayısal ayrıklaştırma yöntemiyle sonlu elemanlara ayrıştırılmış model	76
Şekil 2.14.	Betonarme modellere ait ölçüm noktaları	85
Şekil 2.15.	C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	86
Şekil 2.16.	C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	87
Şekil 2.17.	C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	88
Şekil 2.18.	C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	88
Şekil 2.19.	C25 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	89
Şekil 2.20.	C25 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	90
Şekil 2.21.	C25 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	90
Şekil 2.22.	C25 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	91
Şekil 2.23.	C25 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	92
Şekil 2.24.	C25 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	93
Şekil 2.25.	C25 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	93
Şekil 2.26.	C25 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	94
Şekil 2.27.	C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	95
Şekil 2.28.	C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	95
Şekil 2.29.	C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	96

Şekil 2.30.	C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	97
Şekil 2.31.	C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye maksimum ait basınç zaman grafikleri	98
Şekil 2.32.	C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	98
Şekil 2.33.	C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	99
Şekil 2.34.	C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	99
Şekil 2.35.	C25 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	100
Şekil 2.36.	C25 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	101
Şekil 2.37.	C25 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	102
Şekil 2.38.	C25 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	102
Şekil 2.39.	C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	103
Şekil 2.40.	C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	104
Şekil 2.41.	C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	105
Şekil 2.42.	C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	105
Şekil 2.43.	C30 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	106
Şekil 2.44.	C30 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	107
Şekil 2.45.	C30 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	107
Şekil 2.46.	C30 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	108
Şekil 2.47.	C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	109
Şekil 2.48.	C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	109
Şekil 2.49.	C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	110

Şekil 2.50.	C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	111
Şekil 2.51.	C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	112
Şekil 2.52.	C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	112
Şekil 2.53.	C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	113
Şekil 2.54.	C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	114
Şekil 2.55.	C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	115
Şekil 2.56.	C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	115
Şekil 2.57.	C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	116
Şekil 2.58.	C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri.....	117
Şekil 2.59.	C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	117
Şekil 2.60.	C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	118
Şekil 2.61.	C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	119
Şekil 2.62.	C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri.....	119
Şekil 2.63.	C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	120
Şekil 2.64.	C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	121
Şekil 2.65.	C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	122
Şekil 2.66.	C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	122
Şekil 2.67.	C35 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	123
Şekil 2.68.	C35 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	124
Şekil 2.69.	C35 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	124

Şekil 2.70.	C35 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	125
Şekil 2.71.	C35 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	126
Şekil 2.72.	C35 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	127
Şekil 2.73.	C35 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	127
Şekil 2.74.	C35 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	128
Şekil 2.75.	C35 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	128
Şekil 2.76.	C35 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	129
Şekil 2.77.	C35 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	130
Şekil 2.78.	C35 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	130
Şekil 2.79.	C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	131
Şekil 2.80.	C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	132
Şekil 2.81.	C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	132
Şekil 2.82.	C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri.....	133
Şekil 2.83.	C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	134
Şekil 2.84.	C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	135
Şekil 2.85.	C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	135
Şekil 2.86.	C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri.....	136
Şekil 2.87.	C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	137
Şekil 2.88.	C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	138
Şekil 2.89.	C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	138

Şekil 2.90.	C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	139
Şekil 2.91.	C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	140
Şekil 2.92.	C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	140
Şekil 2.93.	C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	141
Şekil 2.94.	C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	142
Şekil 2.95.	C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	143
Şekil 2.96.	C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	144
Şekil 2.97.	C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	144
Şekil 2.98.	C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	145
Şekil 2.99.	C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	146
Şekil 2.100.	C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	146
Şekil 2.101.	C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	147
Şekil 2.102.	C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	148
Şekil 2.103.	C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	148
Şekil 2.104.	C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	149
Şekil 2.105.	C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	150
Şekil 2.106.	C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri.....	150
Şekil 2.107.	C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	151
Şekil 2.108.	C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	152
Şekil 2.109.	C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	152

Şekil 2.110.	C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	153
Şekil 2.111.	C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	154
Şekil 2.112.	C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	154
Şekil 2.113.	C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	155
Şekil 2.114.	C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	156
Şekil 2.115.	C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	156
Şekil 2.116.	C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	157
Şekil 2.117.	C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri.....	158
Şekil 2.118.	C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	158
Şekil 2.119.	C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	159
Şekil 2.120.	C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	160
Şekil 2.121.	C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri.....	160
Şekil 2.122.	C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	161
Şekil 2.123.	C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	162
Şekil 2.124.	C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	162
Şekil 2.125.	C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	163
Şekil 2.126.	C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	164
Şekil 2.127.	C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	164
Şekil 2.128.	C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	165
Şekil 2.129.	C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	166

Şekil 2.130.	C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	166
Şekil 2.131.	C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	167
Şekil 2.132.	C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	168
Şekil 2.133.	C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	168
Şekil 2.134.	C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	169
Şekil 2.135.	C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	170
Şekil 2.136.	C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	170
Şekil 2.137.	C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	171
Şekil 2.138.	C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	172
Şekil 2.139.	C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	172
Şekil 2.140.	C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	173
Şekil 2.141.	C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	174
Şekil 2.142.	C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	174
Şekil 2.143.	C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	175
Şekil 2.144.	C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	176
Şekil 2.145.	C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	176
Şekil 2.146.	C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	177
Şekil 2.147.	C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri.....	178
Şekil 2.148.	C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri.....	178
Şekil 2.149.	C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	179

Şekil 2.150.	C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	180
Şekil 2.151.	C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	180
Şekil 2.152.	C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	181
Şekil 2.153.	C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri	182
Şekil 2.154.	C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	182
Şekil 2.155.	C50 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum basınç zaman grafikleri	183
Şekil 2.156.	C50 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme zaman grafikleri	184
Şekil 2.157.	C50 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait hasar oranı zaman grafikleri.....	184
Şekil 2.158.	C50 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu Model 1 ve Model 2'ye ait toplam enerji zaman grafikleri	185
Şekil 2.159.	Farklı beton malzeme sınıfı ve patlayıcı ağırlıklarına ait karşılaştırmalı maksimum basınç-zaman grafikleri.....	188

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. TNT eşdeğerliği.....	25
Tablo 1.2. Çeşitli patlayıcıların karakteristik özellikleri	26
Tablo 1.3. Patlama yük kategorisi.....	27
Tablo 1.4. Yan duvar yüzeyleri ve çatı için sürüklenme katsayıları.....	40
Tablo 1.5. Kingery ve Bulmash denklem sabitleri	44
Tablo 1.6. Yansıyan basınç için öngörülen uzaklık ve ağırlık değerleri.....	46
Tablo 2.1. Malzeme modeli ve durum denklemi	66
Tablo 2.2. Her bir durum için ölçüm noktalarından okunan maksimum basınç değerleri	69
Tablo 2.3. 1 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri	71
Tablo 2.4. 2 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri	71
Tablo 2.5. 5 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri	72
Tablo 2.6. 6 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri	72
Tablo 2.7. Beton malzeme modeli parametreleri	80
Tablo 2.8. Beton malzeme mekanik parametreleri	80
Tablo 2.9. Çelik malzeme modeli parametreleri.....	82
Tablo 2.10. Hava hacminin malzeme özellikleri	82
Tablo 2.11. TNT malzeme özellikleri.....	83
Tablo 2.12. Malzeme mekanik özellikleri	84
Tablo 2.13. Basınç değerleri genel kıyas tablosu	186

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Basıncın etkidiği yüzey alanı
A_i	: Malzeme katsayısı
b	: Çarpışma sonucu meydana gelen enerji kaybını ifade eden katsayı
B_i	: Malzeme katsayısı
B_s	: Pekleşme oranı sabiti
C	: Ses hızı, Şekil değiştirme oran sabiti
C	: Sönüm matrisi
C_d	: Sürüklenme katsayısı
C_E	: Üniiform yük katsayısı
C_r	: Maksimum yansıyan basınç ile maksimum arasındaki oran, Yansıma bölmesindeki ses hızı
DLF	: Dinamik yük faktörü
DLF_{beton}	: Beton için dinamik artım faktörü
$d_{patlayıcı}$: Patlayıcının birim yanma sırasında açığa çıkardığı yanma enerjisi
d_{TNT}	: TNT'nin birim yanma esnasında açığa çıkardığı yanma enerjisi
e	: Eksponansiyel
E^{p1}	: Eşdeğer plastik şekil değiştirme oranı
E_{ct}	: Betonun çekme gerilmesi altındaki şekildeğiştirme hızı
F_c^1	: Tek eksenli basınç gerilmesi
f_{ck}	: Betonun statik karakteristik basınç dayanımı
$F(t)$: Zamana bağlı yapısal sisteme etkileyen dış yük vektörü
$F_{elastik}$: Eleman kırılma yüzeyindeki dayanımın elastik gerilmeye oranı
F_d	: Sürüklenme kuvveti
F_i	: Yapısal hacme etki eden kuvvet
F_m	: Maksimum etkiyen dış kuvvet
F_{oran}	: Dinamik artım faktörünün şekildeğiştirme oranına bağlı olarak ifade eden fonksiyon
f_{dc}	: Betonun dinamik dayanımı
f_y	: Çeliğin akma dayanımı
G	: Kayma modülü, Yapı yüksekliği ya da genişliğinin yarısından büyük olanı
G_f	: Kırılma enerjisi
G_y	: Çelik malzeme akma ezilmesi

G_y'	: Şekil değiştirme hızı dikkate alındığında elik malzeme akma gerilmesi
$I_r/W^{1/3}$: Ölçeklenmiş yansıyan birim impuls
I_s	: İmpuls
I_s^-	: Negatif spesifik impuls
$I_s/W^{1/3}$: Ölçeklenmiş pozitif birim impuls
J_2	: Gerilme tansörünün 2.invaryantı
J_3	: Gerilme tansörünün 3.invaryantı
k	: Çekme kırılmasından sonra oluşan çatlaklar için rijitlik katsayısı
K	: Hacimsel genleşme modülü, Rijitlik matrisi
L	: Kiriş uzunluğu
L_b	: Yapı açıklığı
L_p	: Plastik matsal boyu
L_w^-	: Negatif şok dalga boyu
L_w	: Pozitif şok dalga boyu
$L_w/W^{1/3}$: Ölçeklenmiş şok dalga boyu
M	: Kütle matrisi
m	: Termal yumuşama sabiti
N	: Beton malzemesi sabiti
n_s	: Pekleşme oranı sabiti
ρ	: Birim hacim yoğunluğu
P	: Hidrostatik basınç
$P(t)$: Basınç fonksiyonu
$P_{parçacık}^*$: Tek eksenli basınç gerilmesinin tek eksenli çekme gerilmesine oranı
p_o	: Başlangıcı koşullarındaki birim hacim yoğunluğu
P_o	: Ortam basıncı
P_r	: Maksimum yansıyan basınç
P_{so}^-	: Maksimum negatif pik basınç
P_{so}	: Maksimum pozitif pik basınç
R_-	: S/G oranıdır
R_y	: Sistemin akma dayanımı
S	: Spesifik sıcaklık, Temizlenme mesafesi
T	: Yapının periyodu
t	: Zaman
t_a	: Basınç dalgasının yüzeye ulaşma süresi
$t_a/W^{1/3}$: şok dalgalarının patlama kaynağından yapıya ölçeklenmiş varış süresi

$t_a/w^{1/3}$: Pozitif basınç ölçeklenmiş etkime süresi
t_c	: Temizlenme süresi
T_{erime}	: Erime sıcaklığı
T_h	: Eşdeğer sıcaklık
T_i	: Malzeme katsayısı
t_m	: Maksimum dinamik yer değiştirme için geçen süre
T_m	: Malzeme sıcaklığı
t_o^-	: Negatif faz süresi
t_o	: Pozitif faz süresi
T_{oda}	: Oda sıcaklığı
t_{of}	: Etkime süresi
t_r	: Yansıyan basıncın etki süresi
U	: Şok dalgasının ortamdaki hızı
$U(t)$: Zamana bağlı yerdeğiştirme
$\dot{U}(t)$: Zamana bağlı hız
$\ddot{U}(t)$: Zamana bağlı ivme
V	: Ortam hacmi
ν	: Poisson oranı
V_i	: Hız
W	: Patlayıcı ağırlığı
ω_n	: Doğal açısal frekans
x_e	: Eğrilik kapasitesi
x_{max}	: Maksimum eğrilik kapasitesi
x_p	: Plastik eğrilik kapasitesi
y_e	: Doğrusal olmayan sistemin akma yerdeğiştirmesi
$y_{elastik}$: Eleman kırılma elastik limitinden kırılma limitine geçişi
$y_{kırılma}$: Ara yüzöl kırılması
y_m	: Maksimum dinamik yer değiştirme
y_p	: Plastik yer değiştirme
y_{st}	: Statik yer değiştirme
Z	: Ölçeklenmiş mesafe

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu var oluşundan günümüze, yaşamı boyunca barınma, ulaşım, su temini gibi temel birçok ihtiyacını karşılamak için mühendislik yapıları inşa etme gereksinimi duymuştur. Ülkemiz ve yaşadığımız evrende inşa edilen tüm bu yapılar hizmet ömürleri boyunca sadece belirli statik yüklere maruz kalmamaktadır. Deprem, rüzgâr, terör ya da kaza sonucu meydana gelen patlama, yangın gibi dinamik yüklere de maruz kalmaktadır.

Yakın geçmişe kadar çok az sayıda yapı, mühendis ve mimarlar tarafından patlamaya karşı dayanım esaslı tasarlanmıştır. Özellikle 1995 yılında Oklahoma şehrindeki Federal Alfred P. Murrah binasına gerçekleştirilen bombalama saldırısından sonra konu ile ilgili risk analizleri, patlama ile ilgili tehlikeler, koruma yöntemleri konusunda yapısal tasarım inşaat sektörü mensuplarını yakından ilgilendirmiştir (Dusenberry,2010).

Dünyamızda yaşanan savaşlar ve gelişen teknoloji, mevcut patlayıcı maddelerinin çeşit ve etkilerinin artmasına olanak sağlamaktadır. Uluslararası ekonomik baskılar ve küreselleşmenin yol açtığı güç dengesizliği, öncelikle stratejik açıdan önemli binalar ve köprüler gibi sivil altyapıyı hedef alan terör faaliyetlerin sayısının artmasına neden olmaktadır. Stratejik önem taşıyan binalara saldırıların gerçekleştirilmesi yeni bir konu olmamakla beraber son yirmi yılda meydana gelen olaylar bu konunun önemini göstermektedir. Benzer şekilde, konutlara yakın benzin istasyonları bazen kontrolsüzlük ve cehaletten ötürü patlayabilir. Özellikle TNT veya amonyum nitrat gibi güçlü patlayıcı madde yüklü araçlar kullanarak yapılan saldırılar bina cephesine kolayca ulaşabilir, dış kolon ve kirişlere büyük zarar verebilir. Bir veya birden fazla kolon ağır hasar alarak göçtüğünde yapılar patlama yüklemesi sonucunda kısmen veya tamamen çökebilir. Bu tarz bir patlama geniş çaplı bir tehlike arz edebilir ve büyük felakete yol açabilir (Altunlu, 2008).

Nitekim artan terör saldırıları ile birlikte yapı içinde veya yakınında meydana gelen patlamaların yapı taşıyıcı sistemlerinde büyük hasarlar meydana getirdiği ve hatta ileri düzeyde yapısal hasarlar oluşturarak yapıda göçmeler ve buna bağlı olarak da can kayıpları yaşandığı bilinmektedir.

Benzer şekilde gaz ve kimyasal patlamalar sonucu oluşan büyük dinamik yükler yapının projelendirme aşamasında hesaplanan tasarım yükünden çok daha büyük olmakta ve pek çok yapı için büyük felaketlere yol açmaktadır. Bu tip aşırı yükleme koşullarından dolayı, son yıllarda yapıların patlatma yüklerine karşı dayanıklı tasarım ve analiz metotları geliştirilmiştir. Patlama yüküne maruz yapının analiz ve tasarımını yaparken patlama olgusunu ve yapının çeşitli elemanlarının dinamik tepkilerini iyi bir şekilde anlamak gerekmektedir.

Kasıtlı ya da kaza ile yaşanan bir patlamanın, yapıya etkileri birçok parametreye bağlı olarak farklılık arz edebilir. Bu etkileri kısaca özetlemek gerekirse;

- Patlamanın hedef alındığı yapı ile patlama merkezi arasındaki mesafe
- Patlamanın yaşandığı konum
- Patlayıcının çeşidi ve ağırlığı
- Yapının tipi
- Yapı taşıyıcı sistemi şeklinde olabilmektedir.

Sonuç olarak, patlamaya karşı dayanıklı yapı tasarımı yapan mühendis ve mimarların, böylesi büyük dinamik yük karşısında binaların tepkisini etkili bir şekilde geliştiren tasarımlar sunabilmeleri adına, bilhassa yapısal göçme neticesinde meydana gelecek can kayıplarını önleyebilmek amacıyla ciddi bir eğitim ve gerekli bilgilere ihtiyaçları bulunmaktadır.

1.2. Konuyla İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde, geçmişten günümüze patlayıcıların ve patlamaların yapısal davranış üzerindeki etkileri hakkında yapılmış olan deneysel ve analitik çalışmalara yer verilmektedir. 1950'li yıllardan günümüze yapıların patlama etkisi altındaki davranışlarının deneysel ve analitik olarak incelenmesi ilerleyen ve gelişen teknoloji ile birlikte artarak devam etmektedir. Bu nedenle tezin bu bölümünde son 65 yıllık çalışmalar dikkate alınmış ve tarihsel açıdan sıralanarak kısaca bahsedilmiştir.

Newmark (1953), yapmış olduğu çalışmada patlama etkilerine dayanıklı yapı tasarımı için öneriler sunmuş, hesap adımlarını belirleyip, nümerik bağıntılarla patlama yüklerinin fonksiyonlarını tanımlamıştır.

Öker (1998), yapmış olduğu çalışmada darbe yüklemesinin ve patlama dalgasının tarifini yapmış, sonrasında ise patlama yüklemesinin yapı elemanları üzerindeki etkisinin

araştırıldığı deneysel ve teorik çalışmalardan bahsetmiştir. Çalışmanın akabinde kontrollü patlamalarla betonarme binaların yıkılması, bu tip problemler için genel bir tanımlama ve bir yıkım projesi için gereken çalışmalardan bahsetmiştir.

Luccioni vd. (2003), yapmış oldukları çalışmada AMIA (Arjantin – İsrail karşılıklı toplum) binasının 1994 yılında uğradığı bombalı saldırı sonucu görmüş olduğu yapısal hasarı incelemişlerdir. Binaya 400kg TNT ile zemin kotundan 1m yükseklikte, yapının 1m içinde ve 1m sağ cephesinde olmak üzere patlama yükünün etkidiği kabul edilerek analizler yapmışlardır. Betonarme ve üç blok halinde tasarlanan yapının malzeme modellemesi yapılırken gerçek bina üzerinde birtakım testler sonucu elde edilen malzeme özelliklerini kullanmışlardır. Analizler sonucunda cephe kolonlarında kesme ve eğilmeden ötürü kırılmalar ve alt ile üst kirişlerde oluşan gerilmelerden ötürü bağlantılarının koptuğu, zemin katta pek çok kolonun ağır hasar alarak yıkıldığını gözlemlemişlerdir. Ek olarak sayısal analiz sonucu ile gerçek binanın patlama yüküne maruz kaldıktan sonra çekilmiş olan fotoğrafları karşılaştırıldığında simülasyon sonucu oluşan tabloyla çok yakın benzerlik gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Karapınar (2004), yapmış olduğu çalışmada patlama mesafesini sabit tutarak patlayıcı ağırlığını değiştirmiş ve bu yükleme durumunda yapıda ne tip hasar oluştuğunu incelemiştir. Analiz yöntemi, genel olarak kullanılan tek serbestlik dereceli sistem üzerinden belirlenmiştir. Yapının patlamaya maruz kalan yüzeyindeki yapı elemanları sonlu eleman programı yardımıyla modellenmiş, analizler sonucunda hangi yapı elemanının patlamadan etkilenerek fonksiyonelliğini yitirdiği belirlenmiştir. Bir sonraki aşamada ise yapıda hasar gören elemanlar sistemden çıkartılmış, kalan kısım SAP2000 adlı yapı analiz programıyla tekrar analiz edilerek kapasite durumu kontrol edilmiştir.

Wu vd. (2004), patlatma sonucu betonarme yapılarda meydana gelen deformasyonları azaltmada yapı temeli altında ince kum tabakası ile izolasyon yapılmasının etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, kum izolasyonunun yüksek frekanslı titreşimleri sönmülemde etkili olduğu ve yapıdaki patlatma kaynaklı yer hareketi nedeni ile oluşabilecek deformasyonları büyük ölçüde azalttığı ortaya çıkmıştır.

Wu vd. (2005), patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki iki katlı yığma yapı ile iki katlı ve altı katlı duvarlı betonarme çerçeve sistem yapılarının deformasyon davranışlarını incelemişlerdir. Patlatma kaynaklı yüksek frekanslı yer hareketi etkisi altında en fazla hasarın yığma yapılarda ve duvarlı çerçeve sistemlerdeki yapı elemanlarının rijit bölgelerinde meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır.

Wu ve Hao (2005), patlatma sonucu yer sarsıntısının ve hava şokunun yapısal tepkilerinin eş zamanlı olarak etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, geliştirilmiş olan üç boyutlu homojenleştirilmiş malzeme modeli, eşdeğer elastik özellikler, gerilme zarfı ve hasar başlangıcını içeren bir kâgir duvar modeli kullanmışlardır. Bu çalışmada başka bir malzeme hasar modeli, betonarme yapılar için geliştirilmiştir. Eş zamanlı yer sarsıntısı ve hava şoku kuvvetleri ya ayrı olarak ya da beraber dikkate alınarak örnek yapıdaki hasar ve dinamik etkiler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, ölçeklenmiş mesafe küçükken yapısal davranışı ve hasarı hava şoku yüklerinin oluşturduğu belirlenmiştir. Ölçeklenmiş mesafe arttığında, yapı davranışında yer sarsıntısının rölatif öneminin artacağı ve yüzey patlama etkilerinin etkili olacağı belirlenmiştir.

Özmen (2006), yapmış olduğu çalışmada patlatma kaynaklı yer hareketinin modellenmesi ve yapı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla farklı patlayıcılar kullanarak oluşan yer titreşimlerinin ivme-zaman değişimleri tek odalı tek patlatmalı zemin modeline göre sonlu elemanlar yöntemiyle belirlemiş, akabinde iki ve çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışına deprem ve patlatma kaynaklı yer hareketinin etkisini irdelemiştir. Üç boyutlu çeşitli yapı tipleri için hesaplanan patlatma kaynaklı ivme-zaman değişimleri kullanılarak hasar seviyelerini incelemiştir. Çalışmalar sonucunda patlatma kaynaklı yer hareketi veya benzer bir dinamik etki altında yapı analizi için temel modlardan sonra gelen üst modları dikkate alan modellemelerin yapılması gerektiği, yüksek katlı çerçeve yapılarda ilk katlarda daha çok çatlak oluştuğu, yığma yapılarda hasar düzeyinin en fazla olabileceği, kolonlarla çevrili duvarlarda çevrili olmayanlara nispeten daha az çatlak oluştuğu, kısa mesafelerde pik değerli yüksek frekanslı yer hareketi oluştuğu, uzun mesafe ya da patlayıcı miktarının azalmasıyla maksimum değer hızla azaldığı ve uzun mesafede yer hareketinin dinamik davranışının sinüs dağılımına uyduğu gözlemlenmiştir.

Yang ve Lok (2007), hava patlama yüküne maruz betonarme elemanların içindeki yumuşak çeliğin akma süresinin ertelenmesini hesaplayabilmek için yaklaşık formülasyonları içeren detaylı bir araştırma yapmışlardır. Sayısal örnek üzerinden hava patlama yüküne maruz betonarme yapının analizinde elde edilen formülasyonların nasıl kullanıldığını sunmuşlardır.

Tahmilci (2007), yapmış olduğu çalışmada çelik binaların patlama yükü etkisi altındaki dinamik davranışlarını incelemiştir. Patlayıcı olgusu, bununla ilgili temel terminoloji, geçmiş çalışmalar, patlayıcı yüklemesi, patlayıcı ve yapı etkileşimi, patlama kaynaklı tedrici ve orantısız çökme ve bunlara ilişkin analiz yöntemlerini tanıtip açıklamıştır.

Daha sonra Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), hükümlerine göre tasarlanmış bir çelik yapının patlama etkisine, dolayısıyla tedrici çökmeye direncini tespiti ilişkin bir durum değerlendirmesi yapmıştır.

Ngo vd. (2007) yapmış oldukları çalışmada, patlayıcı türleri ve davranışları, özellikleri, yayılmaları, binanın patlayıcı yüke tepkisi, dinamik hareketleri, farklı mesafelerdeki patlama etkilerini detaylı çalışmalarla incelemiştir. Yapılan çalışmada zemin kat yüksekliği 6.4m olan çok katlı bir binaya ait normal ve yüksek dayanımlı (40MPa-80MPa) ve farklı etriye sıklaştırma şekillerine göre (10-40cm) kolonların patlatmaya karşı olan dayanımları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kolon, LS-DYNA sonlu eleman programında geometrik ve malzeme açısından lineer olmayan davranış dikkate alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yüksek mukavemetli betondan imal edilmiş kolonun daha yüksek enerji absorbe ettiği ayrıca etriye sıklaştırma durumuna göre sık sarımlarda yanıl yer değiştirmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Bir diğer yaptıkları çalışmada ise 52 katlı, kat yüksekliği 3,85m, kolonlar arası açıklığı 8.4m, kolonları kirişlerle birbirine bağlanmış ve merkezinde 6 hücreli kutu sistem ile direnç sağlatılan bir binanın yapısal davranışı analiz edilmiştir. Bu çalışmada zeminde oluşan patlatma nedeniyle lokal hasar değerlendirmesi hedeflenmiş olup, ileri çökme analizi şeklinde binaya uygulanmış ve sık etriye sarımlı yüksek mukavemetli kolonlarda kesme kapasitesi ve sünekliğinin önemli ölçüde arttığı bu sebeple patlama ve itme dayanımlarının da arttığı, hasar alan yüzeylerden kopan parçaların düştüğü yerde ilave yük etkisi oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Altunlu (2008), yapmış olduğu çalışmada betonarme kolonların yüklü araç veya insanla dışarıdan patlatılmalı terörist saldırılara karşı emniyetinin belirlenmesini incelemiştir. Patlama yükü etkisindeki elemanların davranışı, basınç büyüklüğü, dağılımı ve yansıma olgusu altında incelemiştir. MATLAB programlama dili kullanılarak bir analiz programı yazmış ve bu program ile patlama basıncı-zaman ilişkisini oluşturarak betonarme bir kolonun bu yükler altındaki davranışını dinamik olarak sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmiştir. Kesme ve moment kapasitelerini hesaplayarak, dinamik yöntemle elde edilen yüklerle karşılaştırmıştır. Böylece kolonun kırılma mekanizması değerlendirilmiştir. Programdan elde etmiş olduğu sonuçlar, kolonun kırılma mekanizmasının çoğunlukla moment yerine kesme kuvvetinden kaynaklandığını göstermiştir.

Koccaz vd. (2008), yaptıkları çalışmada patlamanın yayılma şekli, davranışı, yapıya, taşıyıcı elemanlara, çevreye ve insanlara etkisini yapısal ve mimari yaklaşımlar ile incelenmiştir. Özellikle resmi ve ticari merkez binalarının terör saldırılarına karşı maliyeti

ne olursa olsun yüksek dayanımlı olarak inşa edilmesi, mevcut binaların güçlendirilmesine ilişkin çeşitli önerilerde bulunmuşlardır.

Tan ve Patoary (2009), patlatma yüküne maruz FRP ile güçlendirilmiş yığma duvarların patlatma direncini belirlemek için yaklaşık bir analiz yöntemi geliştirmişlerdir. Arazi deneylerinde duvarda belirgin bir hasarın oluşmadığını, FRP'nin patlama yüküne maruz duvarların güçlendirilmesinde başarı sağladığını gözlemlemişlerdir.

Cömert (2010), yapmış olduğu çalışmada betonarme yapıların patlama etkileri altında değerlendirilmesini anlatmıştır. İlk olarak patlamaların çeşitleri ve yapılara etkilerini, daha sonra yapıların modellenmesi ve kapasiteleri, son olarak yapıların patlama yükleri karşısında çözümlene yöntemlerini incelemiştir. Ayrıca betonarme elemanlar için çeşitli kaynaklardan performans seviyeleri tanımlayarak muhtemel patlamalar sonunda yapıların göstereceği performansları belirlemiştir. Bunlara ek olarak, Ülkemiz şartlarını içeren iki farklı örnek sunmuştur. Bu örnekler, 2008 yılında yaşanan küresel barut üretim tesisi patlaması ve Ülkemizde 1970'li yıllarda yapılan yapıların özelliklerini taşıyan tipik 4 katlı betonarme bina üzerinde saldırı senaryoları kurgulanmıştır. Yapının bu saldırı senaryoları altında gösterebileceği performansları değerlendirilmiş ve bu senaryolar sonucunda yapıda ciddi hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir.

Hao ve Tang (2010a), patlama yükü altında geniş kablolu köprülerin dinamik tepkilerinin sayısal simülasyonunu çalışmışlardır. Köprü tabliyesinin 1m, ayak ve kulenin 0,5m üzerinde 1000kg TNT kullanılarak oluşturulan patlamanın hasar mekanizması ve şiddetini incelemişlerdir. Farklı ölçeklenmiş mesafelerdeki patlama yükünün köprünün dört ana bileşeninin üzerindeki çökme sürecini analiz etmişlerdir. Köprü için güvenli ölçekli mesafeyi belirlemişlerdir.

Hao ve Tang (2010b), aynı köprü modeli üzerinde patlama etkisinde FRP ile güçlendirilmiş arka tabliyenin yüke karşı direnç kapasitesini incelemişlerdir. Tabliye üzerinde düşey yük taşıma kapasitesinin önemi irdelenmiştir. Köprünün çökmesi gibi bir felaketin önlenmesi için kule ve ayaklarda minimum ölçeklenmiş mesafe yaklaşık olarak $1,20 \text{ m/kg}^{1/3}$ ve $1,33 \text{ m/kg}^{1/3}$, beton arka tabliyede çökmenin önlenmesi için $0,126 \text{ m/kg}^{1/3}$ değerlerini belirlemişlerdir. Beton arka tabliye yapılan çalışmada en hassas bölge olduğundan 1mm ve 3mm kalınlıklarında CFRP ile güçlendirilmesi durumunda patlama yüküne direnci ölçülmüş fakat önemli miktarda dayanım sağlamadığını gözlemlemişlerdir.

Hussein (2010), lineer ve bilineer olmak üzere iki tip impuls uygulayarak tek serbestlik dereceli sistemin lineer olmayan davranışını incelemiştir. Patlama olayının lineer olmayan

eşitlik çözümlerini yapmıştır. Yapılan analizler sonucunda patlatma dalgası tipinin zaman tanım alanı analiz sonuçlarına etkisi ve patlama yükünde harcanan enerji değerleri incelenmiştir. Zaman tanım alanı grafiği, Hysteris Analizi ve harcanan enerjinin elde edilmesi için pek çok parametre kullanmıştır.

Özcan (2010), yapmış olduğu çalışmada betonarme ve yığma yapı türleri için parçacık hızı ve frekansa bağlı bölgesel patlatma hasar tahmin kriterleri çıkartmış ve patlatma kaynaklı yer hareketinin yapıların doğrusal olmayan davranışı üzerindeki etkisini Operasyonel Modal Analiz yöntemi ile belirlemiştir.

Kelliher ve Sutton-Swaby (2011), yapmış oldukları çalışmada patlatma yüküne maruz betonarme binaların stokastik analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada 10 katlı ve zemin katı açık otopark olan betonarme binaya farklı ağırlıklarda patlayıcıların etkisindeki risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme yapılırken pek çok binaların güvenilirlik algoritmasında kullanılan Monte Carlo metodu yapı modelinin çökme süreci korunarak basitleştirilerek uygulanmıştır.

Jayasooriya vd. (2011), yapmış oldukları çalışmada bir araç içinde 500kg TNT ile 5m mesafede ve zemin kotununun 1m yukarısında oluşan patlamanın 10 katlı betonarme çerçeve bina ve bu sistemde anahtar eleman olarak bilinen kolon ve bileşim malzeme sistemini incelemiştir. İki aşamalı sonlu eleman modeli ve analitik teknikler kullanılarak betonarme çerçeve sistemin hem genel kararlılık durumunu hem de bölgesel artık gerilme kapasitelerini lineer ve lineer olmayan analizlerle incelemiştir. İlk aşamada lineer zaman tanım alanı analizlerini SAP2000 programıyla tüm çerçeve sistemin tepkisi ölçülmüş ve birtakım düzeltmeler yapmışlardır. Patlama bölge analizleri ise LS-DYNA programı kullanılarak iki aşamada yapılmış ve ilk aşamada seçilen betonarme elemanların iki farklı dinamik artım faktörü kullanılarak lineer olmayan analizler sonucunda hassasiyetlerini belirlemiştir. Çalışma sonucunda ölçekli mesafe dikkate alınarak bina yükseklik ve genişliği boyunca patlatma yükü uygulanabileceği, genel analizin yapı tepki kapasitesini verdiği, en hassas elemanların ise bölgesel analizlerle patlama sonrası servis koşullarının belirlenmesi gerektiği, temel gerilme ve plastik şekil değiştirme diyagramları yardımıyla artık kapasite değerlendirmesi ve hasar mekanizmasının belirlenebileceği gibi yargılara varmışlardır.

Son ve Lee (2011), boşluklu çelik kutu ve beton dolgulu pilonlara sahip kablolu köprünün patlama yükü altında dinamik tepki ve performanslarını, hava patlama etkisinin tabliye ve pylonlar arasındaki etkileşimini anlamak için Euler ve Lagrange yöntemlerini kullanarak incelemiştir. Patlama yükü etkisi altında köprünün dinamik davranışının, üç

boyutlu geometrisine, infilak noktasının yönü ve yapıya mesafesine, yapı elemanlarının yüksek şekil değiştirme oranları gibi çeşitli faktörlere göre değişkenlik gösterdiğini saptamışlardır. Patlama yükleri beton ve çelik yapı elemanlarında ani şekil değiştirme oranlarında önemli bir biçimde artışa dolayısıyla akma ve kırılma dayanımlarının maksimum düzeye ulaşmasına sebep olmuştur. Pik şok dalgalarının etkisi azaldıktan sonra P- Δ etkisinin köprüde büyük enlemsel deformasyonlara ve sonuç olarak boşluklu çelik kutu kesitli pylonların çöktüğünü fakat beton dolgulu pylonlarda bu etkinin daha az olduğunu gözlemlemişlerdir.

Draganic ve Sigmund (2012), yapmış oldukları çalışmada yapıya etkiyen patlama yükünün belirlenmesi, ampirik formülasyonlar ve sayısal bir örnek ile binanın patlamaya karşı olan direncini izlemişlerdir. Sayısal örnekte 1, 10 ve 100kg TNT miktarlarının 1.2m mesafede infilak etmesi sonucu yapıya ve komşu yapılara olan etkileri incelenmiştir. Patlama yükü altında yapı davranışı kontrol kriteri olarak yapı elemanının sınır deformasyon ve dönmesi esas alınmıştır. Betonarme elemanlar için mesnetlerde dönmeler, çelik yapılar için ise sönüm oranı kullanıldığı belirlenmiştir. Analizin amacı patlatma yüküne maruz yapı elemanının sönüm talebini kontrol etmek ve her birinin mevcut haliyle karşılaştırmasının yapılmasıdır. Sonuç olarak lineer olmayan analizin ve basit plastik mafsallı davranışının incelenmesinin gerekli ve yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Turcan (2012), kapalı hacimlerde meydana gelen patlamaların ve darbe basıncı yükleri etkisindeki yapıların davranışını incelemiş olduğu çalışmada, bir yüzeyi açık olan üç farklı küp ile birlikte üç farklı patlayıcı ağırlığı kullanmıştır. Pik basınç, zaman ve darbe parametrelerini detaylı bir biçimde incelemiştir. Hesaplama süresini kısaltmak için yeniden eşleştirme ve ölçeklendirme yöntemlerinden faydalanmıştır. Deneysel verilerle, yarı deneysel program ve hidrokod kullanarak yaptığı çalışmalarını doğrulamıştır. Çalışma neticesinde hidrokod ve yarı deneysel yöntemin kısmen açık yüzeyi bulunan kapalı ortamlarda meydana gelen patlamalarda kullanılabilir olduğu, yapıların dinamik tepkilerini öngörebilmek için bu yöntemlerin ön hesaplamalarda kullanılabilir, daha hızlı ve doğru sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Vaighan (2012), yapmış olduğu çalışmada patlama etkisi altında farklı mesnet düzenlemelerine ait çelik panel elemanların çelik çerçevelere bağlı olduğu kabulüyle dinamik davranışlarını incelemiştir. Çalışmasında sürtünme esaslı ve şekil değiştirme esaslı ikişer model oluşturmuş ve sürtünmeli modellerin patlama etkilerine karşı daha uygun davranış gösterdiği ve plastik birim şekil değiştirmenin daha aza indirgendiği, sonuç olarak

mesnet koşullarının patlama enerjisinin harcanması için çok önemli olduğu yargısına varmıştır.

Köksal (2013), yapmış olduğu çalışmada patlatma kaynaklı oluşan yer hareketinin yapılar üzerindeki dinamik etkilerini incelemiştir. Patlama kaynaklı yer hareketinin modellenmesinde, patlama kaynağına olan uzaklığa ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak elde edilen pik ivme değerinden ve patlama basıncının zaman zarf eğrisinden yararlanmıştır. Patlama kaynaklı yer hareketlerinin yapılar üzerindeki dinamik etkilerini araştırmak amacıyla çelik taşıyıcı sisteme sahip ayaklı bir su deposunu ANSYS sonlu elemanlar yazılımıyla modelleyerek patlama kaynaklı yer hareketlerinin sonuçlarını değerlendirmiştir. Patlayıcı ağırlığı sabit iken, patlama merkezinden uzaklaştıkça yerdeğiştirme ve gerilmelerin azaldığı, deprem yer hareketi frekansının patlama kaynaklı yer hareketi frekansından daha küçük olduğu, patlama basıncını ve etkiye süresini etkileyen en önemli parametrelerin patlayıcı ağırlığı ve patlama merkezine olan dik uzaklığı, patlama basıncı ve etkiye süresinin patlayıcı miktarı arttıkça buna bağlı olarak arttığını tespit etmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen bulgular doğrultusunda, hem hava şoku etkili yer hareketine hem de direkt etkili yer hareketine bağlı olarak sistemde meydana gelen yer değiştirme ve gerilme değerlerini yayımlamıştır.

Shin vd. (2014), yüksek miktarda patlayıcı madde içeren patlamalarda meydana gelen olay ve yansıyan basınç-impulsif kuvvetleri karakterize etmek amacıyla bir, iki ve üç boyutlu modeller üzerinde uygulamalı akışkan dinamiği kodunu (CFD) kullanarak analizler yapmışlardır. Bir boyutlu hesaplama ve analizlerin açık alanda meydana gelen yakın mesafelerdeki patlamalar için uygun olduğunu, Friedlander denkleminin infilak sonucu meydana gelen patlayıcı ürünlerinin pik basıncın hesaplanmasında yetersiz kaldığı, bunun için CFD kodlarını kullanmanın daha doğru olduğunu tespit etmişlerdir.

Yusof vd. (2014), yapmış oldukları çalışmada farklı ağırlıklarda ve 2m mesafede patlatma yüküne maruz betonarme istinat duvarının davranışını incelemiştir. Duvar kalınlığı 25cm ve yüksekliği 450cm olarak belirlenmiş olup, sırasıyla 5, 50, 400 ve 1500kg ağırlıklarında TNT patlayıcı türü ile Autodyn programında analizler gerçekleştirmişlerdir. 50kg ve altındaki değerlerde patlayıcıların duvarda yıkım oluşturmadığı fakat 400kg ve yukarısının yapıda hasar hatta tamamen yıkımına sebep olduğu gözlemlenmiştir. İstinat duvarlarının yapı çevresine inşa etmenin yapıyı tamamen korumadığı fakat ağır hasar ve yaralanmaların, ölümlerin önüne geçilebileceği sonucuna varılmıştır. Kullanılan ANSYS Autodyn programının, deneysel çalışmaların çok pahalı ve tehlikeli olmasından ötürü, yapı

davranışını düzgün bir şekilde değerlendirdiğini, gerçeğe yakın sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Yalçiner (2014), yapmış olduğu çalışmada korozyonlu ve korozyonsuz betonarme yapılarda 6, 12, 18 ve 24m olmak üzere farklı mesafelerde 150kg TNT kullanılarak patlatma yüküne karşı yapının tepkisini ölçmüştür. Korozyon etkisini verebilmek için plastik mafsal özelliklerini modifiye etmiş ve tek serbestlik dereceli sistem için üçgenel darbe yükü kullanarak patlatma yükünü modellemiştir. Bu noktada patlatma yüküne karşı dayanımda korozyon etkisine bakıldığında, donatıdan ziyade betonun dayanımının daha önemli olduğunu tespit etmiştir. Eğer donatı korozyonlu ise patlama yükünün etkisi korozyonun fonksiyonu olarak betonda artan çatlaklara sebep olduğu sonucunu elde etmiştir. Yapılan çalışma neticesinde artan patlama mesafesi ile birlikte korozyonlu betonda çatlakların değişiminde önemli bir değişikliğe sebep olmadığı, korozyonun histerik enerji yüzdesine katkısının çok önemli rol oynamadığını tespit etmiştir.

Shi ve Stewart (2015), yapmış oldukları çalışmada patlama yüküne maruz betonarme kolonların mekânsal olarak değişkenlik analizini 50, 100 ve 1000kg ANFO tipi patlayıcılarla sabit ve sabit olmayan alanlarda kolon boyut ve malzeme özelliklerinin değişkenliğine bağlı olarak modellenmesini LS-DYNA programı kullanılarak yapmışlardır. Yapılan çalışmada 50 ve 100kg ANFO değeri için 0, 5, 10 ve 15m, 1000kg ANFO için ise 5, 10, 15, 20 ve 30m mesafede patlama senaryolarında kolonun taşıma kapasitesinde oluşan hasarları incelemişlerdir. Patlamalar sonucunda kolonun yapı bünyesindeki konumunun patlama yükü altındaki davranışı açısından önemli olduğu patlama merkezine yakın olan cephedeki kolonların daha çok hasar aldığı, mesafe arttıkça hasar düzeyinin azaldığı ve hasar indeksi açısından patlama ile birlikte kalıcı basınç hasarı görmeyen kolonlarda dahi infilak mesafesi ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak %7-22 arasında azaldığını gözlemlemişlerdir.

Coffield ve Adeli (2015), altı farklı düzensiz çelik bina üzerinde farklı lokasyonlarda patlama senaryolarında yapının dinamik analizlerini yapmışlardır. Patlama yüklerini sınırlandırılmamış açık hava patlaması kategorisinde, kolon merkezinden 4.5m uzaklıkta olacak şekilde belirlemişlerdir. Çaprazlarla kaplı çelik çerçevelerin düzensiz binalarda patlama yüküne karşı dayanımının daha yüksek olduğu, girintili köşe kısımlarında oluşan patlamalarda yapıların daha iyi performans sergilediği, mimari tasarım, bina yerleşimi ve oryantasyonunun yüksek katlı yapılarda patlama yükünün oluşturacağı potansiyel hasarı minimize etmede önemli olduğu, ileride yapılacak olan çalışmalarda kütle ve rijitlik

açısından düzensiz binaların patlama yükü etkisinde vereceği dinamik tepkilerin araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Mao vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada %2, %4, %6 oranlarında ultra yüksek performanslı lif içerikli betonarme döşemelerin lif içeriğine bağlı olarak 100 ile 1500kg arasında değişen miktarlarda PE4 tipi patlayıcı ile dinamik tepkilerini ölçmek amacıyla arazi testleri ve LS-DYNA yazılımıyla karşılaştırılmasını yapmışlardır. Artan lif hacmi deney aşamasında patlayıcı oranında artışa ve dolayısıyla buna bağlı olarak döşemede yer değiştirmelerin artışına sebep olduğunu gözlemlenmiş ve döşemede sadece kritik miktarda kullanılan patlayıcı ağırlıklarında çatlaklara rastlamışlardır. LS-DYNA da modelleme aşamasında lifler tam olarak tanımlanamadığından aşırı basınç altında yüksek lif içerikli betonarme döşeme davranışının tam olarak belirlenemediğini açıklamışlardır. Gelecek çalışmalarda beton matrisi, çelik liflerin ve hatta diğer pek çok malzemelerin de patlatma analizleri ve diğer analizlerin daha iyi simüle edilmesi için yapılandırılmaya gidilmesi önerisinde bulunmuşlardır.

Mazurkiewicz vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada patlama yükünün I kesitli kolonun taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kolona dört aşamalı yük uygulamışlardır. Bunlar ön yükleme, patlatma yükü, patlama sonrası dinamik tepki ve deforme olmuş yapının statik eksenel yük taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi şeklindedir. Farklı ağırlık, şekiller ve başlangıç noktalarında (ön, merkez, arka) oluşan patlatmaların yapıdaki hasar seviyelerinin değişimini incelemişlerdir. Patlatma ile yapıda yüksek plastik deformasyonlar oluştuğu gözlemlenmiştir.

Aoude vd. (2015), ultra yüksek performanslı lifli betonarme kolonların patlama yükü altındaki davranışını incelemişlerdir. Artan lif içeriği (%2-4) kolonlarda patlama direncinde önemli artış gösterdiği, liflerin özelliklerinin optimize edilmesiyle kalıcı ve maksimum yerdeğiştirmelerin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Tokgöz (2015), denizyolu ya da karayolu köprü ayaklarındaki kolonlara araçların çarpması veya patlama sonucu etki eden hava şoku profilini deneysel olarak gerçekleştirmek amacıyla laboratuvar ortamında 1/3 ölçekli sekiz adet kolon üzerinde serbest ağırlık düşürme testi yapmıştır. Deneysel elemanların genel davranışlarını, yük-yerdeğiştirme grafiklerini, göçme mekanizması, ivme-zaman grafiklerini yorumlamış ve önemli bulgular elde etmiştir.

Zhang vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada yakın mesafeli patlama yükünden sonra ultra yüksek performanslı lifli betonarme dolgulu çift tabakalı çelik tüplü kolonların (CFDST) nihai eksenel kapasitesini deneysel çalışmalarla değerlendirmişlerdir. Patlatma

yüküne tabi tutulan kolonlar laboratuvarında kırılana kadar statik eksenel yüke maruz bırakılmış ve sonuç olarak daha küçük kalıcı yerdeğiştirmeler yaptığı ve patlatma yüküne karşı statik yüklemdeki gibi sünek davrandığı gözlemlemişlerdir.

Zhang ve Philips (2015), tabandan izole edilmiş yapıların patlama yükü altında performans ve korunmasını çalışmışlardır. Tabandan izole edilen yapılar üzerindeki bu çalışma neticesinde katlar arası ötelenme ve her bir kata etki eden ivmede azalma açısından fayda sağladığı tespit edilmiştir. Temel izolasyonlu yapılarda büyük uyarılar altında taban yerdeğiştirmesinin azaldığı, daha küçük uyarılarda ise nominal taban izolasyon performansının korunduğunu gözlemlemişlerdir.

Erdolu (2016), yapmış olduğu çalışmada tek serbestlik dereceli sistem metodunu kullanarak köprü tipi yapılar için patlama yük etkisinde hasar hesaplama aracı geliştirmiştir. Geliştirmiş olduğu hesaplama aracının doğruluğunu korozyona uğramamış elemanlar üzerinden Autodyn ve tek serbestlik dereceli sistem yöntemini kullanan RC BLAST programları vasıtasıyla teyit etmiştir. Korozyona uğramış yapı elemanı varsa yük taşımadığını kabul etmiştir.

Gevrek (2016), çelik kolon-kiriş elemanların patlama yükü altında dinamik davranışını incelemiştir. Patlama yüküne maruz yapı elemanlarının davranışını tahmin etmede kullanılan analitik metotların sonuçlarının doğruluğunu ispat etmek ve model parametrelerini tahmin edebilmenin sonuçlar üzerindeki etkisini anlamak için deneylerden elde edilen verileri kullanarak çalışmasını gerçekleştirmiştir. Malzeme modeli parametrelerini kalibre ederek biri elastik diğer plastik bölgede deformasyon gösteren iki model kullanmış ve patlama yükü etkisinde kolonlarda oluşabilecek hasarlar üzerinde analizleri gerçekleştirmiştir.

Andreou vd. (2016), çalışmalarında patlama gibi yüksek basınç yükünün köprüler üzerindeki etkisinin hızlı ve etkin bir biçimde değerlendirilebilmesi için basitleştirilmiş bir modelleme yöntemi önerisinde bulunmuşlardır. İlk olarak basınç dalgasının matematiksel modelleme ile zamansal olarak yapı yüzeyine maruz kalan kısmını belirlemişlerdir. Bu belirleme işlemi ile yapıdaki kuvvet fonksiyonlarının tanımlanmasını kolaylaştırmışlardır. Köprü modelinde meydana gelen aşırı deformasyonlar için bir fonksiyon geliştirilmiş ve elde edilen yöntem ile patlamaya maruz kalan yapıların hızlı bir değerlendirme prosedürü için temel tasarım oluşturabileceği şeklinde önerilerde bulunmuşlardır.

Özel (2016), yapmış olduğu çalışmada delme ve patlatma yöntemlerini inceleyerek uygun bir tünel modeli üzerinde patlatma simülasyonları sonucunda ortaya çıkan titreşimler

ile bunların yapılara olan etkisini ele almıştır. Üretilmiş model üzerindeki farklı noktalardan ANSYS Workbench yazılımı ile yapılan hesaplarla maksimum parçacık hızını (PPV) tespit etmiş, geleneksel bir kontrol yöntemi olan “Ölçekli Mesafe” bağıntısını kullanarak ulaşılan sonuçlarının doğruluğu teyit etmiştir. Son olarak elde edilen titreşim değerleri, ANSYS Mechanical APDL sonlu eleman programı ile tarihi yapı örneklerinden Erzurum Lalapaşa Camisi modeline uygulamış ve patlayıcı kaynaklı sarsıntıların tarihi yapı modeline etkisini incelemiştir.

Alsayed vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada cam lifli polimer kompozit malzeme (GFRP) ile güçlendirilmiş dolgu duvarın patlama yükü etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Güçlendirme yapılmış ve yapılmamış olan üçer adet dolgu duvarları farklı ağırlıklarda C4 türü patlayıcı ile deneye tabi tutmuş ve Autodyn programı kullanılarak deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Patlatma yüküne maruz güçlendirilmiş dolgu duvarın dinamik davranışını anlayabilmek için bir takım parametrik çalışmalar yaparak sayısal simülasyon tekniklerinin duvar tasarımında gereksinim duyulan pahalı deneysel çalışmaları azaltan teorik referanslar sağladığı, sağlıklı ve uygun biçimde ankraj edilmiş GFRP kompozitin güçlendirilmemiş dolgu duvarlarda uygulanması halinde düşük ve orta şiddetteki patlama yüklerine karşı dayanım sağladığı yönünde çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir.

Hacıfendioğlu (2016), kısa açıklıklı karayolu köprüsünün parametrik olarak stokastik analizini yapmış ve dalga geçişi, tutarlılık kaybı ve zayıflatma etkileri, patlama zemin hareketinin mekansal değişiminin kaya ortamı üzerindeki etkisini incelemiştir. 10, 20 ve 40m mesafede 100, 250 ve 500kg TNT ile analizler yapmıştır. Köprü ve patlama merkezi arasında mesafe arttıkça gerilme ve yerdeğiştirmelerin azaldığını saptamıştır. Tam uyumlu patlama kaynaklı yer hareketinden farklı tepkiler ortaya çıktığını, ayrıca yerdeğiştirmeler genellikle köprünün merkez payandalarında yatay bileşen yönünde, Von Mises gerilme yığılmalarının ise köprü kolonlarının alt uçları ile temelleri arasında ve kirişler ile köprü ayağı arasında oluştuğunu gözlemlemiştir. Karayolu köprülerinin farklı tasarım ve zemin koşullarına göre patlatma kaynaklı yer hareketlerinden ötürü vereceği tepkinin de farklı olacağı ve genel bir tepki kabulü için daha fazla deneysel ve parametrik çalışmalara ihtiyaç olduğunu belirtmiştir.

Hacıfendioğlu ve Koç (2016), yapmış oldukları çalışmada patlamanın oluşturduğu yer hareketine maruz tarihi yığma köprülere kısmi hasar etkisini incelemiştir. Literatürde tarihi yığma köprülerin aldıkları hasarlar incelenerek sonlu eleman modeli oluşturulurken

restore edilmiş köprüye çeşitli hasarlar vermişlerdir. Daha sonra bazı kritik bölgeler belirlenip sonlu eleman modeli üzerinde hasarlar kaldırılarak istenen kısmi hasarı vermişlerdir. Köprünün dinamik hesaplamaları, bir patlama yükünden dolayı yer hareketlerinden elde edilen çok noktalı şok tepki spektrumu yöntemini kullanarak sunmuşlardır. 10m mesafe için 750, 1000, 1250kg TNT ile, 10, 15, 20m için 1250kg TNT ile köprünün dinamik tepkisini ölçmüşlerdir. Bunun sonucunda artan patlayıcı miktarı ile patlama merkezinin köprüye mesafesi azaldıkça dinamik tepkisinin arttığını, patlama merkezinin mesafesi arttıkça dinamik tepkinin azaldığı, maksimum yer değiştirmelerin ana kemerin tepe noktasında oluştuğunu, Von Mises gerilmelerinin köprü hasarlı bölgelerinde en yüksek değeri aldığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen en önemli sonucun ise patlama kaynaklı yer hareketi için çok noktalı tepki spektrumu analizinin, tarihi bir yığma köprünün restore edilmesi durumunda, müdahale alanlarının nitel bir haritasını sağlayarak yararlı olabileceğini bundan ötürü tarihi yığma köprülerin yenileme çalışması yapılırken patlatma kaynaklı yer hareketinin etkisine maruz kalması durumunda çok noktalı şok tepki spektrum analizinin güvenli ve ekonomik olduğunu belirtmişlerdir.

Hashemi vd. (2016), 1015m uzunluğa sahip üç açıklıklı bir kablolu çelik köprüye ait sonlu eleman modeli oluşturduktan sonra üç farklı patlayıcı ağırlıkları, tabliye üst ve altında farklı lokasyonlarda patlatma senaryosu kurgulayıp köprü tabliyesi, ayakları ve kablolarında oluşabilecek bölgesel ve genel hasarları araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, özellikle büyük patlama yükü altında köprü tabliye ve ayaklarında büyük plastik deformasyon ve şekildeğiştirmelerin oluştuğu fakat bu hasarların göçmeye sebebiyet vermediğini, infilak noktasına yakın yerlerde köprü elemanlarında onarıma ihtiyaç duyulduğunu gözlemlemişlerdir.

Codina vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada bir kısmı zemine gömülü betonarme kolona farklı mesafelerde patlama etkisini ölçmüş, oluşturulan sayısal modeli kalibre etmek için çoklu deneysel ve sayısal analizler yapmışlardır. Buradan hareketle betonun temel denklemleri için yeni bir takım parametre önerilerinde bulunmuşlardır.

Wijesundara ve Clubley (2016), yapı içinde oluşan bir patlamada betonarme kolonlarda kolon narinlik özellikleri, donatı detayları ve malzeme özellikleri gibi bir dizi değişkene bağlı olarak önerilen yöntem ile iç patlama etkilerinden ötürü oluşan kolon hasarının boyutunu belirlemeye yönelik bir hasar tespit prosedürü geliştirmişlerdir. Elde edilen veriler doğrultusunda çalışmanın özellikle daha çok depo, park gibi yapıların içerisindeki patlamalar gibi sınırlı alanlarda meydana gelen iç patlama senaryolarında geçerli

olduğu sonucuna varmışlardır. Güçlü bölme duvarlara sahip yapılarda meydana gelen iç patlamalardan doğan daha karmaşık durumlar için detaylı araştırmaların yapılması yönünde tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Nourzadeh vd. (2017), patlama şok dalgaları yayılma doğrultusuna dik yönde bulunan çatı kirişlerinin ve yan cephe elemanlarının patlama sonucu tepkilerinin hem geleneksel yöntem olan tek serbestlik dereceli eş değer sistem hem de çok serbestlik dereceli sistem baz alınarak hesaplamalar yapılmasının doğruluğunu incelemişlerdir. Bu yöntemlerde patlama yükünün zamanla değişen büyüklüğe sahip, üniform bir yük şeklinde gösterilmesi temellerine dayanarak hesaplamalar yapılmış ve iki yöntem ile elde edilen sonuçlar arasında çok büyük farklılıklar olmadığı, tasarım açısından ekonomik boyutlandırma vermediği yargısına varmışlardır. Bu yöntemlerin dışında BLAST adlı basit bir bilgisayar kodu geliştirilmiş ve GUI adlı data girişi kullanılarak patlama gibi kompleks ve tahmin edilmesi güç olan yük değerlerinin hesaplamasını, patlama yük parametrelerinin belirlenmesi, patlama yük süresi zaman tanım alanı oluşturulması ve doğrusal olmayan zaman tanım alanı dinamik analizi ile başlayan analizin tüm aşamalarını gerçekleştirdiği ve geleneksel yöntemlere göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği kanısına varmışlardır.

Codina vd. (2017), her iki ucu yüksekliğinin yarısından itibaren zemine gömülü olarak mesnetlenmiş 23x23cm kesitli, 2.44m serbest açıklıklı beş adet kirişin 60cm yukarısında TNT kullanılarak arazi deneyleri yaparak kirişlerin dinamik tepkisini ölçmüşlerdir. Arazi deneyleri sırasında her iki ucundan yarı yükseklikte zemine gömülü olduğundan ötürü dönme hareketi engellenmiş, sabit mesnetli basit kiriş kabulü yapılmıştır. Arazi deneylerinin yanı sıra Autodyn programında sayısal simülasyon yapmışlardır. Üç farklı yöntem ile karşılaştırmalı analiz yapmışlardır. Bunlar sırasıyla; ince çelik levha ile uç kaplama yöntemi, reçine kaplama ve poliüretan tuğlalar ile kiriş üstünü kapama şeklindedir. Reçine kaplama ve poliüretan tuğla kaplamanın çelik uç kaplamaya oranla nihai yerdeğiştirmelerde %66'dan daha büyük bir oranda iyileştirme sağladığı, çelik uç kaplamanın ise %60 seviyesinde yarar sağladığı tespit edilmiştir. Bu sonuçların yanı sıra diğer dinamik karakteristik özellikler bakımından çelik kaplı levha ile yapılan testlerde daha iyi sonuçlar alındığını gözlemlemişlerdir.

Forni vd. (2017), üç farklı burkulma boyu için, Johnson-Cook malzeme modellemesi ile tasarlanan, tek parçadan oluşan çelik kolon üzerinde önce yangın akabinde patlama etkisinin oluşturabileceği hasar durumu neticesinde kolonun yük taşıma kapasitesini değerlendirmek amacıyla artan sıcaklık koşulları ve farklı infilak mesafelerinde patlamaları

simüle ederek çoklu sonlu eleman analizleri yapmışlardır. Analizler sonucunda yangının ilk on dakikasında kolon yük taşıma kapasitesinde hem her iki ucu tam bağlı hem de bir ucu tam bağlı bir ucu mafsallı olan kolonda %40 oranında azalmanın meydana geldiği, her iki ucu tam bağlı olan kolonda ilk 20 dakika içinde 600°C sıcaklıkta tamamen hasar olduğu, her iki ucu mafsallı olan kolonda ise 400°C sıcaklıkta tamamen göçtüğü ve iki metreden daha küçük mesafelerde meydana gelen patlamalarda ciddi hasarların meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Patlama analizlerinde bir metreden daha kısa mesafelerde yapmış oldukları analizlerin daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Gerçekçi, çoklu tehlike durumlarını içeren bir yaklaşımı takiben, bu araştırmadan elde edilen sonuçlar, tek parçadan imal edilen çelik kolonların hasar seviyesini anlamak için araştırmacılara yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir.

Kyei ve Braimah (2017), eksenel yükleme ve patlama yük etkisinin birlikte etkimesi sonucunda betonarme kolonlarda enine donatı aralığının etkisini incelemişlerdir. Yatay donatı aralıklarının küçük ölçekli mesafelerde kolonun yanal ötelenmesini azalttığını fakat büyük ölçekli mesafelerde etkin bir parametre olmadığı sonucunu elde etmişlerdir. Genellikle aynı ölçekli mesafelerde, patlama yükü ile beraber etkilenen eksenel yükleme arttıkça, özellikle küçük ölçekli mesafelerde, yanal ötelenmelerin arttığı ve kolonda ağır hasarların meydana geldiği yönünde veriler elde etmişlerdir.

Li vd. (2017), toplam 16 adet tam ölçekli kil malzemeden üretilmiş tuğla ile yapılan yığma duvarların arazi testleri ve LS-DYNA yazılımını kullanarak mikro modelleme ile simülasyonlarını yapmış, sonuçları karşılaştırmış ve büyük oranda yaklaşık değerler elde etmişlerdir. Ayrıca TNT eş değeri metodu kullanarak pik basınç ve yük tahmini yapmışlar, kullanılan TNT eş değeri metodu ile kullanılan sonlu eleman yazılım programlarından elde edilen sonuçlar arasında önemli oranda farklılıklar gözlemlemişlerdir. Bunların yanı sıra parametrik çalışmadan ise tuğla duvar kalınlığını artırmak ve sınır koşullarını iyileştirilmesi durumunda duvarın patlama yüküne karşı tepkisinin azaldığı, mesnetlenme koşulunun ise bu duruma katkısının sınırlı olduğu verilerini elde etmişlerdir.

Omran ve Mollaei (2017), betonarme kolonların hem eksenel basınç hem de yanal patlama yüklerinin eş zamanlı olarak etkimesi durumunda tek serbestlik dereceli ve temelde Euler-Bernoulli kiriş teorisine dayanan kirişin yüksek şekildeğiştirme etkisi ile ikincil moment tesirinde iken yanal yerdeğiştirmesini incelemişlerdir. Tek serbestlik dereceli yaklaşım ile çözümlerin hem sistemi daha basite indirgediğini hem de hesaplamaların daha

az zaman aldığı, yapının vermiş olduğu statik ve dinamik tepkileri daha kolay anlamayı sağladığı, sonuçların daha gerçekçi olarak elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Sabiou ve Koçak (2017), ABAQUS adlı sonlu eleman programını kullanarak mikro modelleme ile yığma duvar için farklı mesafe ve ağırlıklarda patlayıcılar kullanılarak yapılan doğrusal olmayan dinamik analizler neticesinde gerilme, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme gibi çeşitli parametreleri incelemişlerdir. Analizler neticesinde yığma duvarda infilak mesafesinin duvarın yıkımında daha etkin olduğu, yapıda şekildeğiştirme enerjisinin ve yerdeğiştirmelerin yakında meydana gelen patlamalarda daha büyük olduğu sonuçlarını elde etmişlerdir.

Salvado vd. (2017), kapalı ortamlarda yaşanan patlamalar ile ilgili geometrinin etkisini deneysel ve analitik çalışmalar yaparak incelemişlerdir. Bunun için farklı cephelerinde kapı, pencere gibi boşlukların olması durumunda, tamamen kapalı kutu biçiminde bir yapı veya tamamen boşluklu cephelere sahip olmaları halinde patlama kaynaklı oluşan basınç değerleri köşe ve kenarlara yerleştirilen sensörler yardımı ile ölçülmüştür. Analitik çalışmalar esnasında seçilecek parametrelerin deneysel verilerden elde edilen ya da işin uzmanları tarafından öngörülen değerler olarak alınması gerektiğine, kapalı ortamlarda yaşanan patlamaların atmosfere açık olan veya açıklığı bulunan yapılarda meydana gelen patlamalardan çok daha karmaşık ve yüksek enerji içerdiği, yansıyan basınç dalgalarının daha güçlü etkideği sonuçlarını elde etmişlerdir.

Syed vd. (2017), yapmış oldukları çalışmada depreme dayanıklı olarak tasarlanmış betonarme bir binanın farklı mesafe ve ağırlıklarda patlayıcılara maruz kalması durumunda verdiği tepki ve yapısal davranışı incelemişlerdir. Bu çalışmanın odak noktası depreme dayanıklı olarak tasarlanan betonarme bir binanın patlama yük etkisi altında minimum etkiyi alacağı güvenli mesafeyi sağlaması için tasarımcıya seçenekler sunması olmuştur. Ayrıca depreme dayanıklı olarak tasarlanmayan betonarme binaya yine aynı senaryolar uygulanarak araştırma yapmışlardır. Yapının kısa ve uzun açıklık doğrultularında, kat sayıları artırılarak, beton basınç değişimi yapılarak farklı parametreler ile yapılan analizler sonucunda çeşitli sonuçlar elde etmişlerdir. Bu sonuçlar, uzun açıklık doğrultusunda oluşan patlamada yapı kritik elemanlarının daha fazla hasar aldığı, kat sayısının artmasının yapı emniyet mesafesini çok fazla etkilemediği, beton basınç dayanımının artması yapı emniyet mesafesinin daha kısa tutulabilmesini sağladığını elde etmişlerdir. Depreme karşı dayanıklı olarak tasarlanmayan binada yapı emniyet mesafesinin depreme dayanıklı olarak tasarlanan betonarme binaya nispeten daha büyük değerler aldığı izlenmiştir.

Toy ve Sevim (2017), yapmış oldukları çalışmada betonarme istinat duvarına 4 ve 5,5m mesafelerde 410kg TNT türü patlayıcı kullanarak Autodyn programında sonlu eleman analizleri ve ampirik formülasyonlarla kıyaslamalar yapmıştır. Analizler sonucunda gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar programlarının patlama gibi komplike problemlerin çözümünde daha hızlı ve gerçekçi çözümler sunduğu ayrıca mesafenin yapılar üzerinde patlamaya karşı etkili bir parametre olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Li ve Aoude (2019), yapmış oldukları çalışmada yüksek dayanımlı beton ve yüksek dayanımlı donatı çeliğinin yapılarda değişken oranlarda kullanımının yarı statik yükleme altında gösterdikleri dinamik davranışları incelemişlerdir. Yüksek mukavemetli donatı çeliği kullanımının eşdeğer patlama yükleri ile kıyaslandığında önemli ölçüde yerdeğiştirmeleri önlediği, yüksek mukavemetli beton kullanımını ise yeterli sayıda yüksek dayanımlı çelik donatı ile takviyesi sonucunda daha etkili sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

1.3. Tezin Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırmasında deneysel, analitik ve sayısal yöntemlerle yapıların patlama yükleri etkisinde dinamik karakteristikleri incelenmiştir. Çalışmalar kapsamında, analitik yöntem olarak genellikle ‘Sonlu Eleman Yöntemi’ tercih edildiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar ise hem çok zorlu hem de maddi anlamada ciddi meblağlar gerektirdiğinden çok sık başvurulan yöntem olmamakla beraber küçük ölçekli yapı veya yapı elemanlarının dinamik karakteristiklerini ölçmek amacıyla literatürde yer verilmiştir. Bu çalışmalarda betonarme, çelik, yığma yapıların patlama etkisinde gösterdikleri dinamik karakteristiklerden, basınç, yerdeğiştirme, yük taşıma kapasiteleri, impuls, toplam enerji gibi parametreler irdelenmiştir.

Literatüre katkı sağlayacağı düşünülen bu tez çalışması üç ana bölümden oluşmaktadır. İlk kısımda genel bilgiler, konu ile ilgili daha önceden yapılmış çalışmalar hakkında teorik bilgiler verilerek ülkemiz ve dünyamızda konunun öneminin giderek arttığının vurgusu yapılmaktadır. Bu kısımda, patlama olgusu, patlayıcı çeşit ve etkileri, patlamanın oluşum şekilleri ve yapılar üzerindeki tesirleri birbirleri ile ilişkilendirilerek açıklanmakta, analitik yöntemlerle ilgili denklemlere yer verilmektedir.

İkinci bölümde yapılan çalışmalar ve bu çalışmalar neticesinde elde edilen bulgulara yer verilmektedir. Bu bölümde örnek bir çalışma sunmak amacıyla, ilk etapta deneysel olarak Trabzon ili Hayrat ilçesinde 1/1 ölçekle inşa edilen üst kısmı tamamen havalandırma

boşluklu tuğla modelin iç taban merkezine yerleştirilen farklı patlayıcı ağırlıklarında gösterdiği tepkiler ölçülmüştür. Daha sonra sonlu eleman yazılımı olan ANSYS Workbench programı ile geometrik modelleme oluşturulmuş, Autodyn programı ile patlama analizlerinden elde edilen sonuçlar, teorik formülasyonlar ile elde edilenlerle ve konu ile ilgili abaklardan okunan değerler ile karşılaştırılmaları yapılmış, basınç değerleri için tablolar halinde sunulmuştur. Elde edilen verilerin %0,011-%14 aralığında yakınlık göstermesi sonlu eleman modellerinin doğru bir şekilde yapıldığını kanıtlamış, bu doğrultuda yapılacak diğer sonlu eleman analizlerinin gerçeği yansıtacağı düşünülmüştür. Daha sonraki aşamada tezin esas kısmını oluşturan simetrik yapıya sahip, tek katlı iki açıklıklı, farklı geometrik özelliklere sahip iki adet betonarme bina modeli yapılarak çeşitli patlama senaryoları kurgulanarak yapısal dinamik tepkiler incelenmektedir.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasından elde edilen verilere ve önerilere yer verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar ve özgeçmiş izlemektedir.

1.4. Patlama, Patlayıcı Madde Çeşitleri, Patlamaların Oluşum Şekilleri ve Yapılar Üzerindeki Tesirleri

1.4.1. Patlamanın Tanımlanması ve Genel Terimler

Patlamanın tanımı ile ilgili birçok bilim adamı benzer tanımlamalar yapmışlardır. Bunlardan en yaygın olarak bilineni Mendis, Gupta ve Ramsay'in yapmış oldukları tanımlamalardır. Patlama; katı veya sıvı patlayıcı maddelerin kimyasal reaksiyonlar sonucunda geniş çaplı, yüksek hızlı ve yüksek enerjinin, yüksek yoğunluk ve ısıda, aniden çok büyük basınçlı gaz olarak etrafına yayılması şeklinde tanımlanır (Mendis, Gupta ve Ramsay, 2007). Patlamaların oluşum şekilleri incelendiğinde fiziksel, kimyasal ve nükleer patlamalar olmak üzere üç ana kategoriye ayırabiliriz. Fiziksel patlamada; enerjisi sıkıştırılmış gazın aniden ortaya çıkmasıyla, volkanik patlama veya farklı iki sıcaklıktaki iki sıvının karışımı sonucu ortaya çıkar. Nükleer patlamada ise; enerji, farklı atom çekirdeklerinin formasyonları sonucu ortaya çıkar. Bu durum, proton ve nötronların çekirdeği aktif hale getirmesiyle meydana gelir. Kimyasal patlamalar, karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarının ani oksidasyonu sonucu oluşur ve bu da kimyasal patlamaların asıl kaynağıdır.

Bazı kaynaklarda ise patlamalar termal ve termal olmayan patlamalar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Termal patlama, aniden tutuşma sonucu meydana gelen şiddetli gaz genişlemesinin, çok büyük kuvvet ve yüksek şiddetli ses dalgaları içermesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanımlama doğrultusunda 2004 yılında İstanbul'da yaşanan patlama termal patlamaya örnek olarak gösterilebilir. Termal olmayan patlama ise, bir yapının içindeki basıncın artması nedeniyle aniden meydana gelen patlamaları tanımlamaktadır. Örnek olarak, atmosfer basıncı altındaki bir tankın dolmuş olması işlemi sırasında içindeki basıncın aniden artmasıyla meydana gelen patlama gösterilebilir (Tahmilci, 2007).

Patlama olayı esnasında enerjinin salınımı çok hızlı gelişen kimyasal reaksiyonlara sebep olur ki bu, sonik hızdan çok daha büyük olabilmektedir. Patlama olayı egzotermik (ısı veren) bir reaksiyondur, malzemelerde şok dalgası olarak yayılmaya başlar ve reaksiyon süresince bu şekilde yayılımına devam eder. Patlamanın karakteristik özelliğinden biri ise reaksiyon bölgesindeki yayılma hızının ses hızından çok daha büyük olmasıdır. Yoğunlaştırılmış ve sıkıştırılmış haldeki patlayıcı maddenin infilak etmesiyle birlikte meydana gelen patlama olayı esnasında ani basınç 10 – 30GPa, sıcaklık 3000 – 4000°C ve hız ise 1500-9000m/s değerlerine ulaşabilmektedir.

Yüksek yoğunluklu patlayıcıların infilak etmesiyle birlikte patlama dalgaları meydana gelir. Patlama dalgası patlayıcının merkezinden atmosfere doğru küresel olarak yayılan şok dalgası etkisi oluşturur. Şok dalgaları patlamanın merkezinden açığa çıktığı andan itibaren saniyenin binde biri gibi kısa bir süre içinde maksimum basınç ve hız değerine ulaşır. Hareketine devam eden şok dalgası patlama merkezinden uzaklaştıkça yüzey alanı genişler buna mukabil basınç değeri giderek azalır. Bu durum şok dalgasının etrafını çevreleyen hava ile denge sağlanana kadar devam etmektedir. Bu süreç literatürde pozitif faz süresi adını almaktadır. Şok dalgasının hareketi esnasında geçtiği bir bölgedeki şok dalgasının arkasında kalan bölgenin basınç değeri ortam basıncının da altına düşerek burada negatif basınç oluşturarak vakum etkisi meydana getirmektedir. Buradaki vakum etkisi oluşturan negatif basınç oluşum sürecine de negatif faz evresi denilmektedir. Şok dalgasının önünde ise dalganın hareket yönüne göre ortamda mevcut olan hava sıkışarak bir set gibi şok dalgasıyla beraber hareket ederek ortam basıncına oranla çok daha büyük bir pozitif basınç oluşturmaktadır. Şok dalgasının önünde bulunan bu pozitif basınç arkasında kalan negatif basınçtan oldukça yüksektir. Negatif faz süresi ise pozitif faz süresine nispeten daha uzun fakat daha az etkilidir. Yapılan tüm çalışmalar incelendiğinde yapılar üzerinde en çok hasarı pozitif faz sürecinde meydana gelen pozitif pik basıncın etkilediği, negatif basıncın ise ihmal

edildiği görülmektedir. Bu sebeple bilim adamları çalışmalarında gerekli hesaplamaları pozitif faz süresini dikkate alarak yapmışlardır.

Patlama olayı ile ilgili sıkça kullanılan genel terimlerden aşağıda kısaca bahsedilmektedir.

Detonatör (Ateşleyici, Fital, Patlatıcı): Bombaları, patlayıcı malzemeleri tetiklemek için kullanılır. İnfilak malzemeleri kimyasal, mekanik ya da bunların birleşimi şeklinde olabilmektedir. Patlatıcılar, patlama olayı istenilen zamanda ve patlatmayı gerçekleştirecek kişi infilak noktasından güvenli bölgeye geçişini sağladıktan sonra emniyetli bir biçimde işlemleri gerçekleştirmek amacıyla genellikle bir zamanlayıcı cihaz ile birlikte kullanılırlar.

Tutuşma (Parlama): Tepkimenin kimyasal bir reaksiyonu olarak etkileşime geçen nesneye çok yüksek hızla yansıyarak cisimde ani enerji çıkararak patlamalar oluşturur ve tepkimeye girmemiş nesneye ise ses hızından daha küçük oranda etkir. Patlama olayının bu aşamasında patlama dalgaları potansiyel hasara sebep olmaktadır. Tutuşma noktası ise, ısınan maddeden çıkan gazların, alevlerin geçici olarak yaklaştırılıp uzaklaştırılması sonucu yanma olayını sürdürmesinde etkili olan en düşük sıcaklığı ifade etmektedir.

Aşırı Basınç (Pik Basınç, Tepe Basıncı): Ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak infilak anından yaklaşık olarak 5 milisaniyenin 1/10'unda ortaya çıkan basınçtır.

İmpuls: İmpuls patlamalardan yapıya etkiyen enerjinin bir ölçüsüdür. Basınç-zaman eğrisi altında kalan alan olarak tanımlanmaktadır.

Yarı Statik Basınç: Kapalı ortamda gerçekleşen patlamada önemli bir parametredir. Kapalı bir alandaki gaz basıncı, duvarlar dışarı fırlayana kadar (boşaltma) veya sıcak gaz soğuyana kadar artar. Yarı statik basınç, konteynırlar ve binalarda gerekli çevrimsel mukavemeti belirler.

Yansıyan Pik Basınç: Serbest hava koşullarında meydana gelen patlama olayında oluşan normal basıncın yaklaşık olarak 2 ile 8 katı arasında değişen büyüklükteki basınç değeridir.

Ölçeklenmiş Mesafe: Patlamanın merkezi ile şok önü parametrelerini aradığımız nokta arasındaki mesafe ve patlayıcının ağırlığına bağlı bir fonksiyondur. Bu fonksiyon Denklem 1.1’de verilmektedir. Burada; Z ölçeklenmiş mesafe ($m/kg^{1/3}$), R patlamanın merkezi ile ölçüm noktası arasındaki mesafe (m) ve W ise patlayıcının TNT cinsinden ağırlığıdır (kg).

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (1.1)$$

1.4.2. Patlayıcı Madde Çeşitleri ve Özellikleri

Yakıldığında hızla genişleyen gazlar oluşturarak, çevreye ani yüksek basınç uygulayan maddelere patlayıcı madde denir. Bilim tarihçileri, patlayıcı madde endüstrisinin ilk etapta potasyum nitrat, karbon ve kükürdün elle karışımı ile meydana gelen barut ile başladığını belirtmektedirler. Daha sonraki yıllarda birçok bilim adamı barut üzerinde farklı formülasyonlar ile üretime devam etmiş ve çeşitli kullanımlara yönelik barutlar üretmişlerdir. İlk etapta savunma sanayisine hizmet etmemekle beraber ilerleyen yüz yıllarda maalesef savaş, terörizm gibi amaçlara hizmet eden çeşitli patlayıcıların günümüzde ise tüm bu kötü amaçların yanı sıra hizmet ömrünü tamamlamış yapıların kontrollü olarak yıkımı için de kullanıldığı bilinmektedir.

Patlayıcılar yapısı ve doğası gereği; fiziksel, kimyasal ve nükleer olarak tanımlanmaktadır. Patlayıcı maddeler fiziksel durumlarına göre; katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılabilir. Katı patlayıcılar genel olarak patlayıcı özellikleri en iyi bilinen yüksek ve düşük etkili patlayıcılardır. Bu patlayıcılar ateşleme hassasiyetlerine göre birincil veya ikincil patlayıcı olarak sınıflandırılabilir.

Birincil patlayıcı; kıvılcım, alev veya etkileşimle kolayca patlatılabilir. Birincil patlayıcılara cıva ve kurşun örnek verilebilir. İkincil patlayıcı ise patladığı anda büyük dalgalar oluşturan ve bulunduğu alanda geniş tahribat yapan patlayıcılardır, örnek olarak TNT, ANFO, RDX gösterilebilir. Sıvı ve gaz patlayıcılar çok geniş çeşitlilikte malzemelerin kullanılarak kimyasallar, yakıtlar ve uzay gemisi yakıtları gibi çeşitli maddelerin üretiminde kullanılırlar. Aşağıda en yaygın olarak kullanılan patlayıcı çeşitlerinden bahsedilmiştir.

Amonyum Nitrat Fuel Oil (ANFO): Ham fakat etkili bir patlayıcı çeşididir. Çiftçiler arazilerinde kalan kök kalıntılarını temizlemek, madencilik sanayinde yüklü miktarda kaya parçası çıkarmak ve açık ocak işletmeciliklerinde cevher çıkarmak için kullanırlar. Amonyum nitrat gübre olarak geniş kullanım alanlarına sahip olmakla beraber bulamaç formunda ve düşük maliyetli patlayıcılar arasında temel yapı taşı niteliğindedir. Tek başına patlayıcı malzeme olarak kullanılmaz fakat petrol gibi karbon içerikli malzemeler ile uygun olarak karıştırıldığında etkili patlayıcı malzemesine dönüşebilir. Amonyum nitrat tamamen infilak ettiğinde yaklaşık olarak TNT'nin %50'si oranında etkinlik göstermektedir. Patlama hızı 2000m/s civarında olmakla beraber uygun oranda petrol ve çelik ürünleriyle karıştırılması sonucu bu hız 6000m/s civarına kadar çıkmaktadır. Maksimum yoğunluğu 1,73g/cm³, maksimum yoğunluktaki yayılma hızı 8,51km/s ve yanma enerjisi ise 1,59MJ/kg'dır. Her yıl 900 tondan fazla bu tür karışımlarla elde edilen ANFO yaygın biçimde kullanılmakta ve bu da iç pazar payının yaklaşık olarak %80'lik kısmını oluşturmaktadır.

C-4: 1960'lı yıllarda geliştirilmiş olan, C, C-2 ve C-3 isimli patlayıcı ailesinden olan, askeri patlayıcılar arasında en yaygın olarak kullanılan kaliteli ve çok yüksek patlama hızına sahip plastik patlayıcı türlerinden biridir. Gri renkli, kokusuz ve katı durumda olan patlayıcının infilak etmesi için fûnye gibi bir malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. C-4 patlayıcısını, bağlayıcı, plastikleştirici, fosforlu ya da etkileyici kimyasallar oluşturmaktadır. RDX (Siklonit, Siklotrimetilen, Trinitramin) C-4 patlayıcı malzemesinin ağırlıkça %90'ını oluşturmaktadır. Genel olarak askeri alanda demir-çelik tahribatında ve mühimmatların imhası için kullanılan bu patlayıcı türünün inşaat sektöründe kullanımına pek rastlanmamaktadır.

Dinamit: Adını Eski Yunanca'da dunamis ve itēs ekinin türetilmesinden yani güç anlamına gelen sözcükten alan dinamit, nitrogliserin, diatomite ve çok az bir miktar sodyum karbonatın soğurulmasıyla üretilen bir patlayıcıdır. 1867 yılında İsveçli kimyager Alfred Nobel tarafından keşfedilmiş ve kazara patlamalara karşı daha güvenli olup hemen patlamaması sebebiyle kısa sürede çok popüler hale gelmiştir. Ana kullanım alanı inşaat sektörü iken son yıllarda daha güçlü patlayıcıların keşfedilmesiyle artık bu sektörde pek kullanılmamaktadır. Madencilik sanayisi, su altı yıkım işleri ve diğer bazı uygulamalarda kullanılan patlayıcı türüdür.

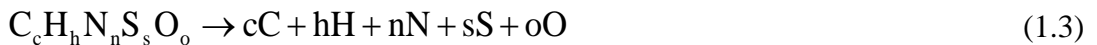
Trinitrotoluen (TNT): En yaygın olarak kullanılan patlayıcı türlerinden biri olarak bilinen TNT, bir karbon atomuna bağlı nitro-patlayıcı çeşitleri arasında German Wilbrand tarafından 1863 yılında geliştirilmiştir. TNT üç adımda sentezlenerek patlayıcı olarak kullanılmakta olan formunu kazanmaktadır. İlk adımda toluen, sülfirik ve nitrik asit karışımı bir çözeltide nitrolanarak mononitrotoluen (MNT) sentezlenir. Bu çözeltideki nitrik asit nitrolama için gerekli nitro grubu sağlarken, sülfirik asit katalizör görevi görür. MNT tekrar nitrolanarak dinitrotoluen (DNT)'e dönüştükten sonra üçüncü bir nitrolama ile trinitrotoluen (TNT) elde edilir. Trinitrotoluen (TNT), formülü $C_7H_5N_3O_6$, sarı renkli, katı halde, $80.6^\circ C$ sıcaklıkta eriyen, özgül enerjisi $4520 kJ/kg$, yoğunluğu $1.63 gr/cm^3$ olan, donduğunda iğne gibi renksiz kristaller meydana getiren bir kimyasal bileşiktir. Alkol, aseton, benzin ve toluende çözünürken suda çözünmemektedir. Suda çözünmeme ve suyu soğurmama özelliklerinden ötürü nemli ortamlarda kullanımı kolaylaştırır. Patlayıcı özelliği 1902 yılında Almanlar tarafından keşfedilip kullanılmış ve daha sonra 1907 yılında İngilizler tarafından kullanılmış olan güçlü bir patlayıcıdır. TNT, yaygın olarak bomba, mayın ve torpidolarda patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Top şekline getirildiği zaman patlama sırasında oluşan sıkıştırma etkilerine karşı mukavemet gösterir. Patlatma verimi, bombaların patlayıcı özelliklerinin ölçeklendirilmesi için referans alınır. TNT'nin patlama tepkimesi Denklem 1.2'de belirtilen şekilde ifade edilmektedir.



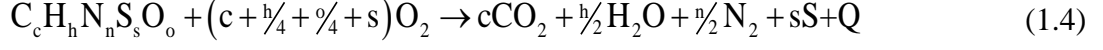
Nitrogliserin: Gliserinin nitrifikasyonundan elde edilen ağır, renksiz, zehirli, yağlı sıvı patlayıcıdır. Patlayıcı imalatında, özellikle de dinamit, kullanılan bu madde inşaat ve yıkım endüstrisinde istihdam edilmektedir.

RDX: Askeri ve endüstriyel sektörde kullanılan nitroamin türü patlayıcıdır. RDX saf sentezlenmiş halde iken beyaz renkli katı durumda patlayıcıdır. Askeri patlayıcı maddeler arasında en etkili ve en güçlü patlayıcı madde olarak kabul edilmektedir.

Genelde patlayıcılar karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen ve sülfürün birtakım kombinasyonları ile oluşmaktadır (Krauthammer, 2008). Tipik ayrışma denklemi Denklem 1.3 teki gibi yazılabilmektedir;



Denklem 1.4' te bu patlayıcıların tipik yanma denklemini yazarsak yanma sonucu açığa çıkan yanma enerjisi Q elde edilir.



Günümüzde en çok kullanılan patlayıcı çeşitleri barut, dinamit, TNT ve askeri alanda ise C-4'tür. Her patlayıcının yanma esnasında açığa çıkardığı enerji miktarı ve patlama sonrasında oluşturduğu etkiler birbirlerinden farklı olduğundan ötürü oluşabilecek karmaşanın önüne geçmek için patlayıcıların TNT eş değerlikleri kullanılmaktadır. Bu eşdeğerlik ile patlayıcının TNT ye dönüşümü sağlanarak, patlayıcının birim yanma sırasında açığa çıkan enerjisinin, TNT'nin birim yanma sırasında açığa çıkardığı enerjinin birbirlerine oranlarından elde edilmektedir. Denklem 1.5'te TNT eş değeri için kullanılan formülasyon verilmektedir. Bu formülasyonda W patlayıcının TNT olarak etkin ağırlığı (kg), $W_{patlayıcı}$ patlayıcının ağırlığı (kg), d_{TNT} TNT'nin birim yanma esnasında açığa çıkardığı yanma enerjisi olup değeri 4520kJ/kg ve $d_{patlayıcı}$ patlayıcının birim yanma esnasında açığa çıkardığı yanma enerjisidir. Tablo 1.1'de bazı patlayıcıların TNT eş değerlikleri, Tablo 1.2 de ise bazı patlayıcıların karakteristik özellikleri verilmiştir.

$$W = \frac{d_{patlayıcı}}{d_{TNT}} W_{patlayıcı} \quad (1.5)$$

Tablo 1.1 TNT Eşdeğerliği (Smith ve Hetherington, 1994).

Patlayıcı	TNT Eşdeğerliği
C - 4	1.270
RDX	1.185
HMX	1.256
Nitrogliserin (sıvı)	1.481
TNT	1.000

Tablo 1.2. Çeşitli patlayıcıların karakteristik özellikleri (Krauthammer, 2008).

Patlayıcı	Maksimum Yoğunluk (gr/cm ³)	Maksimum Yoğunluktaki Yayılma Hızı (km/sn)	Yanma Enerjisi (kJ/kg)
Amonyum Nitrat	1.73	8.51	1590
C – 4 Karışım	1.59	8.04	5860
Nitrogliserin	1.6	7.58	6300
RDX	1.76-1.80	8.70-8.75	5130-6190
TNT	1.63	6.95	4100-4550

1.4.3. Patlamaların Oluşum Şekilleri ve Yapılar Üzerindeki Tesirleri

Kaza ile ya da terör saldırıları sonucu yaşanan bir patlamanın yapılar üzerindeki tesirlerini iki temel gruba ayırabiliriz. Bunlar patlama yüklerinin oluşturduğu asıl ve ikincil etkilerdir. Asıl etkiler, yüksek yoğunluklu patlama dalgaları etkileri ve bunun sonucunda meydana gelen yapıların yıkılması, kısmen ya da tamamen çökmesi, enkaz etkisi, yangın ve duman kaynaklı etkiler, yapıların çökmesine bağlı olarak meydana gelen yaralanmalar ve can kayıplarıdır. İkincil etkiler ise parçacık hızı, parça tesiri, yer hareketleri ve yangın, zamanlı tahliyelerin önlenmesi sonucunda oluşan ek kayıplar ve yaralanmalar olarak gösterilebilir. Asıl etkilerin mühendislik açısından önem ve etkisi ikincil etkilere göre daha büyüktür (Cömert, 2010).

Patlamaların yapılar üzerindeki tesirleri incelendiğinde patlayıcı miktar ve çeşidi, bulunduğu konum, yapı içinde veya dışında olması, yerin belli bir mesafede yüksekte veya yer altında gerçekleşmesi, açık veya sınırlandırılmış ortamlarda meydana gelmesi gibi durumlarda farklılıklar göstermektedir. Örneğin sınırlandırılmış bir yapıda; patlama dalgalarının kapı, pencere gibi sızıntı boşluğu bulup dışarıya çıkamadığı yapılarda defalarca yansıyacak açık havaya ulaşıp denge kurana kadar etkisi giderek artıp ağır tahribata yol açacaktır. Bu nedenle patlamaların yapılar üzerindeki tesirlerini incelerken sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış ortamlarda yaşanan patlamalar olmak üzere iki ana kategoride incelemek daha verimli olacaktır. Bu konuda Amerikan Ordusu Donanma ve Hava Kuvvetleri Birimi'nin, kazara meydana gelen patlamalara karşı dayanıklı yapı tasarımı, TM 5-1300 (1990) adlı kitapçıkta belirtilen tablolardan yararlanılabilir. Tablo 1.3

incelendiğinde, patlama sınırlandırılmış ve serbest ortam olmak üzere iki ana ve şiddetli yük kategorisine göre altı alt gruba ayrılmıştır.

Tablo 1.3 Patlama Yük Kategorisi (TM 5-1300, US Army Corps of Engineers, 1990).

Patlama Yük Kategorisi		
Patlamanın Sınırlandırılması	Kategori	Basınç Yük Şekli
Sınırlandırılmamış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	Serbest Ortamda Patlama	Yansıma Yok
	Yerden Belirli Mesafe Yüksekte Patlama	Yansıma Var
Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	Zemin Yüzeyinde Oluşan Patlama	Yansıma Var
	Tamamen Havalandırma Boşluklu	İç Şok Sızıntı
	Kısmen Sınırlandırılmış	İç Şok İç Gaz Sızıntı
	Tamamen Sınırlandırılmış	İç Şok İç gaz

Patlama yük kategorisine bağlı olarak patlamaların oluşum şekilleri ve yapılar üzerindeki tesirlerinden aşağıda sırasıyla bahsedilmektedir.

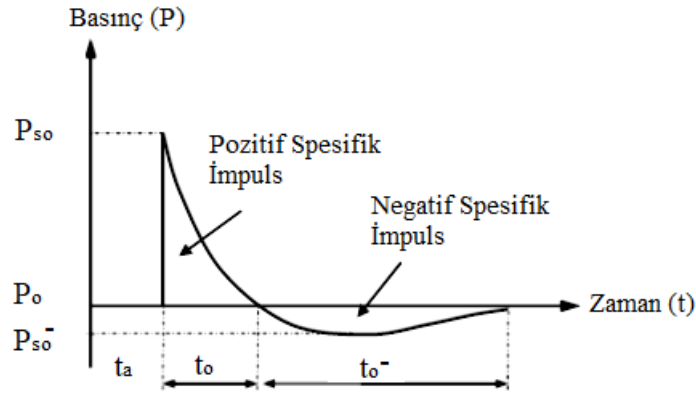
1.4.3.1. Sınırlandırılmamış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar

1.4.3.1.1. Serbest Ortamda Yaşanan Patlamalar

Daha önce de bahsedildiği gibi yüksek yoğunluktaki patlayıcıların infilak etmesiyle patlama reaksiyonunda ilk etapta infilak ürünü olarak yüksek basınç ve sıcaklıkta gaz oluşur. Bu şiddetli gaz genişleyerek mevcut hava basıncını aşan bir kuvvet uygular ve içinde bulunduğu hacmin dışına çıkmaya çalışır. Meydana gelen patlama basıncı ortam basıncının çok üzerinde bir değerde, birkaç milisaniye gibi çok kısa bir sürede pik değere ulaşır ve patlama kaynağından dışarıya doğru ilerleyerek hareketine devam eder.

Serbest ortamda yaşanan bir patlamada, patlayıcı kaynağından çıkan şok dalgaları ortamda hareketine patlayıcı şekline ve konumuna göre küresel formda devam eder. Hareketine devam eden dalgalar bir yer üstü yapısı ile karşılaştığı zaman üç farklı basınç tipi olarak yapıya etkir. Bunlar aşırı basınç, dinamik basınç ve yansıyan basınçtır. Patlamanın

merkezinden çıkan şok dalgaları yapı ile karşılaştığı ortamda sıkışarak yansıyan basıncı oluşturmaktadır. Patlama dalgasını rüzgâr emme kuvveti takip eder bu da dinamik basınca bağlı olarak değişir. Genelde atmosferik basınca eşit veya daha büyüktür. Meydana gelen aşırı basınç ve dinamik basınçta etkisini kısa sürede kaybeder ve basınç atmosfer basınç değerinin de altına düşerek bir vakumlama oluşturur. Serbest ortamda yaşanan patlamalara ait tipik patlama dalgası basınç-zaman grafiği Şekil 1.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 1.1 Patlama dalgası basınç – zaman grafiği (Ngo vd., 2007).

Grafikte de görüldüğü üzere serbest ortamda gerçekleşen patlamada maksimum pozitif pik ve maksimum negatif pik basınç değerleri oluşmaktadır. Burada basınç dalgasının yüzeye ulaşma süresi t_a 'dır. t_a süre sonunda patlama ile birlikte basınç aniden ortam basıncının üzerine saniyenin binde gibi bir sürede çıkar buna literatürde maksimum pozitif pik basınç denilmektedir ve P_{so} ile gösterilmektedir. t_o süre sonra basınç ortam basıncı ile denge kurana kadar eksponansiyel olarak azalım gösterir. Bu kısım pozitif faz süresi, grafiğin altında kalan alan ise pozitif spesifik impuls olarak adlandırılmaktadır. Bu azalım ortam basıncının da altına düşer ve negatif maksimum basınç değerine ulaşır. Burada oluşan basınç değeri vakum etkisi oluşturur ve P_{so^-} sembolü ile gösterilir. Negatif faz süresi vakumlama etkisi oluşturan negatif maksimum basıncın ortam basıncına çıkarak dengelenmesi ile son bulur ve grafiğin altında kalan alan negatif spesifik impuls olarak adlandırılmaktadır.

İmpuls daha önce de bahsedildiği gibi yapıya etkiyen basıncın bir ölçüsü ve basınç – zaman eğrisinin altında kalan alan ile hesaplanmaktadır. İmpulsun matematiksel ifadesi Denklem 1.6’da verilmektedir.

$$I_s = \int P(t) dt \quad (1.6)$$

Denklemden I_s impuls (MPa-ms), $P(t)$ basıncın fonksiyonu ve t ise zaman olarak ifade edilmektedir. Benzer bir tanımlama yansıyan basıncın spesifik impulsunun hesaplanabilmesi için yansıyan basınç-zaman ilişkisinden yola çıkılarak da yazılabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken yansıyan basınç ile şok dalgası basınç sürelerinin aynı olması hususudur. Yine bazı bilim adamları tarafından basınç-zaman eğrisini idealleştirerek doğrusal olarak azalım yaptığını kabul etmişlerdir. Bu durumda impulsun denklemi yeniden yazıldığında 1.7 numaralı ifade elde edilmiş olur.

$$I_s = \frac{1}{2} t_o P_{so} \quad (1.7)$$

Patlamının merkezinden yayılmaya başlayan şok dalgası bir yüzeye denk geldiği zaman yüzeyden yansır ve ardında kalan şok dalgası ile çarpışarak ortamda sıkışır. Bu çarpışma neticesinde ortamdaki mevcut olan basınç aniden artar ve maksimum yansıyan basınç (P_r) meydana gelir. Maksimum yansıyan basınç ile maksimum basınç arasında bir ilişki ve dolayısıyla belli bir oran vardır. Bu oran (C_r) maksimum aşırı basınç ve şok dalgasının çarpıştığı yüzey ile şok dalgasının yapmış olduğu iz düşüm açısına (α) bağlıdır. İz düşüm açısının 0° olması şok dalgasına dik konumlanmış yapı olduğu, 90° olması ise şok dalgasına paralel bir yapı olduğu ve burada maksimum aşırı basıncın da minimum değeri aldığı ilgili kaynaklarda belirtilmektedir. Denklem 1.8' de maksimum yansıyan basınç ile maksimum aşırı basınç arasındaki ilişki ifade edilmektedir.

$$P_r = C_r P_{so} \quad (1.8)$$

Patlama şok dalgasının yapı yüzeyi ile karşılaşma süresinin, t_a , belirlenmesine bağlı olarak eksponansiyel fonksiyon olarak ifade edilen Friedlander denklemi ile patlama dalgası basınç – zaman ilişkisi Denklem 1.9' daki gibi ifade edilebilmektedir.

$$P(t) = P_o + P_{so} \left(\frac{t - t_a}{t_o} \right) e^{-b \left[\frac{t - t_a}{t_o} \right]} \quad (1.9)$$

Denklemden b çarpışma sonucu meydana gelen enerji kaybını ifade eden bir katsayıdır ve azalım yönündeki eğrinin eğiminden bulunmaktadır (Denklem 1.10).

$$b=5.2777 \times Z^{-1.1975} \quad (1.10)$$

Pozitif faz süresinin bulunması için ölçeklenmiş mesafe ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak yazılan Denklem 1.11'den yararlanılmaktadır.

$$\frac{t_o}{W^{1/3}} = \frac{980 \left[1 + \left(\frac{Z}{0,54} \right)^{10} \right]}{\left[1 + \left(\frac{Z}{0,02} \right)^3 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0,74} \right)^6 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{6,9} \right)^2 \right]} \quad (1.11)$$

Pozitif faz süresinin belirlenmesine alternatif olarak 1.7 numaralı impuls ile ilgili idealleştirilmiş denklemden pozitif faz süresi ifadesi çekildiğinde 1.12 numaralı denklem elde edilir ve buradan süre ile ilgili yaklaşık değer bulunabilir.

$$t_o = \frac{2I_s}{P_{so}} \quad (1.12)$$

Genellikle ihmal edilmesinin yanı sıra bazı durumlarda patlama dalgasının negatif fazı da hesaplamalar için gerekli olabilmektedir. Bu durumda negatif pik basınç değeri Brode'un önerdiği 1.13'te ifade edilen denklem ile hesaplanabilmektedir. Bu denklemde ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak hesaplanan P_{so^-} basıncın büyüklüğü bar cinsinden elde edilmektedir.

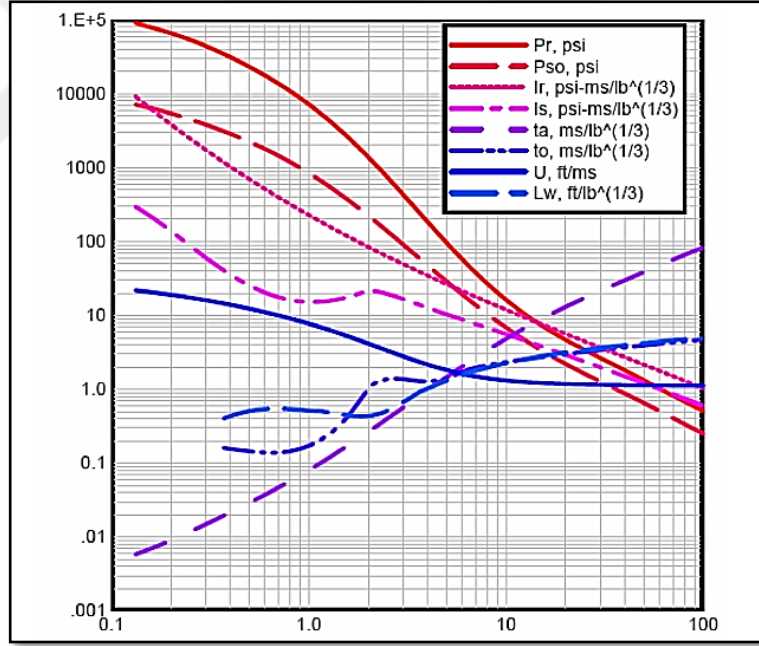
$$P_{so^-} = -\frac{0,35}{Z} \quad (1.13)$$

Negatif faza ait spesifik impuls değerinin hesaplanması için ise 1.14'te ifade edilen denklemden yararlanılmaktadır.

$$\Gamma_s \gg I_s \left[1 - \frac{1}{2Z} \right] \quad (1.14)$$

Amerikan savunma ordusunun bazı konularda revize ederek yayınladığı UFC 3-340-02'de (2008) ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak pik basınç, yansıyan basınç, impuls ve hız gibi değerlerin hazırlanmış abaklar üzerinden okunması sağlanmıştır.

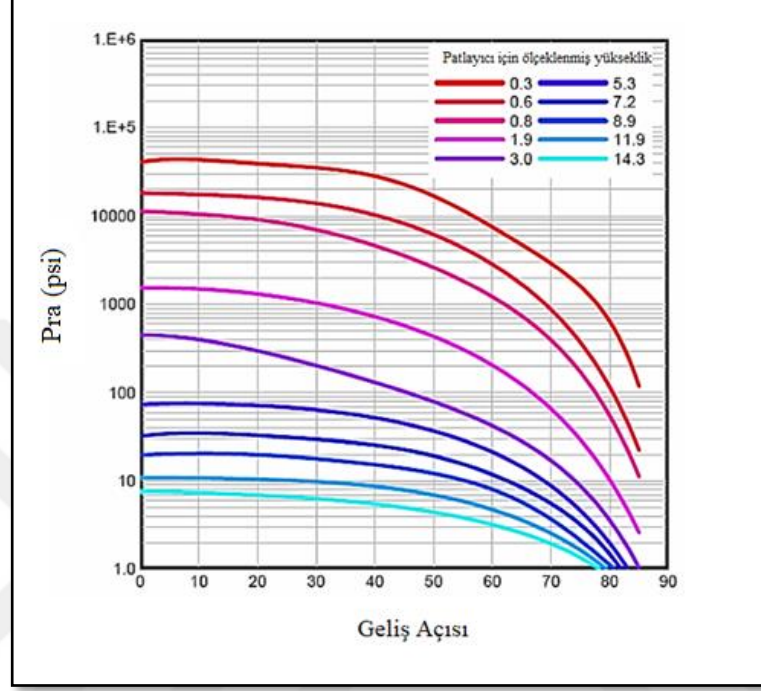
Bu abakta yatay ekseninde 0,1 ile 100 m/kg^{1/3} arasında ölçeklenmiş mesafe değerleri verilmektedir. Ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak pozitif pik basınç, yansıyan basınç, impuls, hız, basıncın yüzeye varış süresi gibi değerler okunabilmektedir. Bir yapının yüzeyi ile maksimum ve minimum basınç-impuls değerleri arasındaki ilişkinin değişimi, geliş açısının bir fonksiyonudur. Burada geliş açısının, pik yansıma basıncı ve yansıyan pik impuls değerlerine etkisi Şekil 1.3'te verilmektedir.



Şekil 1.2. Deniz seviyesinde serbest ortamda yaşanan patlama sonucu oluşan pozitif faz şok dalgası parametreleri (UFC 3-340-02, 2008).

Bu abakta yatay ekseninde 0,1 ile 100 m/kg^{1/3} arasında ölçeklenmiş mesafe değerleri verilmektedir. Ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak pozitif pik basınç, yansıyan basınç, impuls, hız, basıncın yüzeye varış süresi gibi değerler okunabilmektedir. Bir yapının yüzeyi

ile maksimum ve minimum basınç-impuls değerleri arasındaki ilişkinin değişimi, geliş açısının bir fonksiyonudur. Burada geliş açısının, pik yansıma basıncı ve yansıyan pik impuls değerlerine etkisi Şekil 1.3'te verilmektedir.

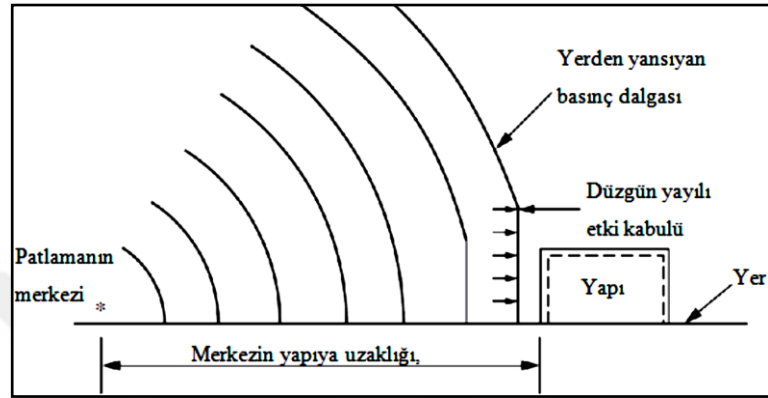


Şekil 1.3. Yansıyan basıncın geliş açısının fonksiyonu olarak değişimi (UFC 3-340-02, 2008).

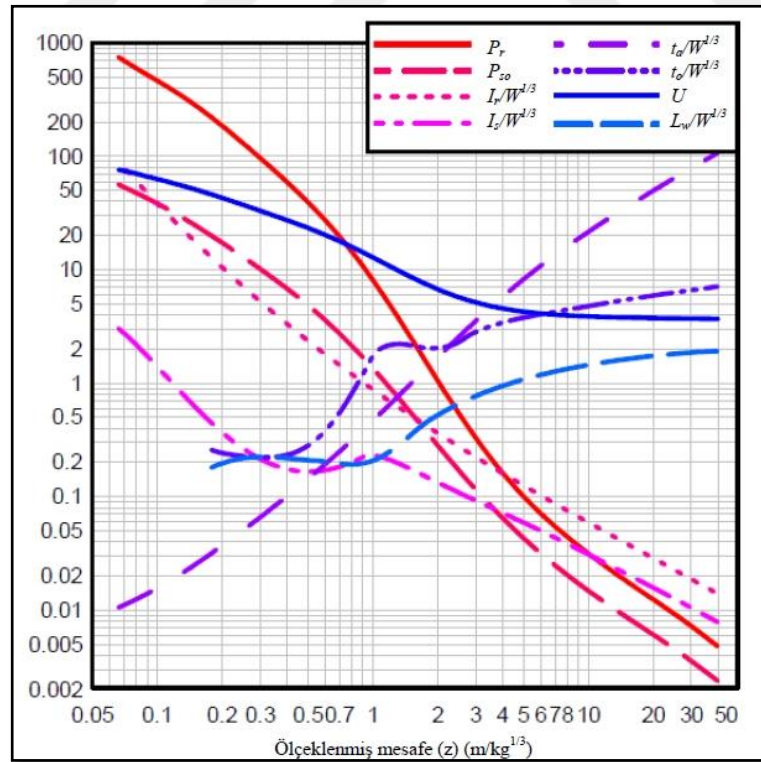
1.4.3.1.2. Zemin Yüzeyinde Meydana Gelen Patlamalar

Yer yüzeyinde veya yer yüzeyine çok yakın derinlikte meydana gelen patlamalarda patlama dalgası kaynağından çıktığı andan itibaren yerin yüzeyine çarparak yansır. Serbest ortamda ya da yerden belirli mesafe yüksekte yaşanan patlamaların tersine bu aşamadan sonra hem yansıyan hem de olay patlama dalgaları birleşerek yerden yansıyan tek bir dalga olarak yayılım yapar. Bu çarpmadan dolayı oluşan yansıma basıncı yerin belirli mesafe üstünde ya da serbest ortamda meydana gelen patlamalara nispeten yaklaşık olarak 1.8 kat daha büyük bir basınç etkisine sahiptir. Burada istisnai bir durum da söz konusudur. Eğer zemin çok iyi bir yansıtıcı ise ve patlama dalgası kaynağından yayılmaya başladığı andan itibaren bir enerji kaybı yoksa yerden yüksekte meydana gelen patlamalara göre büyütme katsayısı 1.8 yerine 2 olarak alınabilmektedir. Böyle bir patlama türünde meydana gelen çok

dalgaları yarı küresel olarak yayılım hareketine sahiptirler. Tıpkı diğer patlama olaylarında bahsedildiği gibi meydana gelen basınç dalgaları yapı veya yapı elamanlarına düzgün yayılı yük olarak etki ettiği kabul görmektedir. Şekil 1.4'te yer yüzeyine meydana gelen patlamada oluşan basınç dalgaları ve yük etkime şekli verilmektedir.



Şekil 1.4. Yer yüzeyinde meydana gelen patlama dalgaları ve yapıya etkileri (TM 5-130, US Army Corps of Engineers, 1990).

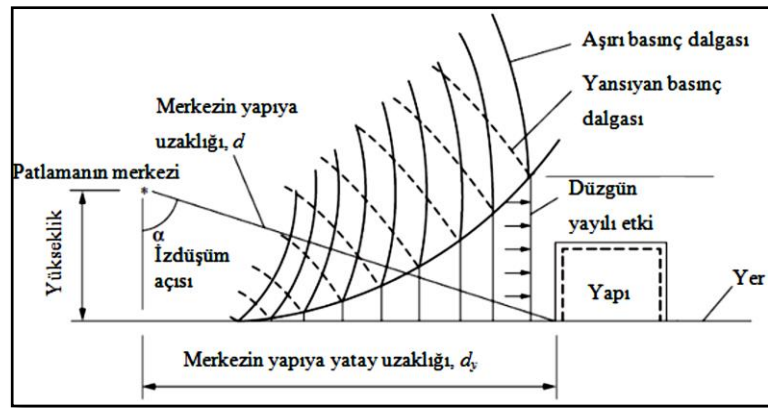


Şekil 1.5. Yerin yüzeyinde yaşanan patlama parametreleri (UFC 3-340-02, 2008).

UFC 3-340-02’de verilen abaktan yararlanılarak patlama parametreleri Şekil 1.5’teki abaktan okunabilir. Bu abakta, P_{so} maksimum aşırı basınç (MPa), P_r yansıyan basınç (MPa), $I_s/W^{1/3}$ ölçeklenmiş pozitif birim İmpuls (MPa-ms/kg^{1/3}), I_r ölçeklenmiş yansıyan birim impuls (MPa-ms/kg^{1/3}), $t_a/W^{1/3}$ şok dalgalarının patlama kaynağından yapıya olan ölçeklenmiş varış süresi (ms/kg^{1/3}), $t_o/W^{1/3}$ meydana gelen pozitif basınç ölçeklenmiş etkiye süresi (ms/kg^{1/3}), U şok dalgasının ortamdaki hızı (m/ms), $L_w/W^{1/3}$ ölçeklenmiş şok dalgası boyunu (m/kg^{1/3}) ve W patlayıcı ağırlığını TNT cinsinden ifade etmektedir.

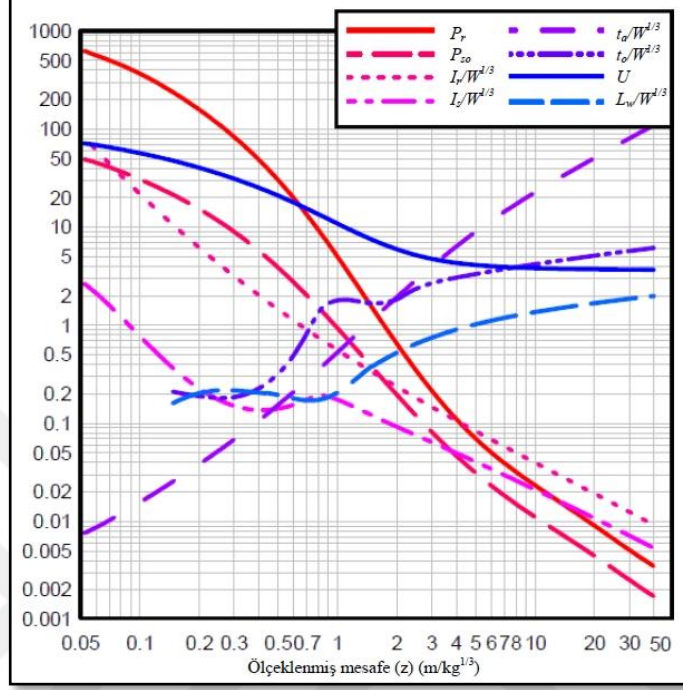
1.4.3.1.3. Yerden Belli Bir Mesafe Yükseklikte Yaşanan Patlamalar

Patlayıcı, yapı ya da yapı elemanına yer yüzeyinden belli bir mesafe yüksekte ise başlangıçta şok dalgaları yapıya varmadan önce zemine çarpması halinde yapı üzerinde etkili olan patlama kaynaklı hava basıncını oluşturur. Şok dalgası yayılımına devam ederken, gelen ve yansıyan dalganın etkileşimi ile Mach önü denilen bir cephe oluşturur. Burada yapıya gelen patlama basınç yüklerinin düzgün yayılı yük olarak etkideği kabul edilmektedir. Mach önü parametreleri zemin yüzeyinde hesaplanabilmektedir. Basınç-zaman değişim grafiği serbest ortamdaki grafiğe benzer fakat patlama parametreleri değer olarak daha büyüktür. Yerden belirli bir mesafe yüksekte yaşanan patlamanın oluşturduğu şok dalgasının yapıya ve çevreye etkileri Şekil 1.6’da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Yerden belirli bir yükseklikte yaşanan patlama ve çevreye etkileri (TM 5-1300, US Army Corps of Engineers, 1990).

UFC 3-340-02' de verilen abaktan yararlanılarak patlama parametreleri Şekil 1.7' deki abaktan okunabilir.

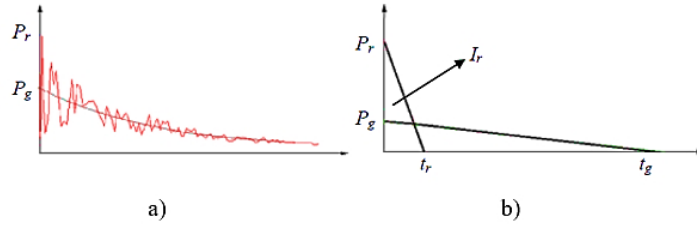


Şekil 1.7. Yerden belirli bir mesafe yüksekte yaşanan patlama parametreleri (UFC 3-340-02, 2008).

1.4.3.2. Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar

Sınırlandırılmış ortamlarda meydana gelen patlamaları tamamen veya kısmen havalandırma boşluklu ya da havalandırma boşlukları bırakılmamış yapılar olmak üzere üç sınıfa ayırarak inceleme yapmak daha doğru olmaktadır. Çünkü kapalı ortamlarda meydana gelen patlamaların yapı üzerindeki tesiri çok karmaşıktır. Yüksek yoğunluklu patlayıcıların yapı içi gibi sınırlandırılmış ortamlarda infilak etmesiyle iki faz meydana gelir. Bunlardan ilki yansıyan aşırı basınçtır ve yapı tarafından sağlanan sınırlama (duvarlar vb.) dolayısıyla tekrarlı yansımaları meydana getirir. Bu süreç kısa süreli fakat şiddetli bir döngü halinde devam eder ve bozunum genlikli patlama dalgalarını oluşturur. Bu olay gerçekleşirken patlama kaynaklı gaz basıncının da oluşumuna sebep olur ve ikinci yükleme fazı denilen gaz basıncı yüklemesi meydana gelir. İkinci faz ilk faza göre daha uzun süreli fakat düşük şiddetlidir. Yapı için oluşan bu yükleme profilleri oldukça karmaşıktır.

Daha önceki kısımda da bahsedildiği gibi yansıyan patlama dalga parametrelerini (basınç ve impuls) ilgili abaklardan okumak mümkündür. Fakat Mach dalgalarının üretildiği durumlarda bu parametreleri tahmin etmek de güçleşmektedir. Buna mukabil hem olay hem de yansıma dalgalarının basınç-zaman grafikleri için basitleştirme metodu kabul edilmiştir. Burada üçgen biçimli basınç-zaman grafiği varsayımı yapılarak konu ile ilgili analizlerin yapılmasını mümkün kılmışlardır. Şekil 1.8’de yapı içinde meydana gelen patlamanın yapı ve elemanlarına uygulamış olduğu basıncın zamana bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 1.8. Yapı içinde meydana gelen patlamada a) kısmen sınırlandırılmış ortamda yansıyan ve gaz basıncının zamanla değişimi b) idealleştirilmiş yansıyan ve gaz basınç-zaman grafiği (TM 5-1300, US Army Corps of Engineers, 1990).

Kapalı ortamda yaşanan patlamada havalandırılma boşluklarının olması yapı içinde oluşacak ve yapı için zararlı olabilecek gaz basıncının önüne geçilmesi adına olumlu olmakla beraber insanlar açısından cam vb. malzeme parçalarının dağılarak sıçraması gibi tehlikeler oluşturabilmektedir. Nitekim insanlar üzerinde bu gibi patlama kaynaklı yaralanmalar ilk patlama dalgasıyla ilişkilendirilmektedir.

1.4.3.2.1. Tamamen Sınırlandırılmış Ortamda Yaşanan Patlamalar

Patlama olayına karşı yapıların tamamı ya da tamamına yakınının kırılğan yüzeyleri ve/veya belirli ölçüde açıklıklar barındırmadan sınırlandırılma durumu literatürde tamamen sınırlandırılmış ortam patlamaları adı ile anılmaktadır. Böyle bir durumda meydana gelen iç patlama yükleri; sınırlandırılma derecesine bağlı bir fonksiyon olarak çok uzun süre etkisini sürdüreceği olan gaz basıncı ve şok dalgalarını içerecektir.

1.4.3.2.2. Kısmen Sınırlandırılmış Ortamda Yaşanan Patlamalar

Kısmen sınırlandırılmış patlamalar, genellikle kırılgen yüzeyleri ve/veya belirli ölçüde açıklıklar barındıran hücre ya da bariyer tipi yapı içlerinde meydana gelmektedir. Bu tip patlamalarda belirli bir zaman dilimi içerisinde, meydana gelen basınç dalgaları yapının kırılgen ya da açıklık bulunan yüzeylerinden atmosfere doğru infilak ürünleri ile birlikte yayılım yapacaktır. Bu oluşan infilak ürünleri yarı statik basıncın büyümesi ile ilişkilidir. Yarı statik basıncı, kendisinden daha uzun süren fakat daha düşük şiddetli gaz basıncı takip etmektedir.

1.4.3.2.3. Tamamen Havalandırma Boşluklu Ortamda Yaşanan Patlamalar

Bir ve/veya birden fazla yüzeyi tamamen atmosfere açık olan yapıların içinde ya da hemen bitişiğinde meydana gelen patlamaları içermektedir. Böyle bir patlama esnasında meydana gelen infilak ürünleri ve olay basınç dalgaları, sızıntı basınç dalgaları şeklinde atmosfere açık olan yüzeylerden yayılım hareketi ile yapının dışına çıkmaktadır.

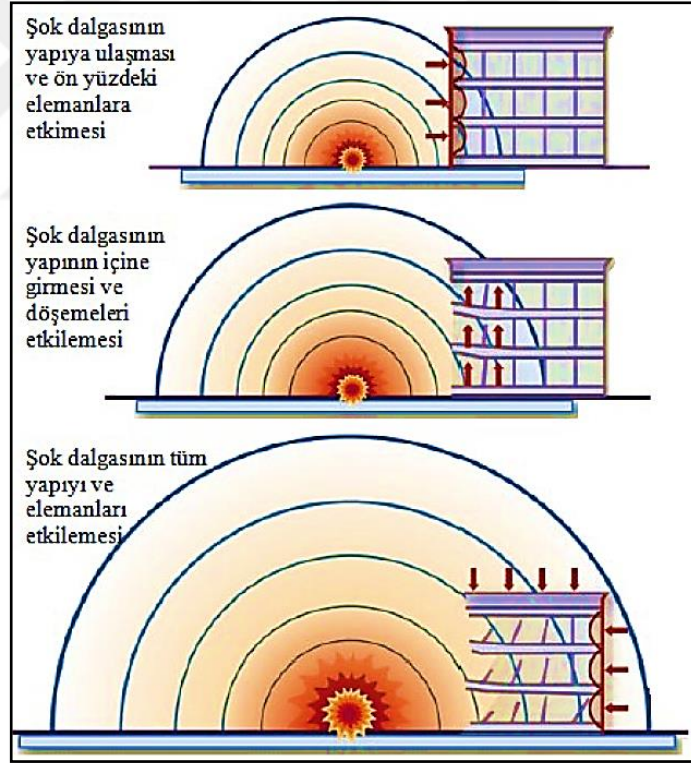
1.4.3.3. Patlamaların Yapılar Üzerindeki Tesirleri

Yüksek patlayıcıların infilakı ile yaşanan patlamalarda yüklerinin yapılar üzerindeki etkileri önceki kısımlarda da anlatıldığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. UFC 3-340-02’de dört madde halinde özetlenmektedir. Bunlar; (1) patlamanın büyüklüğü, (2) sınırlandırılmış veya sınırlandırılmamış ortamlarda patlama merkezinin yapı ile mesafesi, (3) yapının geometrik şekli ve (4) yapının zemine gömülü, zemin seviyesinin üzerinde ya da su altı yapısı olması durumlarına göre sınıflandırılmıştır.

1.4.3.3.1. Serbest Ortamda Yaşanan Patlamaların Yapılar Üzerindeki Tesirleri

Amerika Birleşik Devletleri merkezli afet ve acil durum yönetim kurumu olan FEMA’nın yayınladığı kitapçıkta serbest ortamda meydana gelen bir patlamanın çerçeve türü bir yapıya etkisi Şekil 1.9’da gösterildiği gibi olması beklenmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere serbest ortamda meydana gelen bir patlamada basınç dalgaları ilk etapta

yapılara kapı, pencere gibi boşluklardan girmeye çalışmakta, dış aks kolonlarına ve duvarlara uygulanmakta daha sonra yapı içine girerek döşemelere yukarı yönlü bir itme kuvveti şeklinde uygulanmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi patlama esnasında yapıya gelen yükler lokal olarak etkimektedir. Yapıların patlama gibi dinamik etkiler altında performansları değerlendirilirken, deprem etkisi gibi düşünülmemesi ve yapının bir bütün olarak değil de eleman esaslı performans değerlendirilmesi yapılmasının daha doğru olacağı görülmektedir. Çünkü deprem gibi sismik yüklemeler altında yapı genellikle tabandan sarsma hareketine maruz kalmaktadır. Oysa patlama olayında, örneğin serbest ortam ya da belirli bir mesafe yükseklikte yaşanması durumunda yapının bazı bölgelerine şok dalgaları sıkıştırma etkisi yaparken, patlama enerjisinin bir kısmı da zemin yüzeyi ile bütünleşip temelde deprem gibi fakat daha düşük şiddetli sarsma hareketi ile yapıda salınım yaptırmaktadır.



Şekil 1.9. Serbest ortamda patlama basınç dalgalarının yapıya etkisi (URL-1)

Patlama, basınç dalgaları şeklinde eleman yüzeylerine etkidiği için burada elemanların yüzey alanları biz mühendisler için elemanlara etkileyen yükleri belirleyebilmemiz açısından önem arz etmektedir.

Yüksek yoğunluklu patlayıcıların infilak etmesiyle merkezinden çıkan şok dalgasının herhangi bir boşluklu alanı bulunmayan tamamen sınırlandırılmış dikdörtgen kesitli plana sahip bir yer üstü yapısı için, yapı elemanlarının ön yüzeyine etkiyen basınç direk olarak aşırı basıncın fonksiyonu olan yansıyan basınç değerine ulaşır. UFC 3-340-02’de yansıtılan bu basıncın azaltılması için gereken temizlenme süresi yani şok dalgasının yapı yüzeyinde meydana getirdiği yansıyan basıncın etkisini yitirip ortamda yalnızca dinamik basınç ve aşırı basınç etkisinin kalması için gereken süre ile ilgili denklem 1.15’te verilmektedir.

$$t_c = \frac{4S}{(1+R)C_r} \quad (1.15)$$

Burada temizlenme süresi t_c ile ifade edilmekte olup, S temizlenme mesafesidir. Yapının yüksekliği ya da yapı genişliğinin yarısından küçük olanı hesaplamalara dahil edilir, birimi ise metredir. R ise S/G oranıdır. Bu oranda ifade edilen G , yapı yüksekliği ya da genişliğinin yarısından büyük olanını belirtmektedir. C_r ise yansıma bölgesindeki ses hızıdır. Yüzeyde meydana gelen yansıyan basınç etkisini yitirdikten sonra yerini aşırı basınç ve dinamik basıncın sürüklenme katsayısı (C_d) ile çarpımından elde edilen değer toplamından oluşan bir basınca bırakır. Bu basıncın fonksiyonu denklem 1.16’da verilmektedir.

$$P = P_{so} + C_d q \quad (1.16)$$

UFC 3-340-02’de ön duvarlar için C_d ’nin 1 olarak alınmasının hesaplamalarda yeterli olacağı ifade edilmektedir. Aşırı basınç ve dinamik basıncın atmosfer basıncı değerine dönüşmesi için gereken etkiye süresi t_{of} ile ilgili denklem 1.17’deki gibidir. Patlama dalgasının dinamik basınç bileşeni olarak yüzeylere etki eden sürüklenme kuvvetinin denklemi ise 1.18’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$t_{of} = \frac{2I_s}{P_{so}} \quad (1.17)$$

$$F_D = C_d \times q_s(t) \times A \quad (1.18)$$

Denklem 1.17'den de anlaşılacağı üzere dinamik hava basıncı, etkiye süresinin belirlenmesinde belirleyici bir parametre değildir. Sürüklenme kuvvetinin hesaplanması ile ilgili denklemde; A basıncın etkidiği yüzey alanını, $q_s(t)$ ise zamana bağlı olarak etkiyen dinamik basıncı ifade etmektedir. Yansıyan basıncın etkiye süresi t_r 'nin hesaplanmasında ise Denklem 1.19'dan yararlanılmaktadır.

$$t_r = \frac{2I_r}{P_r} \quad (1.19)$$

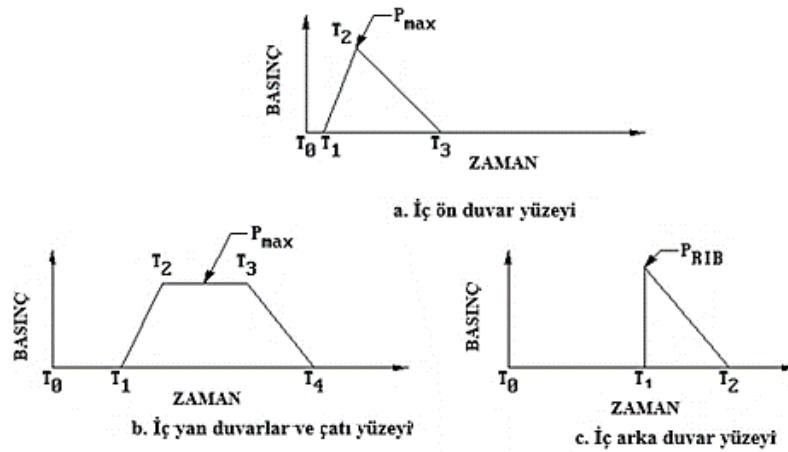
Şok dalgaları, yapı ile etkileşime girdikten sonra çatı ve yan duvarlarda ise negatif sürüklenme basıncıyla indirgenmiş ve belirli zamanda herhangi bir noktada meydana gelen şok basıncına eş değer basınç uygular. Şok dalgası çatı ve yan duvarlara etkirken olay aşırı basınç değeri düşer, dalga boyu ise artar. Yani bu aşamada dinamik hava basıncı olay basıncını azaltan bir etki yaratmaktadır. Belirli bir zaman diliminde yük etkisinde kalan bu yüzey alanları, şok dalgasının büyüklüğü, gelen dalgalara göre konumları, pozitif ve negatif şok dalga boyları (L_w , L_w') gibi pek çok parametreden etkilenmektedir. Tablo 1.4'te yan, arka ve üst duvar yüzeyleri için sürüklenme katsayıları verilmiştir. Bu tür yüzey alanları üzerindeki yükler hesaplanırken şok dalgası yayılımının analizlerini titizlikle yapmak gerekmektedir. Bunun için hidrodinamik analizler daha doğru sonuçlar vermekle birlikte yaklaşık hesaplamalar ile de sonuca gidilebilmektedir. Yaklaşık hesaplama yapılacağı sırada yapının yan ve üst yüzeylerine etkiyen şok dalgasının bileşenleri düzgün bir dağılıma sahip değillerdir. Fakat hesaplamaları kolaylaştırmak için bu yükleri, şok dalgası boyunun (L_w) yapı açıklığına (L_b) oranı olan üniform yük katsayısı (C_E) kullanarak düzgün yayılı yük olarak kabul etmek mümkündür.

Tablo 1.4. Yan duvar yüzeyleri ve çatı için sürüklenme katsayıları (UFC 3-340-02, 2008).

Pik Dinamik Basınç (MPa)	Sürüklenme Katsayısı (C_d)
0-0,17	-0,40
0,17-0,34	-0,30
0,34-0,90	-0,20

Hesaplamaların daha kolay bir şekilde yapılabilmesi için ilk etapta yüzeyin basınç dalgası ile karşılaştığı ilk uç noktasındaki dinamik basınç ve maksimum aşırı basınç değerleri elde edilir. Bulunan maksimum aşırı basınç değeri ile üniform yük katsayısı çarpılarak oluşturduğu etki yaklaşık olarak bulunur.

Yüksek yoğunluklu patlayıcıların infilak etmesiyle merkezinden çıkan şok dalgasının kapı, pencere gibi boşluk alanı bulunan kısmen sınırlandırılmış dikdörtgen kesitli plana sahip bir yer üstü yapısı için genellikle iki konfigürasyon ile karşılaşılr. Bunlardan ilki, iç patlama basıncının, yapının pencere, kapı ya da diğer bölgelerinde bulunan açıklıklar vasıtasıyla yapıya etkileyen patlama yüklerinin hesaplanmasına dayalı bir varsayımdır. İkinci konfigürasyon ise iç patlama basıncının, yapının ön cephesinde bulunan açıklıklar yoluyla yapıya gelen dış patlama yüklerine dayanarak hesaplanabileceği yönündeki varsayımdır. Yapıda mevcut olan iç bölümler patlama basınç dalgasının akmasını sınırlayacağından ötürü sürekli olarak yansıyan bozunum genlikli dalgalar oluşacaktır. Bir şok dalgası yapının ön cephesine ulaştığında olay basıncı yükselecek, kapı, pencere gibi açıklıklar uygulanan bu basınca karşı direnmekte güçlük yaşayacak ve yaklaşık olarak bir milisaniye gibi çok kısa bir süre içinde de kırılacaktır. Patlama dalgalarının akışı bu açıklıklardan yapı içine doğru olacaktır ve tüm iç mekânda daha da etkili yansıyan basınç dalgaları şeklinde hareketi sürdürecektir. Yapıya giren patlama basınçları ön duvarın iç yüzeyini, bunu takiben yan duvarların ve çatının iç yüzeyini ve son olarak da arka duvarın iç yüzeyine etkimektedir. Bu yüzeyler için idealleştirilmiş basınç-zaman yük eğrileri Şekil 1.10'da gösterilmektedir.



Şekil 1.10. Dış patlamada kapı, pencere gibi boşlukları bulunan yapının a) İç ön duvar b) İç yan duvarlar ve çatı c) İç arka duvar yüzeyleri için ideal basınç-zaman eğrisi (UFC 3-340-02, 2008)

1.4.3.3.2. Sınırlandırılmış Ortamda Yaşanan Patlamaların Yapılar Üzerindeki Tesirleri

Tez çalışmasının “1.4.3.2. Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar” ile ilgili açıklamaların olduğu bölümde de bahsedildiği gibi kapalı bir ortamda meydana gelen patlamanın çevresinde oluşturduğu etkileri anlamak serbest ortamda yaşanan patlamaların oluşturduğu etkilere nispeten daha karmaşık ve güçtür. Bu etkilerin anlaşılmasını daha basite indirmek için patlama dalgalarının iki kademeli yükleme oluşturduğu kabulü yapılmaktadır. İlk etki patlama olayının meydana geldiği ortamdaki sınırlandırıcı yapıların (duvarlar vb.), şok dalgalarının yayılımını engellemesinden doğan yansıyan basınçtır. Yansıyan basınç dalgalarının yapı üzerinde etkili olduğu süreç, kısa süreli fakat şiddetli bir döngü halinde devam eder ve bozunum genlikli patlama dalgaları oluşumunu kapsamaktadır. Yansıyan basınç dalgalarını, gaz basıncı takip eder. Yüksek yoğunluklu patlayıcının sınırlandırılmış ortamda infilakı neticesinde ikincil etki olarak meydana gelen gaz basıncı bulunduğu ortamdan atmosfere yayılana kadar akışına devam eder. Olayın meydana geldiği yapının atmosfere açılan kapı, pencere gibi geometrisinde mevcut olan boşluklar ve patlayıcının miktarı gaz basıncı süresinde etkin olan önemli faktördür. Bu parametrelerin yanı sıra, patlama olayının meydana geldiği sınırlanmış ortamın hacmi, atmosfer basıncı, ses hızı ve patlamanın meydana geldiği hacimdeki boşluk alanları toplamının kapalı duvar alanına oranı da etkili olan diğer parametrelerdir. Bir ve/veya birden fazla yüzeyi tamamen atmosfere açık olan yapıların içinde meydana gelen patlamada, gaz basınç dalgaları atmosfere akışı direk sağlayabildikleri için bu basınç meydana gelmemekte dolayısıyla hesaplara dahil edilmemektedir.

Baker vd. (1983) çalışmalarında, yapı içinde meydana gelen patlamada oluşan yansıyan pik basınç için her yansıma sonrası bir öncekinin yarısı değerinde olacağı yönünde bir kabul yapmışlardır. Dolayısıyla her yansıma süresinin sabit olduğu, basınç değerinin de yarıya düşeceği varsayımıyla üç yansımadan sonra, yansıyan basınç dalgasının meydana getirdiği basınç ve impuls değerinin sıfır olarak kabul edilebileceğini belirtmişlerdir (Cormie vd., 2009).

Yansıyan basıncın hesaplanması, şok dalgasının duvar, döşeme ve tavan gibi yüzeylerden yansıma sayısı (yapının plan geometrisine göre belirlenir), patlama yüksekliğinin ortam yüksekliğine oranı, infilak merkezinin sınırlandırıcı duvar yüzeylerine olan uzaklık ve ölçeklenmiş mesafe gibi pek çok parametre ile ilişkilidir (Cömert, 2010).

1.5. Temel Patlama Dalgası Parametreleri

Literatür incelendiğinde, II. Dünya Savaşı'nı takip eden süreçten günümüze bilim adamları tarafından patlayıcıların yapılar üzerinde oluşturduğu basıncın bulunması için çeşitli ampirik bağıntılar geliştirdikleri görülmektedir. Bu bağıntılar irdelendiğinde patlatma parametrelerini genelde yapıların geometrik özellikleri, patlayıcı malzemesinin türüne bağlı olarak elde edilen ölçeklenmiş mesafeye ilintili olduğu görülmektedir. Tez çalışmasının bu bölümünde 1950'li yıllardan günümüze kadar uzanan ve bugün hala kullandığımız, ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak pozitif pik basıncın hesaplanabilmesi için temel bazı ampirik formüller tarihsel sırayla verilmiştir.

Brode tarafından pozitif pik basıncın ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak hesaplanmasına dair bağıntılar sırasıyla Denklem 1.20 ve 1.21'de verilmektedir.

$$P_{so} = \frac{6,7}{Z^3} + 1 \text{ (bar)} \quad (P_{so} > 10 \text{ bar}) \quad (1.20)$$

$$P_{so} = \frac{0,975}{Z} + \frac{1,455}{Z^2} + \frac{5,85}{Z^3} - 0,019 \text{ (bar)} \quad (0,1 \text{ bar} < P_{so} < 10 \text{ bar}) \quad (1.21)$$

Newmark ve Hansen'in ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak yerin yüzeyinde gerçekleşen patlamalarda oluşan maksimum aşırı basıncın bulunması için elde ettikleri bağıntı Denklem 1.22'de verilmektedir.

$$P_{so} = 6784 \frac{W}{R^3} + 93 \left(\frac{W}{R^3} \right)^{0,5} \quad (1.22)$$

Henrych tarafından ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak pozitif pik basıncın hesaplanmasına dair formülasyonlar sırasıyla Denklem 1.23, 1.24 ve 1.25'te verilmektedir.

$$P_{so} = \frac{14,072}{Z} + \frac{5,54}{Z^2} - \frac{0,375}{Z^3} + \frac{0,00625}{Z^4} \quad (0,05 < Z < 0,3) \quad (1.23)$$

$$P_{so} = -\frac{6,194}{Z} - \frac{0,326}{Z^2} + \frac{2,132}{Z^3} \quad (0,3 \leq Z \leq 1) \quad (1.24)$$

$$P_{so} = \frac{0,662}{Z} + \frac{4,05}{Z^2} + \frac{3,288}{Z^3} \quad (1 \leq Z \leq 10) \quad (1.25)$$

Kingery ve Bulmash, polinom şeklinde bir ifade ile pozitif pik basıncın ve impulsun bulunmasına dair öne sürdükleri formülasyon,

$$P, I = \text{Exp} \left[A + B \ln Z + C (\ln Z)^2 + D (\ln Z)^3 + E (\ln Z)^4 \right] \quad (1.26)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada basıncın birimi kPa olarak, impulsun birimi ise Pas/kg^{1/3} olarak elde edilmektedir. A, B, C, D ve E denklem sabitleri ölçeklenmiş mesafe aralıklarına bağlı olarak Tablo 1.5'te verilmektedir.

Tablo 1.5. Kingery ve Bulmash denklem sabitleri

Z (m/kg ^{1/3})	A	B	C	D	E
0,2 – 2,9	7,1206	-2,1069	-0,3229	0,1117	0,0685
2,9 – 23,8	7,5938	-3,0523	0,40977	0,0261	-0,01267
23,8 – 198,5	6,0536	-1,4066	0	0	0

Kinney ve Graham yapmış oldukları çalışma neticesinde ölçeklenmiş mesafe ve ortam basıncına bağlı olarak pozitif pik basıncın bulunmasını Denklem 1.27 ile belirtilen şekilde ifade etmişlerdir.

$$P_{so} = P_o \frac{808 \left[1 + \left(\frac{Z}{4,5} \right)^2 \right]}{\left\{ \left[1 + \left(\frac{Z}{0,048} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0,32} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{1,35} \right)^2 \right] \right\}^{0,5}} \quad (\text{bar}) \quad (1.27)$$

Mills yapmış olduğu çalışmada pozitif pik basınç için Denklem 1.28 ile verilen ifadeyi elde etmiştir.

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} \text{ (kPa)} \quad (1.28)$$

Son olarak Sadovskiy yapmış olduğu çalışmada pozitif pik basıncın bulunması için aşağıdaki bağıntıyı,

$$\Delta P_f = \frac{0,085}{Z} + \frac{0,3}{Z^2} + \frac{0,8}{Z^3} \text{ (MPa)} \quad (1.29)$$

şeklinde ifade etmiştir. Smith ve Hetherington tarafından yapılan çalışmada patlatma dalgasının havaya yayılmasıyla beraber şok dalgasının önündeki havanın düşük hızla hareket etmeye başladığı, hava partiküllerinin hızının ve ona bağlı olarak meydana gelen rüzgâr basıncının, patlama dalgasının pik basıncına (P_{so}) bağlı olduğu tespit edilmiştir. Burada meydana gelen rüzgârın hızı dinamik basınç ile ilintilidir. TM 5-1300'de verilen formülasyona göre dinamik basıncın büyüklüğü, parçacık hızı ve hava hacmine bağlı olarak, patlayıcı boyutundan bağımsız, yalnızca patlama dalgasının pik basıncına bağlı bir fonksiyon olarak Denklem 1.30'da ki gibi yazılabilir.

$$q_s = \frac{5P_{so}^2}{2(P_{so} + 7P_o)} \text{ (kPa)} \quad (1.30)$$

Eğer patlatma dalgası yayılma yönüne dik doğrultuda bir engelle karşılaşırsa yansıyan basıncı meydana getirir ve yansıyan basıncın hesaplanması ile ilgili bağıntı,

$$P_r = 2P_{so} \left\{ \frac{7P_o + 4P_{so}}{7P_o + P_{so}} \right\} \text{ (MPa)} \quad (1.31)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Sadovskiy'nin yapmış olduğu bir diğer çalışma ise pozitif faz süresinin ve impulsun bulunması ile ilgilidir. Pozitif faz süresi ve impulsun hesaplanması ile ilgili elde etmiş olduğu ampirik bağıntılar sırasıyla;

$$t_0 = 1.2\sqrt[6]{W}\sqrt{R} \quad (1.32)$$

$$I = 200\frac{W^{2/3}}{R} \quad (1.33)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Kapsamlı bir şekilde patlama basıncının ve süresinin bulunması için gerekli tablo ve çizelgeler TM 5-1300'de (1990) sunulmaktadır. Mendis vd. (2007) tarafından yansıyan basınç değeri için ön görülen uzaklık ve ağırlık değerleri Tablo 1.6'da verilmektedir.

Tablo 1.6. Yansıyan basınç için öngörülen uzaklık ve ağırlık değerleri (Mendis vd., 2007)

<i>R</i> \ <i>W</i>	100 kg TNT	500 kg TNT	1000 kg TNT	2000 kg TNT
1m	165.8	354.5	464.5	602.9
2.5m	34.2	89.4	130.8	188.4
5m	6.65	24.8	39.5	60.19
10m	0.85	4.25	8.15	14.7
15m	0.27	1.25	2.53	5.01
20m	0.14	0.54	1.06	2.13
25m	0.09	0.29	0.55	1.08
30m	0.06	0.19	0.33	0.63

1.6. Yapısal Sistem Modellemesi ve Dinamik Karakteristiklerin Belirlenmesi

1.6.1. Tek Serbestlik Dereceli Sistem

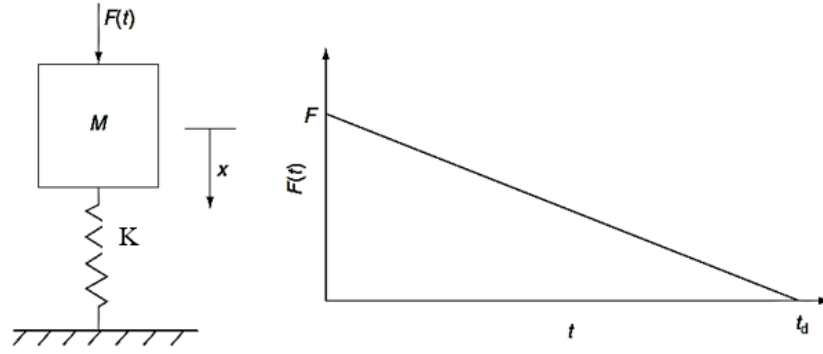
Patlama neticesinde meydana gelen ve yapısal sistemlere etkileyen yükler, zamana bağlı şekilde değişir, mesnetlenme durumu, lineer olmayan malzeme davranışı gibi farklı dinamik karakteristiklere bağlı olması nedeniyle oldukça karmaşık etkilere sahiptir. Bugüne kadar konu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde yapı sistemlerine etki eden patlama yüklerinin analizlerinde eleman modellemesinde işlem adımlarını kolaylaştırmak, zamandan tasarruf etmek, ekonomik tasarımlar elde etmek amacıyla tek serbestlik dereceli sistem

(TSD) yöntemine başvurulduğu görülmüştür. TSD yöntemi ile yapının kuvvet etkisi altındaki zamana bağlı ve sönümlü durumuna ait temel hareket denklemi,

$$M\ddot{U}(t) + C\dot{U}(t) + KU(t) = F(t) \quad (1.34)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklemden; M, C ve K sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, $\ddot{U}(t)$, $\dot{U}(t)$, $U(t)$ aynı sisteme ait zamana bağlı ivme, hız ve yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir. $F(t)$ ise zamanla değişen ve yapısal sisteme etki eden dış kuvvet vektörüdür.

Patlama olayı esnasında tek serbestlik dereceli elastik bir yapısal sisteme Şekil 1.11'deki gibi üçgen biçimli idealleştirilmiş yük etki edildiği varsayıldığında;



Şekil 1.11. Elastik TSD sistem ve idealleştirilmiş patlama yük grafiği

$$F(t) = F_m \left(1 - \frac{t}{t_0} \right) \quad (1.35)$$

şeklinde ifade elde edilir. Burada t_0 patlama olayına ait pozitif faz süresini, F_m ise maksimum etkiyen kuvveti ifade etmektedir. Bu patlama yükü tarafından yapıda oluşacak impulsif kuvveti (I),

$$I = \frac{1}{2} F_m t_0 \quad (1.36)$$

denkleminde elde edebiliriz. Daha önceki kısımlarda da belirtildiği gibi I yük-zaman grafiğinin altında kalan alandan elde edilebilmektedir. Burada impuls $0 < t \leq t_0$ zaman aralığına

bağlı bir fonksiyon şeklinde elde edilir. Patlama yükleri altında sönümün, meydana gelen enerjiyi yutma kapasitesine etkisinin daha küçük olması göz önüne alındığında ihmal edilmesinin sonuçları etkilemediği daha önce yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Sistemin sönümsüz olarak kabul edilmesi halinde $t=0$ anından pozitif faz süresine kadar denklem yeniden yazıldığında,

$$M\ddot{U} + KU = F_m \left(1 - \frac{t}{t_o} \right) \quad (1.37)$$

verilen ifadedeki gibi elde edilir. Dinamik yükleme altında sistemin yer değiştirmesine ait denklem,

$$U(t) = \frac{F_m}{K} (1 - \cos w_n t) + \frac{F_m}{K t_o} \left(\frac{\sin w_n t}{w_n} - t \right) \quad (1.38)$$

şeklinde elde edilir. Burada ω_n yapının titreşim altındaki doğal açısal frekansdır ve

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (1.39)$$

kütle ve rijitliğe bağlı olarak denklemdeki gibi elde edilir. Titreşim altındaki yapının doğal periyodu T , yapının tam bir tur salınım yapması için gerekli süreyi ifade etmektedir ve doğal açısal frekans değeri arasında Denklem 1.40 da verildiği gibi bir ilişki vardır.

$$T = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (1.40)$$

1.38 ile verilen denklemde zamana bağlı birinci dereceden türev alındığında,

$$\dot{U}(t) = \frac{F_m}{K} \left[w_n \sin w_n t + \frac{1}{t_o} \cos(w_n t - 1) \right] \quad (1.41)$$

sistemin hızı ile ilgili ifade elde edilmiş olunur. Sistemde maksimum dinamik yerdeğiştirmenin (y_m), t_m sürede gerçekleştiği düşünülürse, 1.36 ile verilen denklemin zamana bağlı türevi alınıp sıfıra eşitlenmesi ile elde edilebilmektedir. Yani hız sıfır olduğu anda yapısal sistem maksimum dinamik yerdeğiştirmeye sahip olur. Dinamik yük faktörü (DLF), maksimum dinamik yer değiştirmenin, F_m yüklemesi altında maksimum statik yerdeğiştirmeye (y_{st}) oranı olarak tanımlanmakta ve

$$DLF = \frac{y_{max}}{y_{st}} = \frac{y_{max}}{\frac{F_m}{K}} = y \left(\frac{t_o}{T} \right) \quad (1.42)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada Ψ yapı periyodunun bir fonksiyonudur. Patlama olayından meydana gelen yükler yapısal tepki bakımından önemli etkiler oluşturur. Bu etkileri t_o/T oranına bağlı olarak üç kategoriye ayıracak olursak;

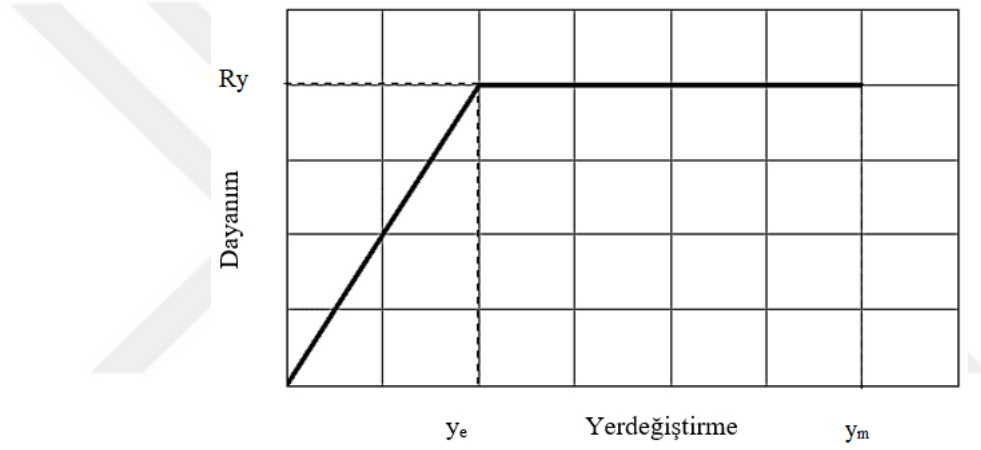
- $t_o/T < 0,4$ olması durumunda yapıda impulsif kuvvetler
- $0,4 < t_o/T < 40$ olması durumunda yapıda yarı statik yükleme durumu
- $t_o/T > 40$ olması durumunda yapıda dinamik yükleme durumu meydana gelmektedir.

Pozitif faz süresinin yapı doğal periyodundan daha kısa sürede olması durumunda, $t_o < T$, yapı önemli derecede hasar almadan önce patlama kaynaklı yük tesiri sona ermekte ve dolayısıyla yapıya sadece impulsif kuvvetler etki etmektedir. Bu etki neticesinde yapının yerdeğiştirmesi, impuls, rijitlik ve kütleyle bağlı bir fonksiyon olarak yazılmaktadır. Tam tersi durum düşünülüğünde, yani pozitif faz süresinin yapı doğal periyodundan daha uzun olması halinde, patlama yükünün yapıda maksimum yerdeğiştirmeye sebep olduğu, maksimum yerdeğiştirmenin ise yalnızca maksimum patlama yükü ve rijitliğe bağlı bir fonksiyon olarak yazılabileceği yapılan çalışmalar neticesinde elde edilmiştir.

1.6.2. Elastoplastik Tek Serbestlik Dereceli Sistem

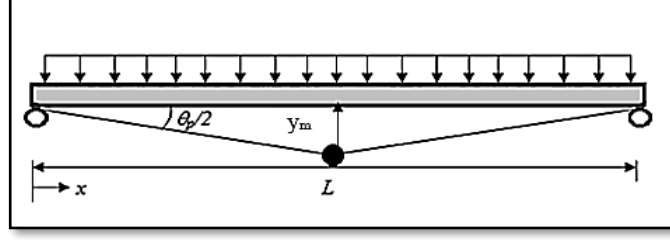
Yapısal sistem elemanlarının çok yüksek hızlı darbe ya da patlama yükleri gibi dinamik yük etkilerine maruz kalmaları durumunda, doğrusal olmayan ve ciddi anlamda büyük deformasyonlara uğramaları kaçınılmazdır. Bu tür dinamik etkilerin analizlerini yapmak istediğimiz takdirde, gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmemiz için dinamik sonlu

elemanlar metodunu kullanan bilgisayar programları ile eleman davranışları kademeli olarak çözümlenmemiz gerekmektedir. Sünekliği yüksek yapısal sistem ve elemanlarının doğrusal olmayan davranışlarının da kolaylıkla irdelenebilmesi için, eşdeğer ideal elasto-plastik TSD sistem çözümlerinde kullanılabilecek bir model tanımlanmaktadır. Biggs tarafından önerilen idealleştirilmiş elasto-plastik eşdeğer TSD sistem çözümü yaygın olarak kullanılmakla birlikte, yükleme durumundaki belirsizliklerin basite indirgenmesi ve yükleme neticesinde elemanlarda meydana gelen deformasyonların sağlıklı olarak okunması açısından kolaylık sağlamaktadır. Şekil 1.12’de TSD elasto-plastik eşdeğer sistemin dayanım-yerdeğiştirme grafiği verilmektedir.



Şekil 1.12. TSD eşdeğer sistemin elasto-plastik dayanım-yerdeğiştirme grafiği (Cömert, 2010)

Şekilde y_e , doğrusal olmayan sistemin akma yerdeğiştirmesi, y_m , belirli bir yük altında sistemin yapacağı en büyük yerdeğiştirme, R_y , sistemin akma dayanımını ifade etmektedir. TSD eşdeğer sistemler incelendiğinde gerçeğe en yakın sonucu elastoplastik yük-yerdeğiştirme ilişkisi ile tanımlanın verdiği tespit edilmiştir. Bu tanımlama doğrultusunda patlama olayları neticesinde büyük deformasyonlara maruz kalan betonarme elemanlarda doğrusal olmayan davranışı moment-eğrilik ilişkisini Şekil 1.13’te düzgün yayılı yükle yüklenmiş basit kirişin açıklık bölgesinde plastik mafsallaşma meydana geldikten sonra kirişin yerdeğiştirmesi ile basitçe ifade edebiliriz.



Şekil 1.13. Düzgün yayılı yüklenmiş, basit mesnetli bir kirişin plastik yerdeğiştirilmesi, (Cömert, 2010).

Şekilde L , kiriş uzunluğunu, $\theta_p/2$ yüklemeye altında kirişte meydana gelen dönme açısını ifade etmektedir. Eşdeğer TSD elastoplastik modelde, belirli bir yük altında sistemin yapabileceği en büyük plastik yerdeğiştirme kapasitesinin bulunabilmesi için, elastik durum için yerdeğiştirme ve dayanımının biliniyor olması gerekmektedir. Yapısal sistem elemanının doğrusal olmayan davranışının belirlenebilmesi için plastik mafsallın dönme kapasitesinin belirlenmesi de bir diğer önem arz eden parametredir. Yüklemeye altında elemanda meydana gelen dönme kapasitesinin belirlenmesi ile ilgili denklem,

$$\theta_p = x_p L_p \quad (1.43)$$

ile ifade edilmektedir. Burada L_p , plastik mafsall boyu, x_p , plastik eğrilik kapasitesidir ve Denklem 1.44 ile elde edilir.

$$x_p = x_{\max} - x_e \quad (1.44)$$

Denklemde x_e , eğrilik kapasitesi, x_{\max} , en büyük eğrilik kapasitesini ifade etmektedir. Denklem 1.43 ile elde edilen dönme kapasitesi değerinden sonra yapısal sistem elemanına ait plastik yerdeğiştirme kapasitesi,

$$y_p = \theta_p \frac{L}{4} \quad (1.45)$$

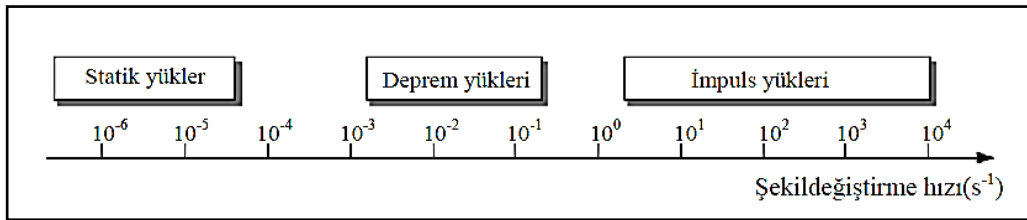
şeklinde ifade edilmektedir. Elastik yerdeğiştirme kapasitesinin bilindiği sistemin belirli yük altında yapabileceği en büyük yerdeğiştirme kapasitesinin bulunması ile ilgili denklem,

$$y_m = y_e + y_p \quad (1.46)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

1.7. Patlama Yüklerinin Malzeme Davranışına Etkisi

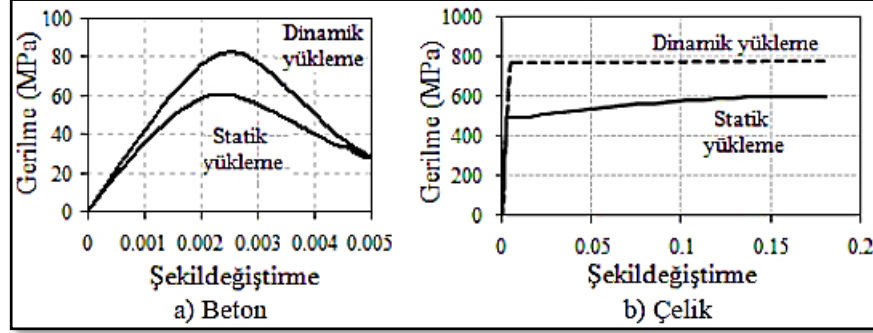
Patlama yükleri, malzemeler üzerine çok yüksek hız ve enerji ile etdiklerinden ötürü malzemelerde yüksek şekildeğiştirmeye sebep olurlar. Yapılmış çalışmalar incelendiğinde patlama olayı sırasında meydana gelen dinamik yüklerin malzemeler üzerinde yaklaşık olarak 10^2 - 10^4 s⁻¹ aralığında şekildeğiştirme hızına ulaştıkları görülmüştür. Bu da yapı elamanlarının statik yüklere nispeten birkaç milisaniye içerisinde 100.000 kattan daha büyük bir hızla yüklenebileceği anlamına gelmektedir. Betonarme yapılarda, beton ve donatı dayanımlarının, şekildeğiştirme oranı üzerinde etkisi patlama yükü sonucu yapısal dayanımda önemli olmakla birlikte günümüze kadar yapılan gerek deneysel gerekse teorik çalışmalar incelendiğinde patlama yüklerinin malzeme dayanım kapasitelerine etkisinin hala araştırma konularından biri olduğu görülmüştür. Yapılan incelemeler neticesinde yapı malzemelerinin dayanımının şekildeğiştirme hızı ile doğru orantılı olduğu yargısına varılmıştır. Şekil 1.14'te şekildeğiştirme hızının farklı yükleme tiplerine bağlı olarak değişimi verilmektedir.



Şekil 1.14. Farklı yüklemeler ile şekil değiştirme hızı ilişkisi (Cömert, 2010).

Bilindiği üzere betonarme, beton ve çelik malzemelerin 1900'lü yıllarda birlikte kullanılması ile meydana gelmiş, günümüzde ise yapıların inşasında büyük bir çoğunluğu

oluşturmaktadır. Beton ve çelik malzemelerin statik ve dinamik yükler altında yapacakları gerilme-şekildeğiştirme haline ait grafik Şekil 1.15'te verilmektedir.



Şekil 1.15. Şekildeğiştirme hızının a) beton ve b) çelik malzemeler üzerindeki etkisi (Cömert, 2010).

Betonun dinamik dayanımı (f_{dc}), dinamik artım faktörü (DIF_{beton}) ve statik karakteristik basınç dayanımına (f_{ck}) bağlı bir fonksiyon olarak hesaplanabilmektedir (CEB, 1990).

$$f_{dc} = f_{ck} DIF_{beton} \quad (1.47)$$

Beton elemanın dinamik artım faktörünün bulunması ile ilgili bağıntı,

$$DIF_{beton} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}} \right)^{1.026\alpha_s}, \quad \left| \dot{\varepsilon}_c \right| \leq 30s^{-1} \text{ için} \quad (1.48)$$

$$DIF_{beton} = \gamma_s \left(\frac{\dot{\varepsilon}_c}{\dot{\varepsilon}_{co}} \right)^{1/3}, \quad \left| \dot{\varepsilon}_c \right| > 30s^{-1} \text{ için} \quad (1.49)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada $\dot{\varepsilon}_c$, betonun şekildeğiştirme hızı (s^{-1}), $\dot{\varepsilon}_{co}$ ise $-30 \times 10^{-6} s^{-1}$ olarak ifade edilmektedir. α_s bir katsayıdır,

$$\alpha_s = \frac{1}{5 + 9 \left(\frac{f_{ck}}{10} \right)}, \quad (1.50)$$

ve betonun karakteristik basınç dayanımına bağlı olarak verilen Denklem 1.50'deki gibi belirlenmektedir. γ_s bir katsayıdır ve

$$\log \gamma_s = 6.156 \alpha_s - 2 \quad (1.51)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Betonun çekme gerilmesi altındaki şekildeğiştirme durumuna ait dinamik artım faktörü ile ilgili bağıntı,

$$DIF_{beton} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{ct}}{3 \times 10^{-6}} \right)^{1.016 \delta_s}, \quad \dot{\varepsilon}_{ct} \leq 30 \text{ s}^{-1} \text{ için} \quad (1.52)$$

$$DIF_{beton} = \beta_s \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{ct}}{3 \times 10^{-6}} \right)^{1/3}, \quad \dot{\varepsilon}_{ct} > 30 \text{ s}^{-1} \text{ için} \quad (1.53)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada β_s katsayısının bulunması ile ilgili denklem,

$$\log \beta_s = 7.112 \delta_s - 2.33 \quad (1.54)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Farklı dayanım aralığındaki (290-710 MPa) çelik malzemelerin dinamik artım faktörünün bulunması ile ilgili bağıntı ise,

$$DIF_{çelik} = \left(\frac{\varepsilon}{10^{-4}} \right)^\alpha \quad (1.55)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

$$\alpha_{f_y} = 0,074 - 0,04 \left(\frac{f_y}{414} \right) \quad (1.56)$$

Burada f_y çeliğin akma dayanımıdır. $\alpha = \alpha f_y$ dir ve çelik yapı malzemesinin akma dayanımına bağlı olarak elde edilir. Kopma dayanım (α_{fu}) değerinin hesaplanması ile ilgili bağıntı,

$$\alpha_{f_u} = 0,019 - 0,009 \left(\frac{f_y}{414} \right) \quad (1.57)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Çelik yapı malzemesinin mekanik özellikleri, basınç etkisinde şekildeğiştirme oranına bağlı olarak ciddi manada değişmektedir. Statik yükleme altındaki mekanik özellikleri baz alınarak ani şekildeğiştirme durumundaki etki,

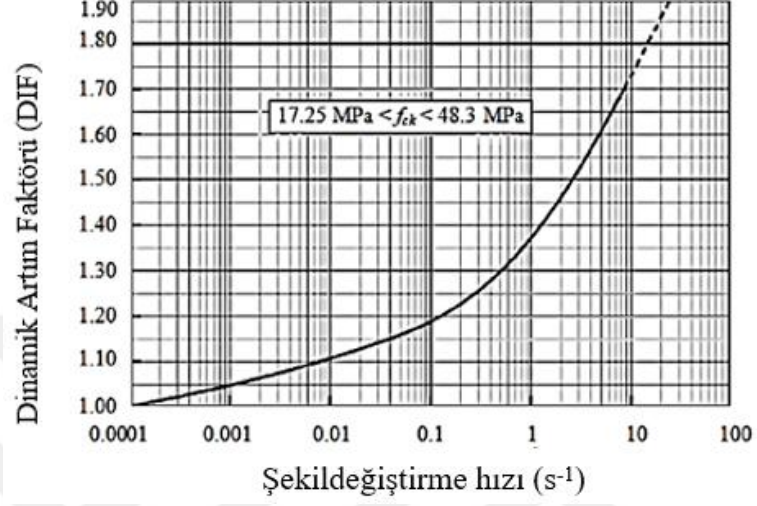
- Akma noktası büyük ölçekte dinamik akma gerilmesi değerine çıkar,
- Elastisite modülü yükleme oranına bağlı olarak değişmez,
- Nihai çekme gerilmesi çok az miktarda artmakla beraber, bu artış akma gerilmesindeki artışa nispeten daha düşük oranda olmakta,
- Kopmadaki uzamanın ise artan gerilme oranı ile birlikte ya çok küçük azaldığı ya da değişmeden kaldığı şeklinde değerlendirilmeler mevcuttur (Tahmilci, 2007).

Perzyna'nın sunduğu modelde plastik şekildeğiştirme oranına bağlı olarak çelik malzemenin akma gerilmesine ait formülasyon,

$$\sigma'_y = \left[1 + \left(\frac{\epsilon^{pl}}{\gamma} \right)^m \right] \sigma_y \quad (1.58)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada σ'_y , şekildeğiştirme hızı göz önüne alındığında meydana gelen akma gerilmesi, ϵ^{pl} , eşdeğer plastik şekildeğiştirme oranı, m, şekildeğiştirme oranına ait bir parametre, γ , viskozite parametresi, σ_y , statik akma gerilmesini ifade etmektedir. Örneğin yumuşak çelik için m değeri 0,2 ve γ 40 s⁻¹'dir.

Basınç yüklerine maruz betonda şekildeğiştirme hızına bağlı olarak DIF katsayılarına ilişkin grafik Şekil 1.16'da verilmektedir. Burada betonun karakteristik basınç dayanımının en düşük değeri 17 MPa, en büyük değeri ise 48 MPa baz alınarak verilmektedir.



Şekil 1.16. Basınca maruz betonun şekildeğiştirme-dinamik artım faktörü katsayısı grafiği (US Army Corps of Engineers, 2008)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR ve BULGULAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışması kapsamında, betonarme yapıların patlama kaynaklı meydana gelen dinamik yükler altında yapısal davranışlarının, değişken patlayıcı ağırlıkları, malzeme özellikleri ve geometrik özellikler temel alınarak analitik olarak belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu hedef doğrultusunda, ilk etapta kutu kesitli, üst yüzeyi atmosfere tamamen açık tuğla duvar üzerinde matematiksel formülasyonlar ile ANSYS Workbench (2016) programı kullanılarak oluşturulan modellerin yine ANSYS Autodyn programı kullanılarak patlama analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analiz çalışmaları sonuçlarının, matematiksel formülasyonlar ve UFC 3-340-02’de verilen abaklardan yararlanılarak karşılaştırılması yapılmış ve yaklaşık sonuçlar elde edilmiştir. Analitik ve matematiksel çalışmaların yanı sıra tuğla duvar modeli için 1/1 ölçekli deneysel modeli oluşturularak patlama deneyi de yapılmıştır. Deneysel çalışmada ise basınç ölçer cihazının olmaması nedeniyle yalnızca meydana gelen hasar düzeyleri ölçülüp, sonlu eleman analizleri sonucunda meydana gelen hasar simülasyonu ile kıyaslaması yapılmış ve görüntülerin gerçekte meydana gelen hasar görüntüleri ile bire bir örtüştüğü tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda ülkemizde mevcut tipik tek katlı farklı geometrik özelliklere sahip iki adet betonarme bina modeli seçilerek ANSYS Workbench v16 (2016) sonlu eleman programında geometri modellemesi yapılarak daha sonra patlama analizleri için ANSYS Autodyn programı kullanılarak farklı beton malzeme sınıfları ve patlayıcı ağırlık TNT patlayıcı türü kullanım durumunda patlama etkisi altında yapının dinamik karakteristikleri incelenmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde sırasıyla yapılan örnek çalışma niteliğindeki deneysel çalışma ve analitik çalışmalar yer almaktadır.

2.2. Deneysel Çalışma

Patlamaların yapılar üzerindeki dinamik etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan tüm deneysel çalışmalar literatüre de bakıldığında hem maddi anlamda çok yüksek meblağlar gerektirmesi hem de yapım aşamasının zorluğu, içerdiği riskler ve resmi prosedürlerin uzun

olması sebebiyle çok sık başvurulan yöntem olmamaktadır. Bunun yerine ağırlıklı olarak analitik ve matematiksel yöntemlerle karşılaştırmalı çalışmaların yapıldığı gözlemlenmiştir.

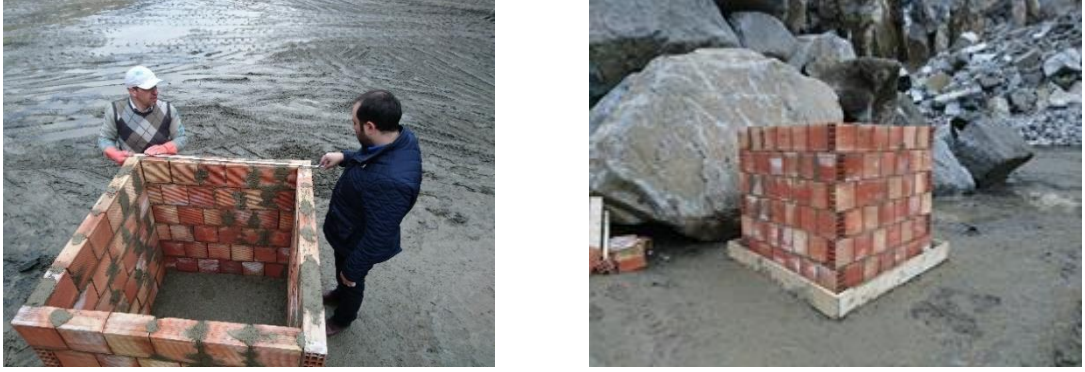
Bu tez çalışmasında ise tüm bu kriterler göz önüne alındığında, deneysel çalışmaların yapım aşamasında kolaylık sağlanması ve betonarme binalarda en çok kullanılan duvar malzemesi olmasından ötürü tuğla malzeme ile 1/1 ölçekli yığma duvar modeli seçilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, Trabzon ili Hayrat ilçesinde üst yüzeyi atmosfere tamamen açık olan dikdörtgen kutu kesitli, eni ve boyu 122 cm, yüksekliği 113 cm ve kalınlığı 8.5 cm, düşey delikli tuğla ile imal edilen yığma duvar modeli kullanılmıştır. Duvar tabanından toprak zemine ampattanları 30 cm ve kalınlığı 10 cm olarak düşük dayanımlı çimento harç ile yapılan temele yatay doğrultularda hareketi ve dönmesi engellenecek şekilde oturtulmuştur. Bu sebeple analitik çalışmalar sırasında duvar tabandan ankastre mesnetlenme koşuluna göre değerlendirilmiştir. Duvar inşasından sonra malzemeler arası aderansının sağlanması amacıyla 28 gün süre ile beklenilmiştir. 28 günlük dayanım kazanma süresi tamamlandıktan sonra birinci aşamada 40 gr, ikinci aşamada 150 gr ve en son 290 gr olmak üzere toplam 3 farklı ağırlıkta kapsüle duyarlı TNT patlayıcı malzeme tuğla duvarın iç taban merkezine yerleştirilerek duvarda meydana gelen hasar durumları incelenmiştir. Deneysel çalışmalardaki amaç, ilk aşamada tuğla malzeme kullanılarak inşa edilen bir duvarda çatlak oluşumuna sebep olacak ağırlıktaki TNT miktarını analitik çalışma ile elde edilen miktar ile teyit edip, daha sonraki aşamada ise kademeli olarak duvarın göçmesini sağlamaktır. Deneysel çalışmaya ait duvar yapım aşaması ile ilgili görseller Şekil 2.1’de verilmektedir.



Şekil 2.1. Deneysel çalışmaya ait tuğla duvar yapım aşamaları

Şekil 2.1'in devamı



Deneyisel çalışmada kullanılan kapsüle duyarlı TNT ve düzenek ile ilgili görseller Şekil 2.2'de verilmektedir. Burada TNT'nin infilakı esnasında oluşan ani yüksek basınç etkisinde etrafa direk saçılmasını önlemek amacıyla kum tabakası ile üzeri kapatılmıştır. Güvenli bölgeye geçiş sağlandıktan sonra uzmanlar eşliğinde TNT uzaktan kontrollü bir şekilde patlatılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 2.2. Sırasıyla kapsüle duyarlı TNT ve tamamlanmış deney düzeneği

Üç farklı ağırlıktaki TNT için Şekil 2.2'de gösterildiği gibi düzenekler kurularak patlama deneyleri yapılmıştır. En son 290 gr TNT kullanılarak yapılan çalışmada patlayıcının infilak etmesiyle beraber duvar mesnet bölgesinden ayrılarak direk göçmüştür. Bu esnada tuğlaların yüksek basınç etkisi ile etrafa parçalar halinde yüksek hızda sıçrayarak dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu gibi durumlarda gerekli güvenlik önlemleri alınmadığı takdirde insan sağlığı açısından ciddi boyutta yaralanmalar oluşturabileceği tespit edilmiştir. Şekil 2.3'te sırasıyla 290 gr TNT kullanılarak yapılan deney sonrası mesnetlerinden ayrılarak tamamen yıkılan tuğla duvara ait görseller verilmektedir.



Şekil 2.3. 290 gr TNT ile yapılan deney sonrası mesnetlerinden ayrılarak tamamen yıkılan tuğla duvar

2.3. Sayısal Çalışmalar

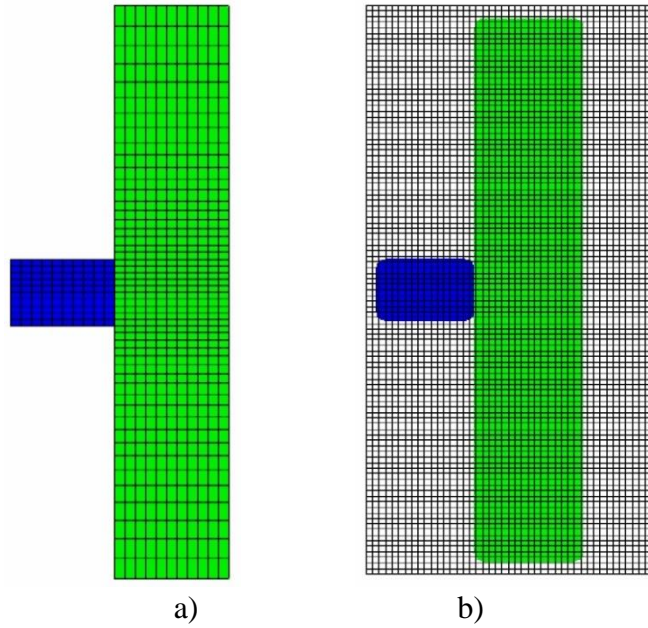
Tez çalışmasının bu bölümünde, sayısal ve deneysel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen dinamik etki çözümlerinden elde edilen sonuçların doğrulanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak seçilen tuğla duvar modelinin üç farklı ağırlıkta TNT patlayıcı madde kullanılarak ANSYS Workbench (2016) sonlu eleman programı yardımıyla modellenmesi yapılarak yine ANSYS programının alt bileşeni olan Autodyn programı ile patlama analizleri yapılmıştır ve elde edilen deneysel veriler ile matematiksel çözümlerin sonuçlarının doğrulanması hedeflenmiştir. Bu bağlamda sırasıyla kullanılan sonlu eleman programlarının temel çalışma prensibi, deneysel modelin doğrulanması ve akabinde tez çalışmasında kullanılan modellerin analitik çözümleri verilmektedir.

2.3.1. ANSYS Autodyn Programının Çalışma Prensibi

Doğrusal olmayan dinamik problemlerin çözümünü daha kolay elde edebilmemiz için konu ile alakalı özel olarak geliştirilmiş iki büyük sonlu eleman paket programları mevcuttur. Bu programlar Autodyn ve LS-DYNA'dır. Bu iki sonlu eleman programları patlama ve patlama olaylarının yanı sıra etki ve penetrasyon hesaplamaları da yapabileme yeteneğine sahiptirler. Bu programlara "hidrokodlar" denir. Bu hidrokodlar kısmen benzer işlemlere sahip gibi görünseler de program alt yapıları itibariyle farklı kullanım alanlarına

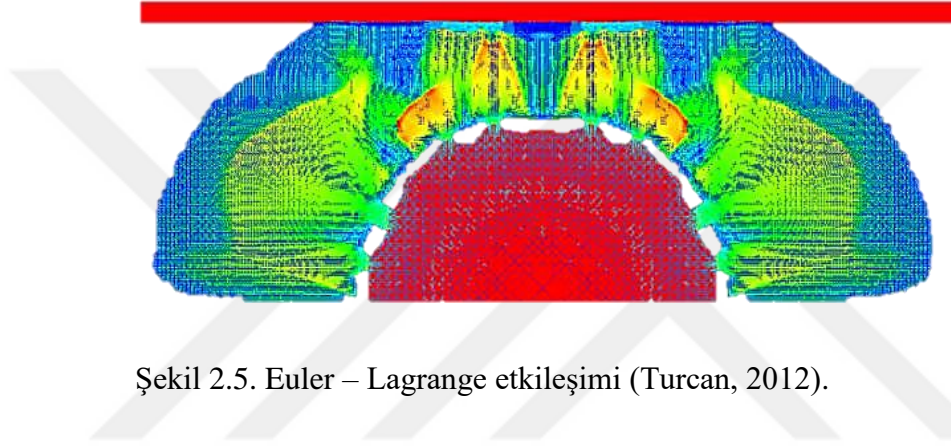
hizmet etmektedirler. Autodyn genellikle patlama problemlerinin çözümünde parametre girdilerinde sağladığı kolaylıklardan ötürü daha çok tercih edilmektedir. Her iki program mühendislik sektöründe kullanım alanlarına göre zamandan ve ekonomik açıdan tasarruf sağlayıp, gerçeğe çok yakın sonuçlar verdiklerinden ötürü tercih edilmektedirler. Bu tez çalışması kapsamında ANSYS Autodyn programı tercih edilmiş ve tüm doğrusal olmayan dinamik analizler bu programda yapılmıştır.

Autodyn programında eleman modellemeleri katı ve akışkan formda olmalarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin patlayıcı, hava ve su gibi akışkan malzemeler için Euler ve SPH (Düzgün parçacık hidrodinamiği) ile modelleme yapılırken, katı malzemelerde Lagrange modellemesi yapılmaktadır. Daha detaylı bahsedilecek olursa, Lagrange sonlu eleman çözümünde çok büyük deformasyon ve şok yüklemelerine bağlı olarak yapısal bileşenlerde hızlı ve etkili çözüm yapmayı sağlamaktadır. Euler çözümünde ise akışkan modellemenin yanı sıra katı malzemelerde aşırı plastik deformasyonların analizi için iki farklı tip mevcuttur. Modelleme esnasında her iki yöntemin birbiri ile etkileşimi de sağlanarak daha doğru sonuçlar elde edilmesine imkân tanınmaktadır. Lagrange -Lagrange ve Euler-Lagrange etkileşimleri analizlerin hazırlanılması süresi içinde oluşturulabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da yapılan tüm analizlerde her iki etkileşim de uygulanmıştır.



Şekil 2.4. a) Lagrange ve b) Euler modellemeleri arasındaki farkın gösterimi (Autodyn, 2011).

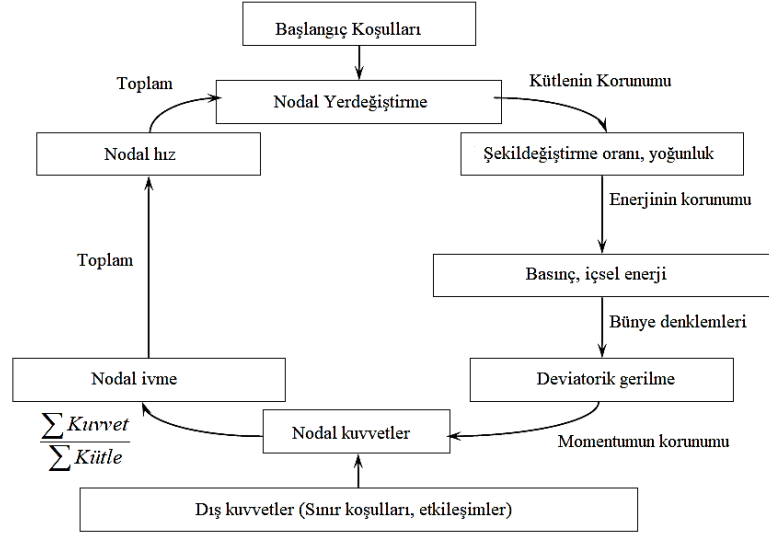
Patlama dalgaları yayılım hesaplamalarında Euler modellemesi kullanılırken, yapısal tepki ölçümleri hesaplamalarında Lagrange modeli kullanılmaktadır. Programın analize hazırlanma aşamasında Euler ve Lagrange modellemelerinin birbirleri ile etkileşimlerinin sağlanması için ‘coupling’ komutu kullanılarak malzemelerin doğru bir biçimde etkileşimi sağlatılmıştır. Patlama analizi esnasında Lagrange bölgesindeki elemanlara Euler bölgesi içindeki elemanlar tarafından Şekil 2.5’te gösterildiği gibi akış doğrultusunda bir kuvvet uygulanır.



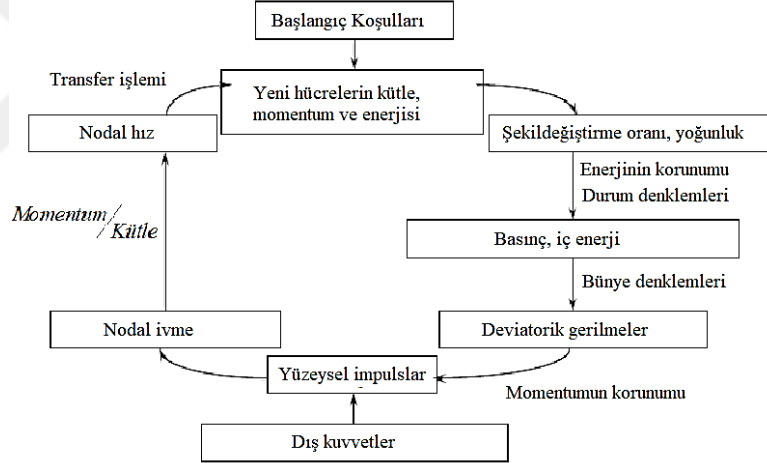
Şekil 2.5. Euler – Lagrange etkileşimi (Turcan, 2012).

Lagrange modellemesinde, yukarıda da bahsedildiği gibi dolu geometri çözümleri için, enerjinin, kütle ve momentumun korunması ilkesine bağlı olarak nodal hız, ivme ve yerdeğiştirmeleri hesaplanmaktadır. Autodyn içinde Lagrange modellemesinin çalışma prensibini anlatan akış diyagramı Şekil 2.6’da verilmektedir.

Euler yaklaşımında daha önceden de bahsedildiği gibi tanımlanan hacim içerisindeki akışkan malzemelerin hesaplamaları yapıldığından ötürü buradan malzeme transferi, hücreden hücreye sonlu eleman parçalarında bozulma olmadan aktarım sağlanmakta ve hacim sabit kalmaktadır. Euler yaklaşımının Autodyn içerisindeki çalışma prensibi ise Şekil 2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.6. Autodyn programında Lagrange çalışma prensibi akış diyagramı (Turcan, 2012).



Şekil 2.7. Autodyn programında Euler çalışma prensibi akış diyagramı (Turcan, 2012).

Bu tez çalışması kapsamında daha önceden de belirtildiği üzere dinamik tepki analizinin sağlıklı olarak yürütülebilmesi için hem Euler modeli hem de Lagrange modeli tam bağlaşıklık (fully coupled) yöntemi ile birlikte kullanılmıştır. Autodyn programı gibi hidrokodların çalışma ilkesi sırasıyla enerjinin, kütle ve momentumun korunumuna bağlı olarak açıklanacak olursa,

$$\frac{\partial e}{\partial t} + V_j \frac{\partial E}{\partial x_j} = f_i V_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{ij} V_i}{\partial x_j} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial t} + V_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = f_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} \quad (2.3)$$

Şeklinde denklemlerle ifade edilebilir. Bu denklemlerde, t zamanı, ρ birim hacimdeki yoğunluğu, f yapısal hacme etki eden kuvveti, x yerdeğiştirmeyi, σ gerilmeyi, E toplam enerjii, v hızı ifade etmektedir. Bu üç denklemin yanı sıra gerilme-şekildeğiştirme ve basınç-birim hacim yoğunluğu-içsel enerji ilişkisine bağlı olarak iki denklem daha yazılabilmektedir. Bunlar sırasıyla,

$$\sigma_{ij} = g \left(\varepsilon_{ij}, \dot{\varepsilon}_{ij}, e \right) \quad (2.4)$$

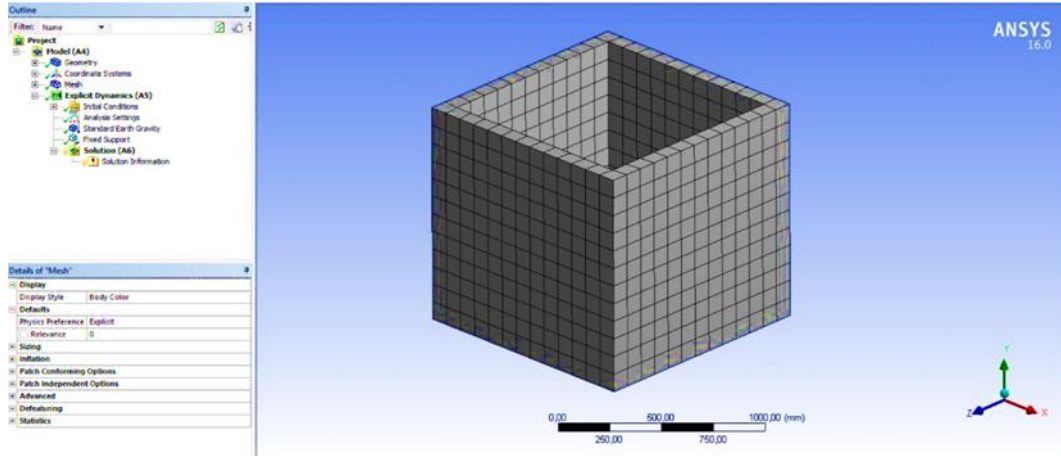
$$P = (E, \rho) \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Yukarıdaki 5 adet denklemde toplam 15 adet bilinmeyen mevcuttur. Bu bilinmeyenlerden enerjinin korunumundan bir adet, kütle korunumundan bir adet ve momentumun korunumundan üç adet olmak üzere toplam beş adet bilinmeyen elde edilebilmektedir. 15 adet bilinmeyen beşinin bu şekilde elde edilmesiyle geriye kalan 10 adet bilinmeyen ise süreklilik ve durum denklemleriyle elde edilebilmektedir. Durum denklemleri, hidrostatik basınç etkisindeki malzemenin iç enerjisi ve malzemenin yoğunluğuna bağlı olarak ifade edilmektedir (Turcan, 2012).

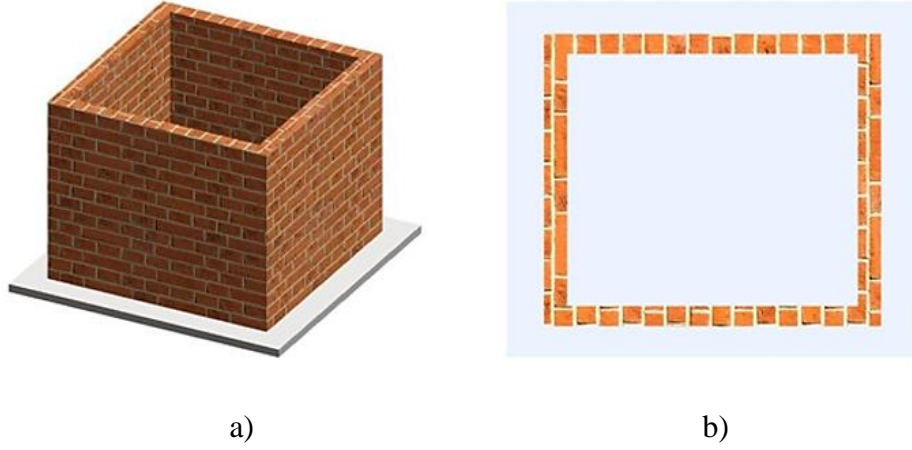
Bu tez çalışması kapsamında beton, çelik, hava, TNT ve tuğla için sırasıyla P-alpha, Linear, ideal gaz, Jones-Wilkins-Lee (JWL) ve tuğla için beton ile aynı olan P-alpha durum denklemlerinden yararlanılmıştır.

2.3.2. Yığma Duvarın Analitik Modellenmesi

Deneysel çalışma için yerinde inşa edilen duvarın bire bir ölçeklenmiş üç boyutlu model geometrisi ilk olarak ANSYS Workbench v16.0 (2016) sonlu eleman analiz programının içinde bulunan Explicit Dynamic analiz bölümü kullanılarak oluşturulmuştur. Bilgisayar ortamında model geometrisi oluşturulurken deneysel çalışmadaki zemine ankraj işleminin karşılığı olarak duvar alt taban yüzeyinden ankastre mesnetlenmiş ve modelin her bir elemanı sayısal ayrıklaştırma yöntemi (mesh) ile 100 mm uzunluğunda sonlu elemanlara bölünmüştür. Sonlu elemanlara bölünmüş duvara ait görsel Şekil 2.8'de verilmektedir. Katı eleman modellemesinde kütle, enerjinin ve momentumun korunması için hesaplamalar içeren Lagrange teorisi kullanılmıştır. Patlatma analizinden önce ANSYS Autodyn yazılımıyla üç boyutlu duvar modelinin içine oturtulduğu hava hacmi ve patlayıcı malzeme olarak kullanılan TNT ise Euler teorisine göre modellenmiştir. Hava hacmi ve TNT sayısal ayrıklaştırma yöntemi (mesh) ile 15 mm uzunluğunda sonlu elemanlara bölünmüştür. Duvara ait üç boyutlu (3D) model görseli ve üstten (plan) görünüşü Şekil 2.9'da verilmektedir.



Şekil 2.8. Sayısal ayrıklaştırma (mesh) yöntemiyle sonlu elemanlara bölünmüş yığma duvara ait görsel

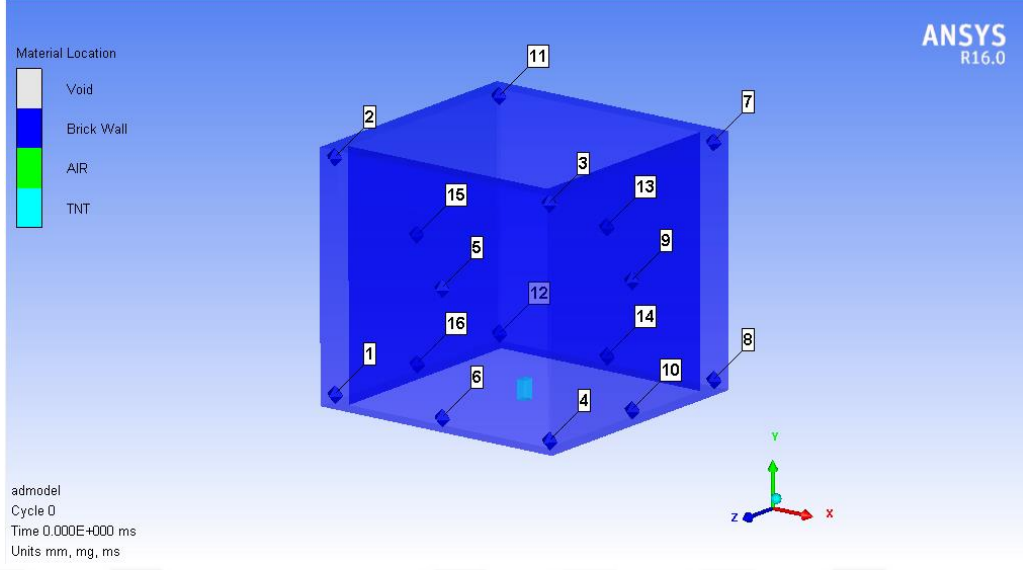


Şekil 2.9. Yığma duvara ait görünüşler a) İzometrik (3D) görünüş b) Üstten görünüş

Daha sonra hasar ve basınç değerlerini okuyabilmek için duvarın belirli bölgelerine simetrik olacak şekilde toplam 16 adet ölçüm (gauge) noktaları yerleştirilmiştir. Ölçüm noktalarına ait görseller Şekil 2.10'da verilmektedir. Analiz süresi 3 milisaniye ve basınç değişimindeki farkları daha hassas gözlemleyebilmek için 0,01 milisaniyelik artım aralığı olacak şekilde ayarlanmıştır. Analiz süresinin 3 ms olarak seçilmesi, literatür incelendiğinde patlama analizleri için 2,5-5 ms aralığında bir değer seçilmesinin gerçek sonuçları yansıtmada yeterli olduğu yönündeki kanaat referans alınarak belirlenmiştir. Bir sonraki işlem adımı olarak patlayıcı, duvar zemini yüzeyinin orta noktasına yerleştirilmiştir. Tüm bu işlem adımları 40, 150 ve 290 gr ağırlıklarındaki TNT miktarları için tekrarlanmıştır. Doğrusal olmayan sonlu eleman modeli analizlerinde yüksek basınç altındaki elemanların malzeme modellemesini doğru bir biçimde seçmek önemlidir. Bu çalışmada seçilen malzeme özellik ve durum denklemleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1 Yığma duvar malzeme modeli ve durum denklemi

Malzeme	Durum Denklemi	Dayanım Modeli	Referans Yoğunluk (g/cm ³)	Kayma Modülü (kPa)	Elastisite Modülü (kPa)
Tuğla	P-alpha	RHT (Riedel-Hiermaier-Thoma)	0,69	1,19×10 ⁶	2,88×10 ⁶
Hava	İdeal gaz	-	1,225×10 ⁻³	-	-
TNT	JWL	-	1,63	-	-



Şekil 2.10. Yığma duvar sonlu eleman modeline ait ölçüm noktaları

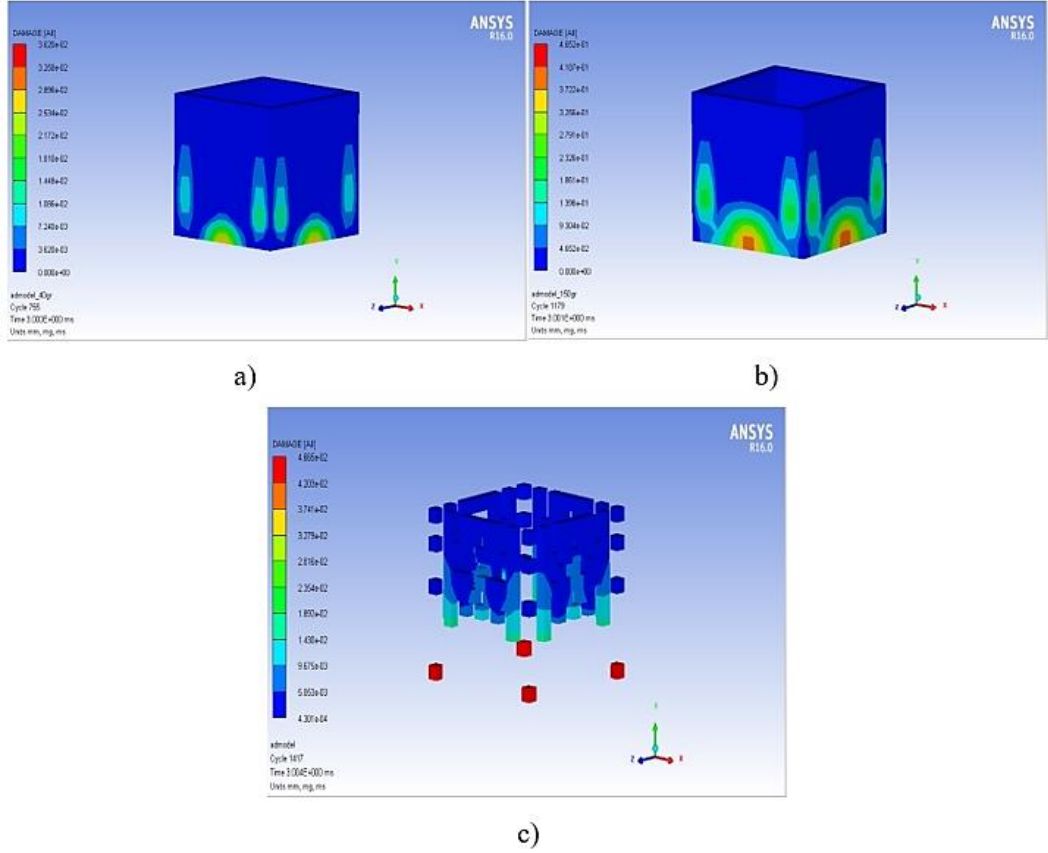
2.3.2.1. Yığma Duvar Modeline ait Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Deneysel çalışmalar sırasında basınçölçer cihazının mevcut olamamasından ötürü sadece hasar düzeyinin ölçüldüğü bir önceki kısımda bahsedilmiştir. Sonlu eleman analizlerinde ise hasar düzeyinin ölçülmesinin yanı sıra maksimum basınç değerleri de incelenmiş ve sonuçlar tablolar halinde verilmiştir.

40 gr TNT ile yapılan 3 ms sürelik patlatma analizi esnasında kaydedilen basınç değişim grafiği incelendiğinde maksimum basınç 0,5ms’de 341 kPa olarak ölçülmüş, duvarda önemli düzeyde hasar oluşumunun ortaya çıkmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise tuğla duvar modeli tasarlanırken ilk aşamada kullanılan patlayıcı miktarının sadece çatlak oluşturacak düzeyde hasar vermesini sağlamaktır. Duvara ait 40, 150 ve 290 gr TNT patlayıcı madde kullanılarak elde edilen hasar simülasyon görüntüleri Şekil 2.11’de verilmektedir.

150 gr TNT ile yapılan patlatma analizi esnasında kaydedilen basınç değişim grafiği incelendiğinde maksimum basınç 0,41ms’de 867 kPa olarak ölçülmüştür. 290 gr TNT kullanılarak yapılan analizde basınç – zaman grafiği incelendiğinde maksimum basıncın altı numaralı ölçüm noktasında 0,37ms’de 1590,7 kPa değerine ulaştığını bunun da tuğla basınç emniyet gerilme değerinin yaklaşık olarak iki katı büyüklüğünde olduğu görülmektedir. Oluşan bu yüksek basınçtan ötürü duvarda aniden mesnetlerinden kopmalar ve buna bağlı

olarak ağır hasar olduğu, duvarın tamamen yıkıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca patlama esnasında oluşan hasar neticesinde etrafa sıçrayan tuğlaya parçalarının çevreye ve insanlara zarar verebileceği, yaralanmalara sebep olabileceği sonucu elde edilmiştir. Duvara ait hasar simülasyon görüntüleri Şekil 2.11’de verilmektedir. Her üç patlayıcı ağırlığının ölçüm noktalarında oluşturduğu maksimum basınç değerlerine ait veriler Tablo 2.2’de verilmektedir. Burada 1.Durum 40 gr TNT, 2.Durum 150 gr TNT ve 3.Durum 290 gr TNT ile yapılan analiz sonucu elde edilen değerleri ifade etmektedir.



Şekil 2.11. Yığma duvara ait a) 40, b) 150 ve c) 290 gr TNT kullanılarak elde edilen hasar kontur diyagramları

Tablo 2.2 incelendiğinde 6, 10, 14 ve 16 numaralı ölçüm noktalarında simetrik olmaları ve patlayıcının konumundan dolayı her 3 patlayıcı ile gerçekleştirilen analizlerde, maksimum basınç değerleri aldığı görülmektedir. Özellikle 3 numaralı durumda 1.5 MPa değerine varan basınç değerlerinde duvarda ağır hasarın kaçınılmaz olduğu tespit edilmiştir. İkinci en büyük basınç değerleri ise 1, 4, 8 ve 12 noktalarında olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 2.2. Her bir durum için ölçüm noktalarından okunan maksimum basınç değerleri (kPa)

Ölçüm Noktası	1. Durum Basınç Değeri	2. Durum Basınç Değeri	3. Durum Basınç Değeri
1	221,90	449,55	553,80
2	143,81	185,49	257,28
3	143,81	185,49	251,03
4	222,00	449,78	544,92
5	178,33	328,67	482,16
6	341,63	867,22	1590,7
7	143,81	186,58	252,12
8	221,26	446,16	544,57
9	178,38	328,62	482,08
10	341,50	868,79	1589,7
11	143,81	187,94	254,82
12	219,49	449,39	550,96
13	169,74	328,50	481,96
14	330,48	867,33	1590,6
15	169,81	328,46	481,88
16	329,78	869,39	1590,3

2.3.2.2. Sonlu Eleman Analiz Sonuçlarının Doğrulanması

Bu bölümde, yığma duvarda oluşan basınç değerlerinin ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak ve Bölüm 1.5'te verilen temel patlama dalgası parametreleri kullanılarak elde edilmesi amaçlanmaktadır. Burada duvar simetrik bir yapıya sahip olduğundan dolayı ölçüm yapılan noktalar arasından duvarın özelliklerini yansıtacak dört adet nokta seçilmiştir. İlk olarak patlayıcı ağırlık ve konumuna bağlı olarak ölçeklenmiş mesafeler hesaplanmıştır. Daha sonra bu değerler her bir bağıntıda yerine yazılarak basınç değerleri elde edilmiştir. Bu noktalar sırasıyla, 1, 2, 5 ve 6 numaralı ölçüm noktalarıdır. 1 numaralı ölçüm noktasına ait 290gr TNT kullanılarak her bir bağıntıya ait basınç değerinin hesap işlem adımları aşağıda örnek olarak verilmektedir. Bu dört noktaya ait basınç değerleri her bir ağırlıktaki patlayıcı ve bağıntı için tek tek hesaplanmış ve sırasıyla Tablo 2.3, Tablo 2.4, Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da özetlenmiştir.

El ile hesaplanan değerlere ilaveten UFC 3-340-02'de kazara patlamalara karşı yapıların dayanım kriterlerine göre ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak pek çok parametre için abak sunulmuştur. Abaktan ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak pik basınç, yansıyan basınç, impuls, hız gibi parametrelerin okunması sağlanmaktadır. Tez çalışması kapsamında,

abaktan basınç değerleri bazında yararlanılmıştır. Yığma duvara ait patlama değerlerinin kontrolünün sağlandığı ilgili abak Şekil 1.5'te verilmiştir.

Ölçüm yapılan nokta ile patlayıcı merkezi arasındaki mesafe	$R = 0,90 \text{ m}$
Ölçeklenmiş mesafe	$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}}$
Patlayıcı ağırlığı	$W = 0,290 \text{ kg}$
Ortam basıncı	$P_0 = 1 \text{ atm}$

Yukarıdaki veriler dikkate alınarak çözüm adımları aşağıda sırasıyla verilmekte olup her bir bağıntıya ait basınç değerleri,

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} = \frac{0,90}{\sqrt[3]{0,290}} = 1,349 \text{ mkg}^{-1/3}$$

Brode,

$$P_{so} = \frac{0,975}{Z} + \frac{1,455}{Z^2} + \frac{5,85}{Z^3} - 0,019 = \frac{0,975}{1,349} + \frac{1,455}{1,349^2} + \frac{5,85}{1,349^3} - 0,019 = 388,63 \text{ kPa}$$

Henrych,

$$P_{so} = \frac{0,662}{Z} + \frac{4,05}{Z^2} + \frac{3,288}{Z^3} = \frac{0,662}{1,349} + \frac{4,05}{1,349^2} + \frac{3,288}{1,349^3} = 405,56 \text{ kPa}$$

Kingery ve Bulmash denklem sabitlerine ait değerler Tablo 1.5'te verilmiştir. Aşağıdaki denklemde ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak değerler tablodan direk alınarak formülde yerine yazılmıştır.

$$\begin{aligned} \Delta P_f &= \text{Exp} \left[A + B \ln Z + C (\ln Z)^2 + D (\ln Z)^3 + E (\ln Z)^4 \right] \\ &= \text{Exp} \left[7,1206 - 2,1069 \ln(1,349) - 0,3229 \ln(1,349)^2 + 0,1117 \ln(1,349)^3 + 0,0685 \ln(1,349)^4 \right] \end{aligned}$$

$\Delta P_f = 641,93 \text{ kPa}$ olarak elde edilmiştir.

Kinney ve Graham,

$$P_{so} = 100 \times \frac{808 \left[1 + \left(\frac{1,349}{4,5} \right)^2 \right]}{\left\{ \left[1 + \left(\frac{1,349}{0,048} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{1,349}{0,32} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{1,349}{1,35} \right)^2 \right] \right\}^{0,5}} = 518,03 \text{ kPa}$$

Mills,

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} = \frac{1772}{1,349^3} - \frac{114}{1,349^2} + \frac{108}{1,349} = 739,23 \text{ kPa}$$

Sadovskiy,

$$\Delta P_f = \frac{0,085}{Z} + \frac{0,3}{Z^2} + \frac{0,8}{Z^3} = \frac{0,085}{1,349} + \frac{0,3}{1,349^2} + \frac{0,8}{1,349^3} = 553,74 \text{ kPa}$$

Tablo 2.3 1 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri (kPa)

TNT Miktarı (gr)	Z (m/kg ^{1/3})	Autodyn	Brode	Henrych	Kingery- Bulmash	Kinney- Graham	Mills	Sadovskiy	UFC 3-340-02
40	2,844	221,90	75,81	87,643	129,56	92,71	100,91	101,76	140
150	1,863	449,55	182,8	203,07	326,30	245,36	299,17	256	350
290	1,349	553,80	388,63	405,56	641,93	518,03	739,23	553,74	600

Tablo 2.4 2 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri (kPa)

TNT Miktarı (gr)	Z (m/kg ^{1/3})	Autodyn	Brode	Henrych	Kingery- Bulmash	Kinney- Graham	Mills	Sadovskiy	UFC 3-340-02
40	3,625	143,81	48,30	55,97	78,50	54,83	58,29	63,05	60
150	2,390	185,49	107	122,69	172,97	137,56	155	146,69	150
290	1,817	257,28	193,35	213,92	323,67	260,10	320,3	271	300

Tablo 2.5 5 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri (kPa)

TNT Miktarı (gr)	Z (m/kg ^{1/3})	Autodyn	Brode	Henrych	Kingery- Bulmash	Kinney- Graham	Mills	Sadovskiy	UFC 3-340-02
40	2,476	178,33	99,75	114,46	159,89	152,85	141,46	135,97	125
150	1,625	328,67	249,70	270,90	419	337,62	436,62	352,61	400
290	1,28	482	442	455,31	798	583,66	859,75	630	450

Tablo 2.6 6 numaralı ölçüm noktası için basınç değerleri (kPa)

TNT Miktarı (gr)	Z (m/kg ^{1/3})	Autodyn	Brode	Henrych	Kingery- Bulmash	Kinney- Graham	Mills	Sadovskiy	UFC 3-340-02
40	2,047	341,63	148,66	167,33	239,92	196,97	232,14	206,39	190
150	1,317	867,22	412,11	427,71	740,64	547,13	792,01	587,72	650
290	1,049	1590,7	730	715,99	1117,76	909,07	1534,46	1046,71	1500

Tablolar incelendiğinde, ölçeklenmiş mesafe azaldıkça sonlu eleman analiz programı ile ampirik bağıntılar ve UFC-3-340-02'ye ait ilgili abaktan okunan değerler ile elde edilen sonuçların birbirlerine yakınlaştığı görülmektedir.

Tablo 2.3'te 1 numaralı ölçüm noktasına ait değerlere incelendiğinde 290gr TNT kullanımında elde edilen sonuçlarda minimum farkın Autodyn ve Sadovsky arasında %0,011, UFC-3-340-02'ye ait abak ile arasındaki farkın ise %7,7 değerinde olduğu görülmektedir. Ampirik bağıntılar ve Autodyn programı arasındaki ikinci en küçük farkın ise yine 290gr TNT kullanılarak yapılan patlama analizi sonucu 1 numaralı ölçüm noktasından okunan değerlerden Kinney-Graham ile elde edilen sonuca ait ve %6,15 oranında olduğu belirlenmiştir. Maksimum farkın ise 40gr TNT kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda Brode ile %66 oranında olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 2.4 incelendiğinde, ölçeklenmiş mesafe küçüldükçe en yakın sonuçları yine Kinney-Graham ve Sadovsky'e ait ampirik bağıntılardan elde edilmiştir. 290gr TNT kullanılarak yapılan ölçümlerde Kinney-Graham ile Autodyn arasında %0,76, Sadovsky ve Autodyn arasında ise %4,79 oranında fark olduğu sonucuna varılmıştır. UFC 3-340-02'de yer alan abak ile Autodyn patlatma analizlerinden elde edilen sonuçlar kıyaslandığında ise

en küçük fark %14 oranında 290gr TNT kullanıldığında, en büyük fark ise 40gr TNT kullanımında %58 olarak belirlenmiştir.

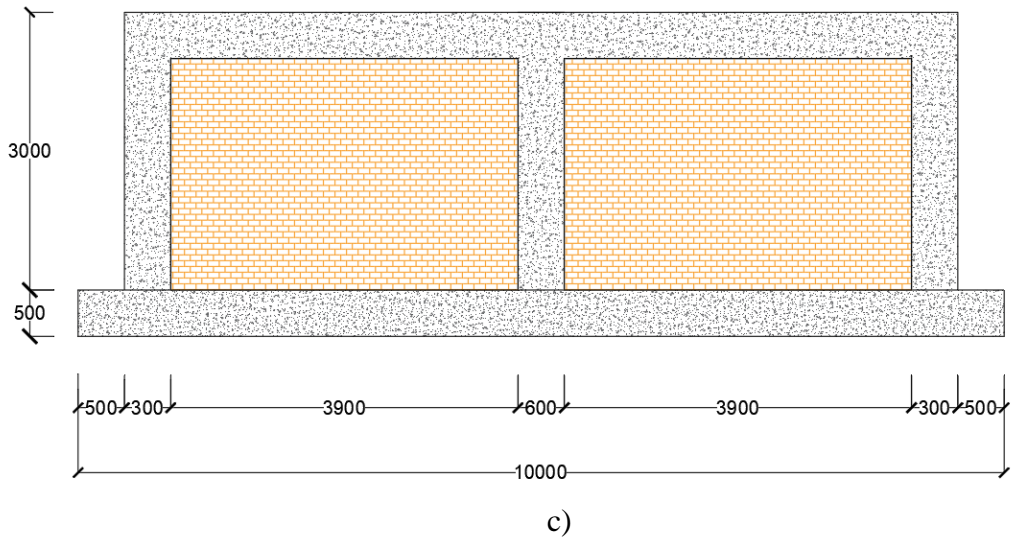
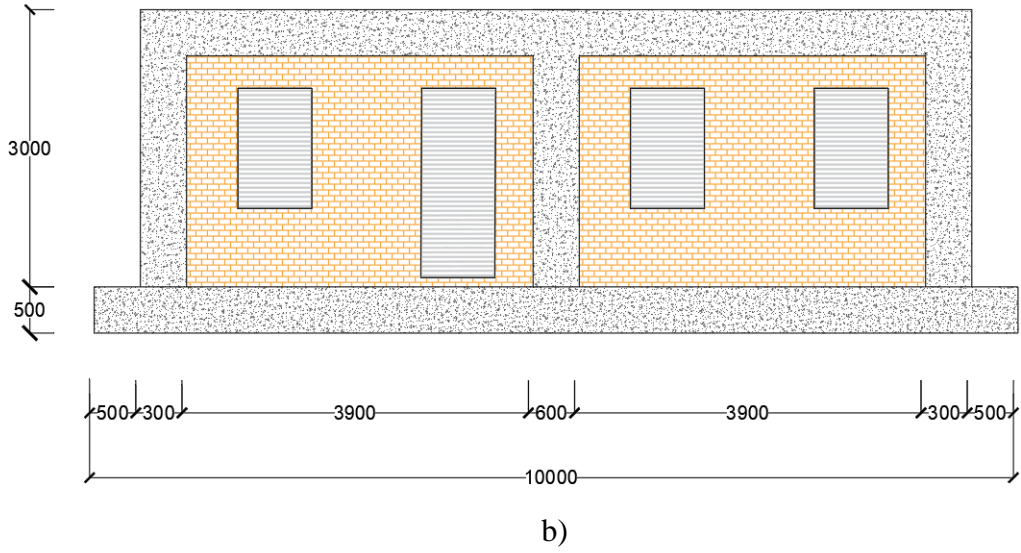
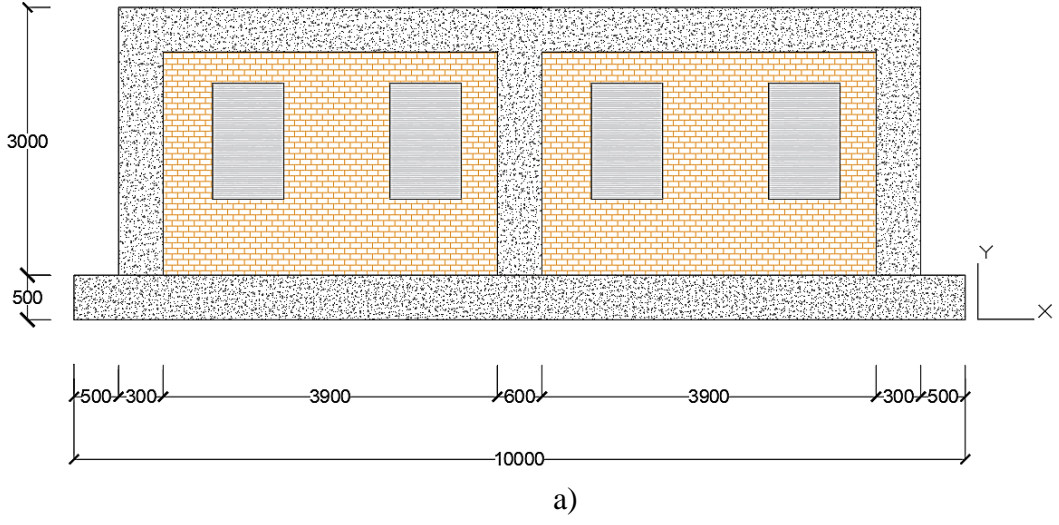
Tablo 2.5 incelendiğinde, sırasıyla en yakın sonuçlar 150gr TNT kullanımında Autodyn ve Kinney-Graham arasında %2,37 oranında, ikinci en yakın sonuç ise yine 150gr TNT kullanımı sonucu Autodyn ve Sadovsky arasında %6,82 olarak elde edilmiştir. UFC 3-340-02 ile Autodyn arasında en yakın sonuç 290gr TNT kullanımı ile %6,25 ve en büyük farkın ise 40gr TNT kullanımı sonucu %29,77 olarak elde edilmiştir.

Tablo 2.6 incelendiğinde en küçük farkın diğer 3 tablodaki verilerden farklı olarak Mills ve Autodyn arasında 290gr TNT kullanıldığında, %3,46 oranında olduğu belirlenmiştir. İkinci en yakın oran ise yine Mills ve Autodyn ile 150gr TNT kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda %8,65 oranında olduğu belirlenmiştir. UFC 3-340-02 ile Autodyn arasında en yakın sonuç 290gr TNT kullanıldığında %5,66, en büyük fark ise 40gr TNT ile yapılan çalışma sonucunda %44 olarak elde edilmiştir.

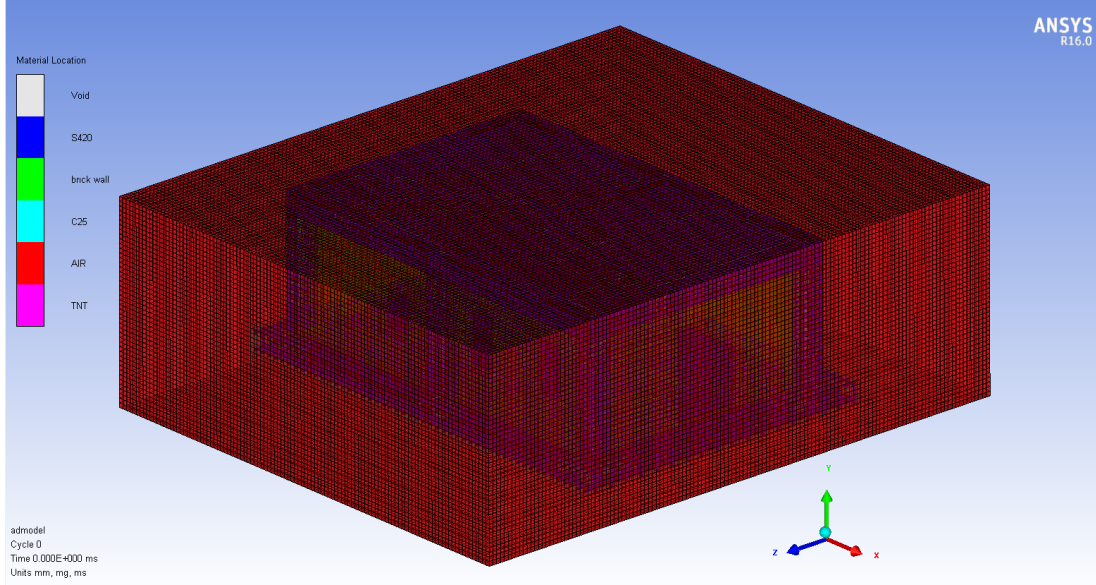
2.3.3. Betonarme Yapı Modellerinin Sonlu Eleman Modellenmesi

Tez çalışması kapsamında, kazara ya da terör olayları neticesinde değişken ağırlıkta TNT türü patlayıcı etkisinde patlama yüklerine maruz betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binaların dinamik karakteristikleri ile yapısal davranışlarında meydana gelen değişimlerin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Karşılaştırma parametresi olarak basınç, yerdeğiştirme, absorbe edilen toplam enerji miktarları ile hasar seviyeleri kullanılmıştır. Bu hedef doğrultusunda iki adet tek katlı iki açıklıklı binanın farklı patlama senaryolarına maruz kalması düşünülerek ANSYS Workbench'te sistemin modellenmesi yapılmıştır. Her iki yapı da tek katlı, iki açıklıklı süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esasları temel alınarak depreme dayanıklı olarak tasarlanmıştır. İlk modelde yapıya ait tüm duvarlarda basıncın kolaylıkla yapı bünyesine girip dışarı sızabileceği kısmi boşluklar oluşturulmuş, ikinci modelde ise yapının arka cephe duvarlarının tamamı kapalı olarak dikkate alınıp basınç değişimlerini gözlemlemek hedeflenmiştir. Modellere ait iki boyutlu çizimler Şekil 2.12'de verilmektedir. Yapı modellenirken önce ANSYS Workbench v16.0 sonlu eleman programında Explicit Dynamics (açık dinamik analiz) seçilerek Lagrange katı modeli oluşturulmuş, daha sonra ANSYS Autodyn programına aktarılarak burada Euler modeli (hava, TNT) oluşturularak devamında patlama analizleri yapılmıştır.

Yapı uzunluğu (X doğrultusunda) 9000mm, genişliği (Z doğrultusunda) 6200mm, yüksekliği 3000mm, temel derinliği ve ampatmanları 500mm olarak belirlenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) dikdörtgen kesitli kolonlar için en küçük enkesit boyutu 300mm, kiriş derinliğinin döşeme kalınlığının en az 3 katı ve genişliğinin en az 250mm şartını sağlaması gerektiğinden ötürü sırasıyla bu çalışmada kolon kesiti 600×300mm, kiriş kesiti 500×300mm, döşeme kalınlığı 120mm olarak seçilmiştir. Kolon asal donatıları 6Ø20, kesme donatıları sıklaştırma bölgelerinde 10Ø8/100mm kolon orta bölgesinde Ø8/195mm, kiriş asal donatıları 6Ø16, kesme donatıları sıklaştırma bölgesi boyunca 10Ø8/100mm orta bölgelerinde ise Ø8/200mm ara ile, döşemeler uzun kenar doğrultusunda (X doğrultusu) Ø20/200mm ve kısa kenar doğrultusunda (Z doğrultusu) Ø20/200mm ara ile donatı dizilimi yapılmıştır. Yapı temel altından zemine ankastre mesnetlenmiştir. Tüm bu işlem adımlarından sonra yapı modelleri patlama analizlerinin gerçekleştirilmesi için ANSYS Autodyn programına aktarılmıştır. Burada patlamanın yapı üzerindeki etkilerinin homojen dağılımının gözlenebilmesi için belirli bir hava hacmi oluşturulup yapı modelleri, hava hacminin tam merkezine simetrik olacak şekilde oturtulmuştur. Patlamanın merkezinin yapıya 0,5m mesafede gerçekleştiği durumlar için oluşturulan hava hacmi x, y ve z doğrultularında sırasıyla 11×4,5×13,2m, olarak belirlenmiştir. Daha sonra Euler modele ait her bir patlayıcı ağırlığı (5, 10, 25, 50, 100, 200kg) için trinitrotoluen (TNT) hava hacminin içine oturacak şekilde gerçekleştirilen analizlerde kullanılacak ağırlıklara bağlı olarak değişen boyutlarda hacimsel olarak tanımlanmış ve merkezine noktasal olarak ateşleyici yerleştirilmiştir. Euler modele ait (hava, TNT) her birim sayısal ayrıklaştırma yöntemi (mesh) ile 100mm'lik sonlu eleman parçalarına bölünmüştür. Sonlu eleman modeline ait görsel Şekil 2.13'te verilmektedir.



Şekil 2.12. Modellere ait 2D görüntüler a) her iki model ön cephe b) Model 1 arka cephe c) Model 2 arka cephe (ölçüler, mm)



Şekil 2.13. Sayısal ayrıklaştırma (mesh) yöntemi ile sonlu elemanlara ayrıştırmış model

2.3.3.1. Yapı Elemanlarının Malzeme Modellemesi

Malzeme özellikleri belirlenirken, patlama olaylarında milisaniyeler içinde gerçekleşen aşırı yüklemeleri ölçebilecek düzeyde olmasına imkân sağlamalarına dikkat edilir. Bu husus dikkate alınarak beton malzemenin dayanımı için RHT (Riedel-Hiermaier-Thoma) modeli seçilmiştir. Bu beton modeli, impulsif yüklemelere maruz kalan numuneler üzerinde deneysel olarak test edilmiş ve patlama esnasında beton malzeme davranışının yeterli bir biçimde yansıttığı yapılan çalışmalar neticesinde tespit edilmiştir. Durum denklemi için ise P-alfa denkleminden yararlanılarak modelleme yapılmıştır. Bu durum denklemini kullanmanın avantajı, yüksek basınç altında termodinamik davranışı iyi bir biçimde yansıtabilmesi, aynı zamanda düşük basınç aralıklarında sıkıştırma davranışının müspet düzeyde tanımlanabilmesine imkân sağlamasıdır. Gözenekli yapıya sahip malzemelerde başlangıç koşullarındaki iç enerjinin, aynı basınç ve sıcaklıkta boşluksuz yapıya sahip katı malzemeler ile eşdeğer özellikleri yansıttığı kabul edilmektedir. Tam sıkıştırılmış boşluksuz katı malzemenin durum denklemini polinom fonksiyon şeklinde ifade etmek gerekirse,

$$p(\rho, e) = \begin{cases} (B_0 + B_1\mu)\rho_0e + A_1\mu + A_2\mu^2 + A_3\mu^3; p \geq 0 \\ B_0\rho_0e + T_1\mu + T_2\mu^2; p < 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada A_i , B_i ve T_i katsayıları ifade etmektedir. ρ_0 başlangıç koşullarındaki hacmi ve μ hacimdeki değişime bağlı olarak ifade edilen katsayı olup Denklem 2.7 de belirtildiği gibi

$$\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1 \quad (2.7)$$

ifade edilmektedir. Gözenekli yapıya sahip malzemede ise durum denkleminde ρ yerine yeni bir değişken olan $\alpha\rho_p$ yazıldığında aşağıda verilen Denklem 2.8'deki hali almaktadır.

$$p(\rho_p, e, \alpha) = \begin{cases} (B_0 + B_1\bar{\mu})\rho_0 e + A_1\bar{\mu}^2 + A_3\bar{\mu}^3; p \geq 0 \\ B_0\rho_0 e + T_1\bar{\mu} + T_2\bar{\mu}^2; p < 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

Bu durumda hacimdeki değişime bağlı olarak ifade edilen $\bar{\mu}$ katsayısı Denklem 2.9'daki gibi hesaplanabilir.

$$\bar{\mu} = \frac{\alpha\rho_p}{\rho_0} - 1 \quad (2.9)$$

Burada α porozite (gözeneklilik), ρ_p ise gözenekli malzemenin yoğunluğunu ifade etmektedir. RHT dayanım modeli, plastisite ve kayma gerilmesi modelinin Denklem 2.10 ile açıklanan deviatorik gerilmenin ara yüzey kırılmalarının sınırlandırılmasına bağlı olarak Denklem 2.11 ve 2.12'deki gibi ifade edilmektedir.

$$Y = \sqrt{3J_2} \quad (2.10)$$

$$Y_{\text{kırılma}}(\mathbf{p}^*, \theta, \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}) = Y_{\text{TXC}}(\mathbf{p}^*) R_3(\theta) F_{\text{oran}} \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} \quad (2.11)$$

$$Y_{\text{TXC}}(\mathbf{p}^*) = f_c' \left[A \left(\mathbf{p}^* - p_{\text{parçacık}}^* F_{\text{oran}} \left(\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} \right) \right)^N \right] \quad (2.12)$$

Burada \hat{f}_c , tek eksenli basınç gerilmesini, A ve N ise malzeme sabitlerini, p hidrostatik basıncı, p^* ise normalize edilmiş basıncı temsil etmektedir. f'_c , tek eksenli basınç gerilmesine bağlı olarak Denklem 2.13'teki gibi ifade edilmektedir.

$$p^* = p / f'_c \quad (2.13)$$

$p_{parçacık}^*$, tek eksenli basınç ve tek eksenli çekme gerilmelerinin (f_t) oranına bağlı olarak Denklem 2.14'teki gibi ifade edilmektedir.

$$p_{parçacık}^* = f_t / f'_c \quad (2.14)$$

F_{oran} dinamik artım faktörünü, şekildeğiştirme oranına bağlı olarak temsil eden bir fonksiyonudur. $R_3(\theta)$ yüzeyde meydana gelen kırılmayı azaltma faktörüdür ve hidrostatik eksendeki (θ) dönme açısına bağlı olarak Denklem 2.15'teki gibi ifade edilmektedir.

$$R_3(\theta, Q_2) = \frac{2(1 - Q_2^2) \cos \theta + (2Q_2 - 1) \sqrt{4(1 - Q_2^2) \cos^2 \theta + 5Q_2^2 - 4Q_2}}{4(1 - Q_2^2) \cos^2 \theta + (1 - 2Q_2)^2} \quad (2.15)$$

Denklemde Q_2 , gevreklikten süneklığe geçiş oranını ifade etmektedir.

$$0.5 < Q_2 = Q_{2.0} + B_Q p^* \leq 1 \quad (2.16)$$

$$\cos 3\theta = \frac{3\sqrt{3}J_3}{2(J_2)^{3/2}} \quad (2.17)$$

Denklem 2.16 da verilen $Q_{2.0}$, gevreklikten süneklığe geçiş oranının referans değeri, B_Q kırılma yüzeyinde artan basıncın, basınç eğrisinin üçgen formundan dairesel forma geçişi yani gevrek davranıştan sünek davranışa geçiş parametresidir. J_2 ve J_3 deviatorik gerilme tansörünün ikinci ve üçüncü invariantlarıdır. Şekil değıştirme oranını, plastik gerilme ile kırılma direncindeki artışa bağlı olarak,

$$F_{\text{oran}} = \left\{ 1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} \right)^\alpha, \dot{\varepsilon}_0 = 30E^{-6}s^{-1}, p \geq \frac{1}{3}f'_c \right. \quad (2.18)$$

$$F_{\text{oran}} = \left\{ 1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0} \right)^\delta, \dot{\varepsilon}_0 = 30E^{-6}s^{-1}, p < \frac{1}{3}f'_t \right. \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklemlerdeki α ve δ , sırasıyla basınç ve çekme şekildeğiştirme oranı faktörleridir. Eleman yüzeyinin elastik limitinden kırılma limitine geçişi,

$$Y_{\text{elastik}} = Y_{\text{kırılma}} \frac{F_{\text{elastik}}}{F_{\text{cap}}} \quad (2.20)$$

$$F_{\text{elastik}} = \begin{cases} \frac{f_{t,el}}{f'_t}, p < \frac{f_{t,el}}{3f'_t} \\ \frac{f_{c,el}}{f'_c}, p > \frac{f_{c,el}}{3f'_c} \end{cases} \quad (2.21)$$

$$F_{\text{elastik}} = \begin{cases} \frac{f_{t,el}}{f'_t}, p < \frac{f_{t,el}}{3f'_t} \\ \frac{f_{c,el}}{f'_c}, p > \frac{f_{c,el}}{3f'_c} \end{cases} \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edilmektedir. F_{elastik} , eleman kırılma yüzeyindeki dayanımın elastik gerilmeye oranı olup, elastik gerilmenin tek eksenli basınç ve tek eksenli çekme gerilmesine oranlarından elde edilir. Hasarın, makaslamaya bağlı kırılmadan dolayı elastik olmayan şekildeğiştirmeye bağlı olarak denklemini yazıldığında,

$$D = \sum \frac{\Delta \varepsilon_{\text{eq}}^{\text{pl}}}{\varepsilon_{\text{eq}}^{\text{pl,kırılma}}(p^*)} \quad (2.23)$$

$$\varepsilon_{\text{eq}}^{\text{pl,kırılma}}(p^*) = D_1 (p^* - p_{\text{parçacık}}^*)^{D_2} \geq e_{\text{min}}^{\text{kırılma}} \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklemlerdeki D_1 ve D_2 , basıncın bir fonksiyonu olarak kırılma etkisini tanımlamak için kullanılan malzeme sabitleridir. ANSYS Workbench malzeme kütüphanesinde tüm bu malzeme parametreleri kullanılan malzeme türlerine özel olarak tanımlanmış halde mevcuttur. Fakat analizler yapılırken beton, çelik donatı ve tuğla malzemeleri için değişen elastisite modüllerine bağlı olarak kayma modülü, hacimsel

genleşme modülü, temel basınç ve çekme gerilme değer ve oranları ilgili yönetmeliklerden faydalanılarak hesaplanmış ve malzeme kütüphanesine revize edilerek girilmiştir.

Analizlerde kullanılan beton malzeme sınıfları için kullanılan dayanım model ve parametreleri sırasıyla Tablo 2.7’de verilmektedir.

Tablo 2.7 Beton malzeme modeli parametreleri

Beton Malzeme Sınıfı	Durum Denklemi	Dayanım Modeli	Hacimsel Genleşme Modülü K (MPa)	Kayma Modülü G (MPa)
C 25			1.67×10^4	1.25×10^4
C 30			1.78×10^4	1.33×10^4
C 35	P-alpha	RHT (Riedel-Hiermaier- Thoma)	1.94×10^4	1.46×10^4
C 40			2.22×10^4	1.67×10^4
C 45			2.50×10^4	1.88×10^4
C 50			2.78×10^4	2.08×10^4

Tablo 2.7’de belirtilen G; burulma diyagramında elastik bölgede kayma gerilmesinin kayma birim şekildeğiştirmesine oranı olarak tanımlanan kayma modülüdür ve Denklem 2.25’teki gibi hesaplanmaktadır.

$$G = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (2.25)$$

Burada E_c beton malzemenin elastisite oranını ve ν poisson oranını ifade etmektedir. Tüm beton malzemelerde poisson oranı 0.2, birim hacim ağırlığı 2.40 g/cm^3 olarak alınmıştır. Tablo 2.8’de analizlerde kullanılan altı farklı beton sınıfına ait malzeme mekanik özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.8 Beton malzeme mekanik özellikleri

Beton Malzeme Sınıfı	Basınç Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
C 25	25	1.8	30×10^4
C 30	30	1.9	32×10^4
C 35	35	2.1	33×10^4

Tablo 2.8'in devamı

C 40	40	2.2	34×10^4
C 45	45	2.3	36×10^4
C 50	50	2.5	37×10^4

Donatı modellenirken malzeme, lineer elastik, izotropik ve pekleşme özelliklerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Şekildeğiştirme oranı termal yumuşamadan kaynaklı plastisitesine bağlıdır. Dolayısıyla elastik tepki, doğrusal sınırlarda geçerli durum denklemi için kullanılabilir olmaktadır. Herhangi bir hidrostatik yük uygulandığında meydana gelen hidrostatik gerilmenin hacimsel şekil değıştirme oranına, hacimsel genişleme modülü denilmektedir. Burada basınç seviyesi hacimsel genişleme modülü ve sıkıştırma için gerekli yoğunluğunun fonksiyonuna bağlıdır. Hacimsel genişleme modülü,

$$K = \frac{E_s}{3(1-2\nu)} \quad (2.26)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada E_s , çelik malzeme için elastisite modülü, ν ise poisson oranıdır. Donatının pekleşmesi ise, plastik gerilmenin herhangi bir aşamasında elemanın deformasyona devam etmesi için gerekli gerilme artışını ifade etmektedir. Düşük karbonlu yani sünek çelik elamanlarda pekleşme oranı 0.20-0.30 arasında bir değere sahiptir. Donatı için tüm bu özellikler dikkate alındığında Johnson-Cook malzeme dayanım modelinin patlama etkisinde daha doğru sonuçlar verdiği gözlemlenmiş ve bu çalışma kapsamında tüm donatı malzeme modellerinde kullanılmıştır. Bu doğrultuda donatı akma gerilmesi,

$$Y = \left[\sigma_0 + B_s (\varepsilon^p)^{ns} \right] \left[1 + C_s \log \dot{\varepsilon}_p^* \right] \left[1 - T_H^{ms} \right] \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilir. Burada σ_0 , başlangıç akma gerilmesi, ε^p plastik şekildeğiştirme, $\dot{\varepsilon}_p^*$ plastik şekildeğiştirme oranı, B_s ve ns pekleşme oranına ait sabitler, C_s ve ms malzeme sabitleri ve T_H eşdeğer sıcaklıktır ve

$$T_H = \frac{T - T_{oda}}{T_{erime} - T_{oda}} \quad (2.28)$$

şeklinde ifade edilir. T malzeme sıcaklığı, T_{erime} erime sıcaklığı ve T_{oda} oda sıcaklığıdır. ANSYS Workbench malzeme kütüphanesinde dinamik analizler için tanımlanan malzemeler bölümünden Steel 4340 seçilerek tüm bu tanımlanan özelliklerin otomatik olarak tanımlanması sağlanmıştır. Fakat yapı çeliği için birim hacim ağırlığı, elastisite modülü, poisson oranı ve bu oranlara bağlı olarak değişen hacimsel genişleme, kayma modülü revize edilmiştir. Çelik donatı malzemesine ait malzeme model parametreleri Tablo 2.9’da verilmektedir.

Tablo 2.9 Çelik malzeme modeli parametreleri

Çelik Malzeme Sınıfı	Durum Denklemi	Dayanım Modeli	Hacimsel Genleşme Modülü K (MPa)	Kayma Modülü G (MPa)
S 420	Lineer	Johnson-Cook	1.67×10^5	7.69×10^4

Yapı ve patlayıcıdan oluşan tüm hacmi içine alan hava ise ideal gaz olarak modellenmiştir. Bu denklem durum denklemleri içerisinde en basit olarak ifade edilebilen denklemdir. Bilindiği üzere hava gaz halinde bir maddedir ve kendi içinde gerilmeler meydana gelmez. Dolayısıyla hava hacmi, kırılma ya da asal gerilme değişimlerinden etkilenmez sadece patlama kaynaklı oluşan gerilmelerin transferinde araç olarak hizmet eder. Bu tez çalışması kapsamında hava hacmi durum denklemi yukarıda da ifade edildiği gibi ideal gaz olarak belirlenmiştir, ayrıca hava için tanımlanmış bir dayanım modeli de bulunmamaktadır. Hava hacmi modeli için yararlanılan değerler Tablo 2.10’da verilmektedir.

Tablo 2.10 Hava hacminin malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Değer
Referans alınan yoğunluk (g/cm^3)	1.25×10^{-3}
Referans alınan ortam sıcaklığı (K)	288.20
Spesifik sıcaklık (J/kgK)	717.59
Başlangıç enerjisi (kJ/kg)	2.068×10^5

İdeal gaz durum denklemi,

$$P = (\gamma - 1) \rho E_a \quad (2.29)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada γ sabit değerdir, ρ havanın yoğunluğu ve E_a ise başlangıç enerjisidir.

Patlayıcı madde olarak ikincil patlayıcı grubunun üyesi olan ve tüm patlayıcıların eşdeğerlik bazında referans alındığı TNT kullanılmıştır. Autodyn malzeme kütüphanesinde seçim yapılırken patlayıcının durum denklemi de hızlı genişleme ve yayılma özelliklerini daha iyi yansıtan Jones-Wilkens-Lee (JWL) durum denklemi seçilmiştir. JWL durum denklemi,

$$P = A \left(1 - \frac{\omega \rho}{R_1 \rho_0} \right) e^{-R_1 \rho / \rho_0} + B \left(1 - \frac{\omega \rho}{R_2 \rho_0} \right) e^{-R_2 \rho / \rho_0} + \omega \rho E_m \quad (2.30)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada E_m , TNT'nin birim ağırlığa denk gelen spesifik iç enerjiyi, A, B, ω , R_1 ve R_2 ise patlayıcının türüne bağlı ampirik olarak elde edilmiş katsayıları ifade etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında kullanılan TNT'nin malzeme özellikleri Tablo 2.11'de verilmektedir.

Tablo 2.11 TNT malzeme özellikleri

Parametre	Değer
Yoğunluk (g/cm^3)	1.63
İnfilak Hızı (km/s)	6930
Birim Hacim Enerjisi (kJ/m^3)	6×10^6
Basınç Değeri (kPa)	2×10^7
Başlangıç Enerjisi (Mj/mg)	3.681×10^6

Sonlu eleman analizlerinde kullanılan malzemelere ait malzeme mekanik özellikleri Tablo 2.12'de verilmektedir. Tablo genel olarak kullanılan malzemelerden bahsedildiği için analizlerde kullanılan altı farklı beton sınıftan temsili olarak yalnızca C25 beton sınıfına ait mekanik özellikler belirtilmiş ve diğer malzeme grupları tüm analizlerde tek tip olarak

kullanıldığından mekanik özellikleri sabittir. Diğer beton sınıflarına ait mekanik özellikler Tablo 2.8’de verilmektedir.

Tablo 2.12 Malzeme mekanik özellikleri

Malzeme	Malzeme Sınıfı	Referans Yoğunluk (g/cm ³)	Basınç Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Beton	C25	2.40	25	1.8	3×10 ⁴
Çelik	S 420	7.83	420	420	2×10 ⁵
Tuğla	Tuğla	0.70	5	1	3.75×10 ³
Hava	Hava	1.225×10 ⁻³	-	-	-
Patlayıcı	TNT	1.63	-	-	-

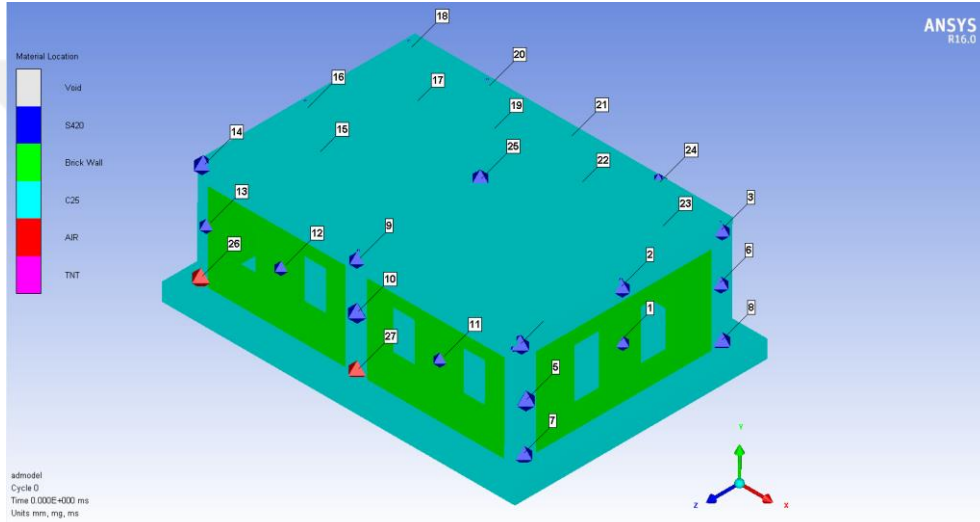
2.3.3.2. Betonarme Yapılara ait Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Betonarme yapıların patlama etkisi altındaki dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinin amaçlandığı tez çalışmasının bu kısmında yapılan sonlu eleman analizlerinin sonuçlarına yer verilmektedir. Daha önceki kısımlarda da bahsedildiği gibi iki farklı geometrik özelliğe sahip betonarme modellere değişken patlayıcı ağırlıkları ve farklı beton malzeme sınıfları kullanılarak sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Betonarme yapı modellerinde arka cephesinde kısmi açıklıklar bulunan model tez çalışmasının bu bölümünden itibaren Model 1, arka cephesi tamamen kapalı olan model ise Model 2 olarak anılacaktır.

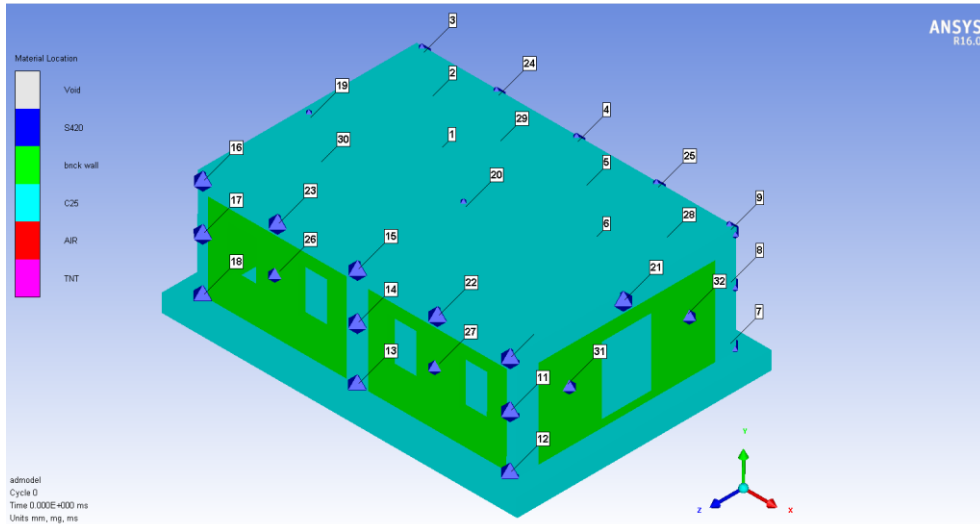
2.3.3.2.1. C25 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Patlamaya bina ön cephe zemin kotundan maruz kalan betonarme modeller üzerinde gerçekleştirilen sonlu eleman analizlerde Model 1’de 27, Model 2’de ise 32 ölçüm noktasından dinamik karakteristikteki değişimlerin okunması sağlanmış ve her iki model için sistem sırasıyla x, y, ve z koordinatlarında 110×45×132 birim olmak üzere toplam 653.400 birim sonlu eleman parçalarına ayrıştırılmıştır. Tez çalışmasının 2.3.3 numaralı bölümünde sonlu elemanlara ayrılmış yapı örneğine ait görsel Şekil 2.13’te, Model 1 ve Model 2’ye ait ölçüm alınan noktalara ait görseller sırasıyla Şekil 2.14’te verilmektedir.

Tez çalışmasının bu aşamasında beton malzeme sınıfı sabit tutulup patlayıcı ağırlıkları değiştirilerek analizler yapılmıştır. Daha sonra her bir beton malzeme için analizler tekrarlanmıştır. İlk olarak C25 beton malzeme sınıfı daha sonra sırasıyla C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıfları kullanılarak 5, 10, 25, 50, 100 ve 200kg TNT patlamasının etkisi değerlendirilmiştir. Patlamalar sonucunda basınç değerleri UFC 3-340-02 abak değerleri ve daha önceki kısımda tuğla duvar çalışmasında bahsedildiği gibi matematiksel formülasyonlardan Brode'a ait olan ampirik bağıntıdan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve farklar % cinsinden ifade edilmiştir.



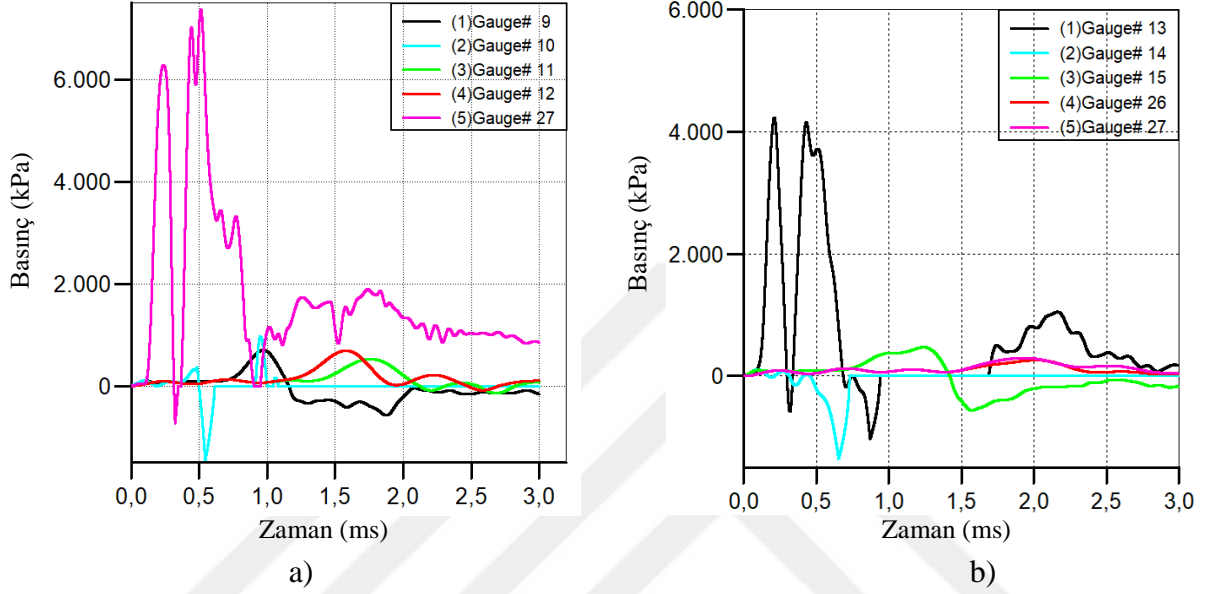
a)



b)

Şekil 2.14. Betonarme modellere ait ölçüm noktaları a) Model 1 b) Model 2

5 kg TNT ve C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.15'te verilmektedir. Burada patlayıcı modellenirken Euler yöntemi ile hava hacminin içerisinde x, y ve z koordinatlarında $3 \times 1 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Her birim ise daha önce tanımlandığı üzere sayısal ayrıklaştırma yöntemi ile 100 mm olarak belirlenmiştir.



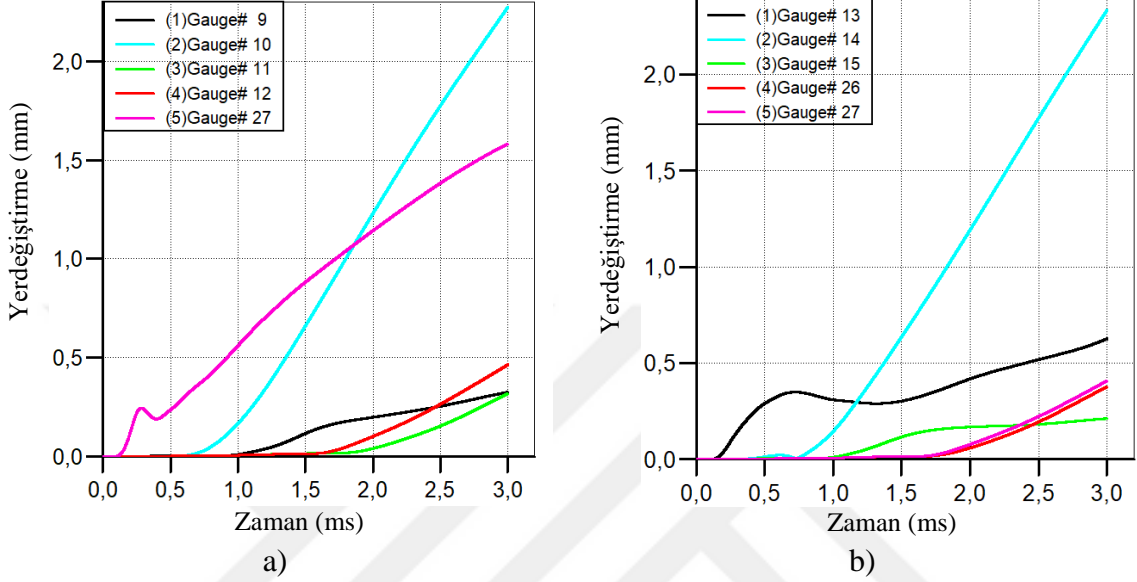
Şekil 2.15. C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

Model 1'de maksimum basıncın patlayıcı ekseninde G27 ölçüm noktasında 7.37 MPa değerine ulaştığı, kolon yüzeyindeki betonun döküldüğü, tuğla duvarların parçalandığı gözlemlenmektedir. Model 2'de diğer modelde olduğu gibi patlayıcı eksen doğrultusundaki kolon yüzeyindeki beton elemanın döküldüğü, maksimum basıncın G13 ölçüm noktasında 4.23 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

Model 1 ve Model 2'ye ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.16'da verilmektedir. Burada en büyük basınç ve yerdeğiştirmeler her iki modelde de patlayıcı ekseninde orta aks kolon alt ucunda meydana gelmiştir. Model 1'de en büyük yerdeğiştirme G27 ölçüm noktasında 2.27mm, Model 2'de ise en büyük yerdeğiştirme G13 ölçüm noktasında 2.34mm olarak elde edilmiştir.

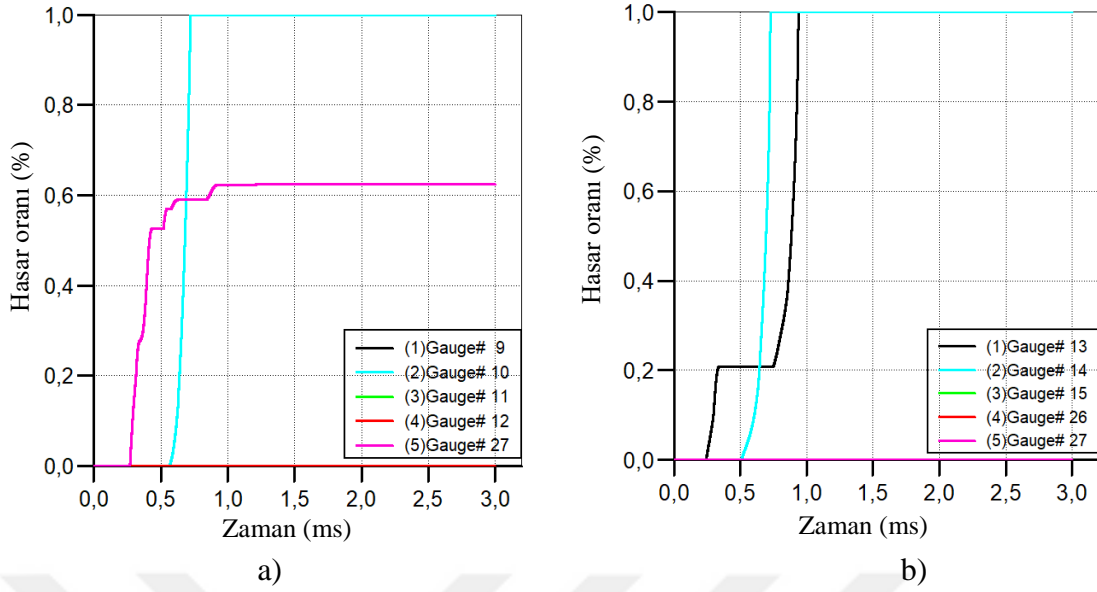
Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 5 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0.5ms'de kolon alt ucunda G27 noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, Model 2'de 0.25ms'de kolon alt ucunda G13 noktasındaki hasar oranının %20 iken 0.9ms'ye geldiğinde

hasar oranının %100'e ulaştığı grafiklerden okunmaktadır. Model 2'de kolon orta noktasında bulunan G14 numaralı ölçüm noktasında 0.72ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2'ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.17'de verilmektedir.

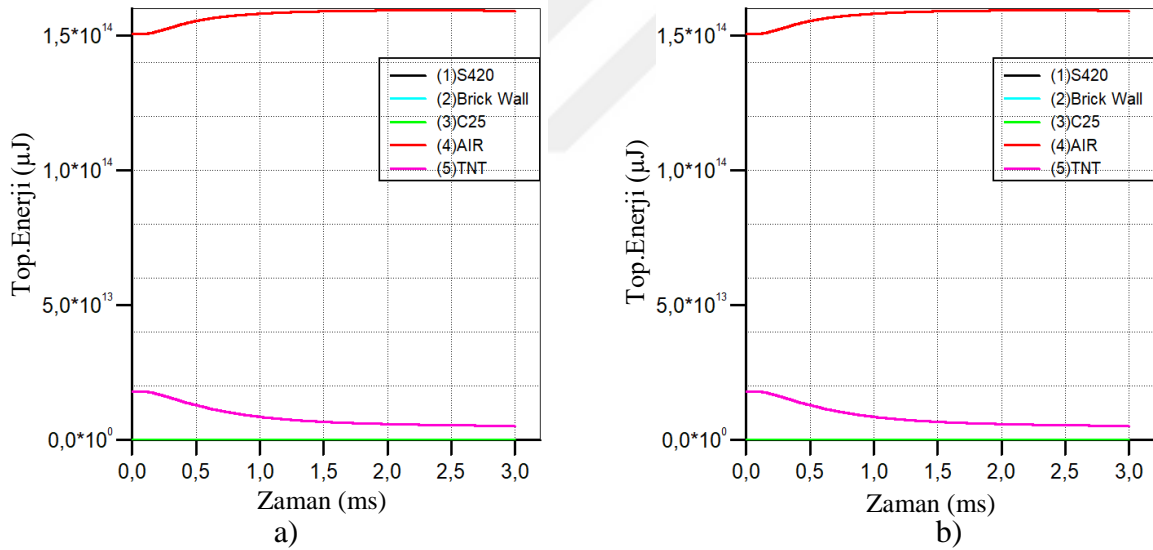


Şekil 2.16. C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Yapıya patlayıcının infilak etmesiyle birlikte ortaya çıkan TNT enerjisinin yapı elemanları ve içerisinde bulunduğu hava hacmi tarafından absorbe edilen enerjilere ait toplam enerji-zaman grafiği Şekil 2.18'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından salınan enerji 1.800×10^{13} μJ , sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C25 betonu tarafından 1.569×10^{10} μJ , donatı tarafından 2.831×10^8 , tuğla tarafından 2.682×10^9 μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise 1.593×10^{14} μJ 'dir. Salınan enerji yapı elemanları ve hava tarafından yutulan enerji miktarından daha düşük oranda olduğu tespit edilmiştir. Model 2'de TNT tarafından salınan enerji 1.800×10^{13} μJ , sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C25 betonu tarafından 1.56×10^{10} μJ , donatı tarafından 1.87×10^8 μJ , hava tarafından yutulan enerji miktarı ise 1.59×10^{14} μJ 'dir. Model 2'de de Model 1'de olduğu gibi salınan enerjinin yapı elemanları ve hava tarafından yutulan enerji miktarından daha düşük oranda olduğu tespit edilmiştir. Toplam enerji – zaman grafikleri incelenirken tabloda brick wall tuğla duvarı, air ise hava hacmini temsil etmektedir.



Şekil 2.17. C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar-zaman grafikleri

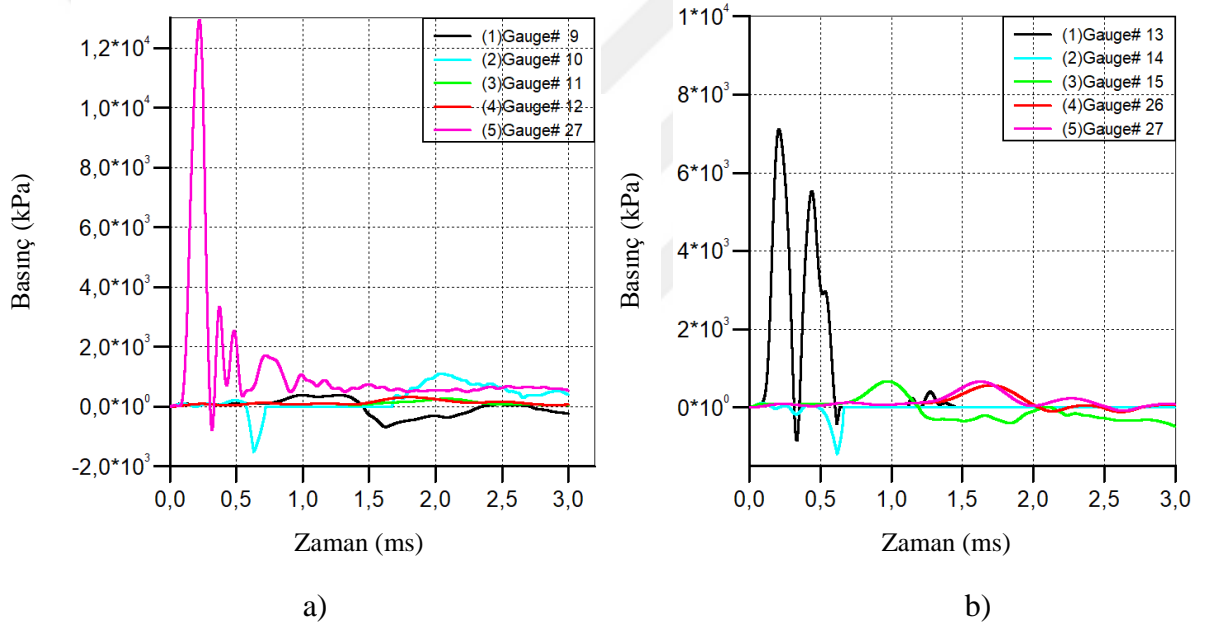


Şekil 2.18. C25 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

10 kg TNT ve C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.19'da verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla 3×2×1 br³ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 12.93 MPa değerine ulaştığı, kolon yüzeyinde ve kirişlerde ise kısmi düzeyde betonun döküldüğü, tuğla duvarların parçalandığı

gözlemlenmektedir. Model 2’de diğer modelde olduğu gibi patlayıcı eksen doğrultusundaki kolon yüzeyinde ve kirişlerde ise kısmi düzeyde beton elemanın döküldüğü, maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 7.11 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

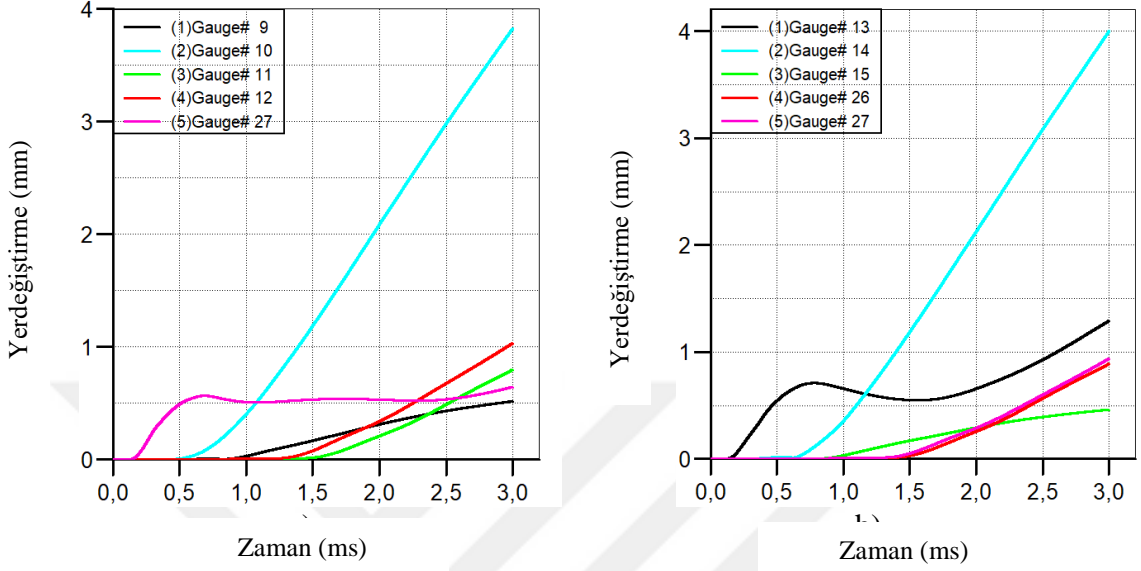
Analizler sonucunda Model 1’e ait G27 numaralı ölçüm noktasında maksimum yerdeğiştirme 3.83mm, ikinci büyük yerdeğiştirme ise yine aynı kolon üzerinde orta noktasındaki G10 ölçüm noktasında 1.03mm olarak ölçülmüştür. Model 2’ye ait maksimum yerdeğiştirmeler sırasıyla G13 ölçüm noktasında 4mm, G14 ölçüm noktasında 1.29mm olarak ölçülmüştür. C25 beton sınıfı 10 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.20’de verilmektedir.



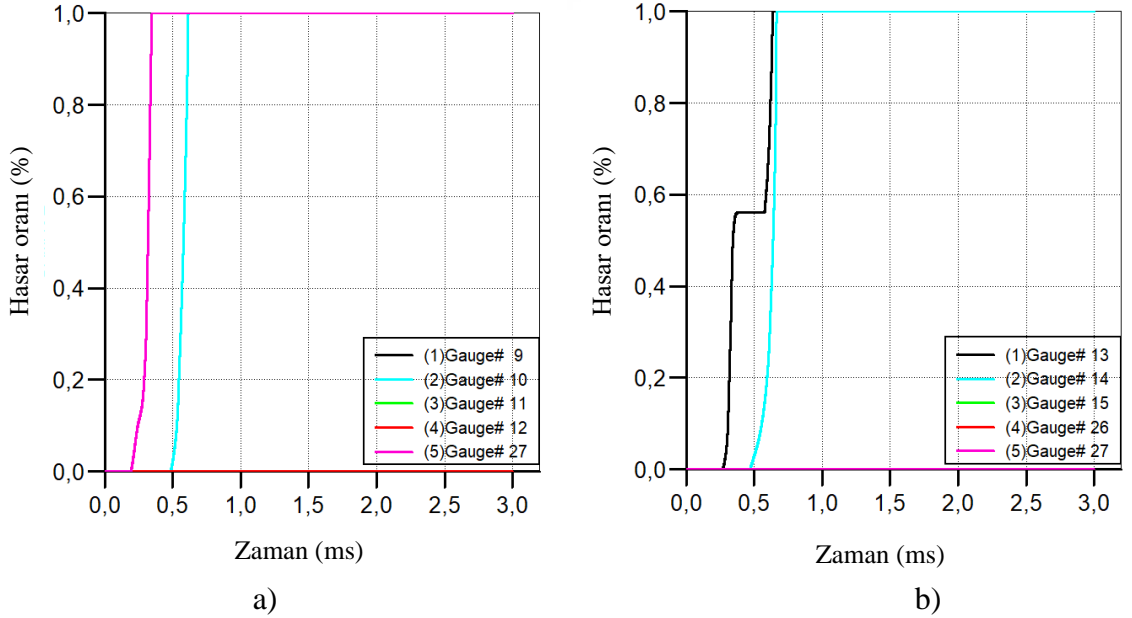
Şekil 2.19. C25 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 10 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1’de 0.35ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0.61ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0.25ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %55 iken 0.63ms’ye geldiğinde hasar oranının %100’e ulaştığı G14 numaralı ölçüm noktasında 0.66ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2’ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.21’de verilmektedir. Bir önceki analizler ile karşılaştırıldığında Model 1’in patlayıcı doğrultusunda en büyük hasarı alma süresi %30 azalarak 0.35ms olurken Model 2’de patlayıcı doğrultusunda en

büyük hasarı alma süresi diğer modelde olduğu gibi %30 azalarak 0.63ms olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.20. C25 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

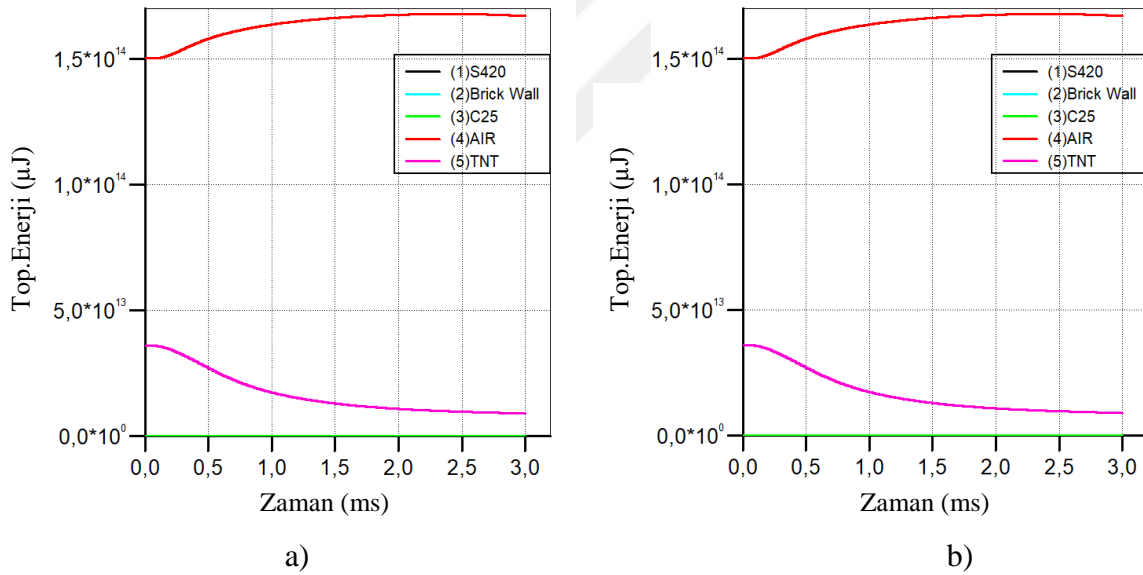


Şekil 2.21. C25 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

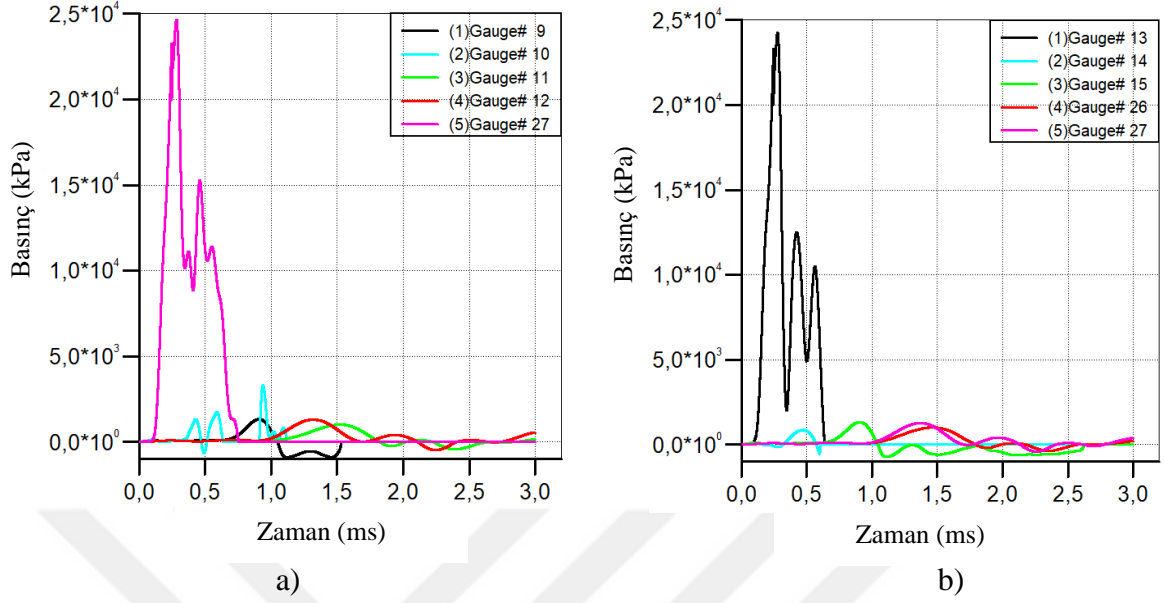
Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji 3.60×10^{13} μJ , sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C25 betonu tarafından 3.43×10^{10} μJ ,

donatı tarafından $6,567 \times 10^8$, tuğla tarafından $8,156 \times 10^9$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,681 \times 10^{14}$ μJ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,600 \times 10^{13}$ μJ , C25 betonu tarafından $3,369 \times 10^{10}$, donatı tarafından $4,904 \times 10^8$, tuğla tarafından $8,146 \times 10^9$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,679 \times 10^{14}$ μJ 'dir.

25 kg TNT ve C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.23'te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 24,24 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 24,66 MPa'ya ulaştığı görülmektedir. Çalışmada her iki modelde de kolon ve duvarın ciddi kırılma hasarlarını almasının yanı sıra, kiriş betonlarının da ciddi oranda donatıdan sıyrıldığı, duvar-kiriş birleşim bölgelerinden tuğlaların ayrıldığı gözlemlenmiştir. Model 1 ve Model 2 arasında 0.415 MPa değerinde basınç farkının oluştuğu bununda patlamanın doğası gereği bulunduğu ortamda çıkış yolu bulana kadar tekrarlı yansımalar yaparak yansıyan basınç oluşturmasıdır.



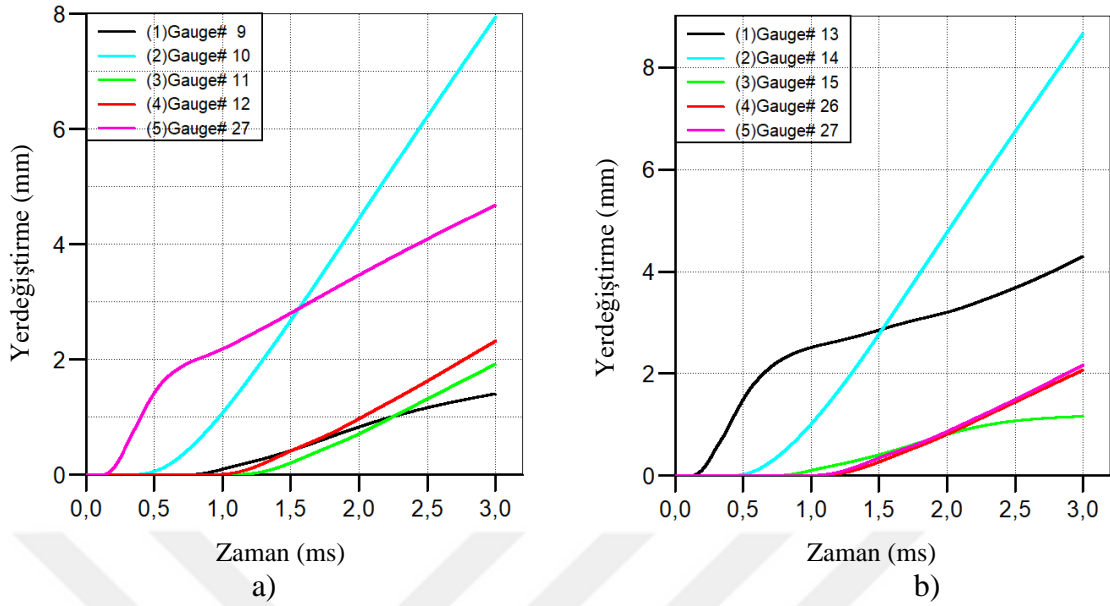
Şekil 2.22. C25 beton sınıfı 10 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



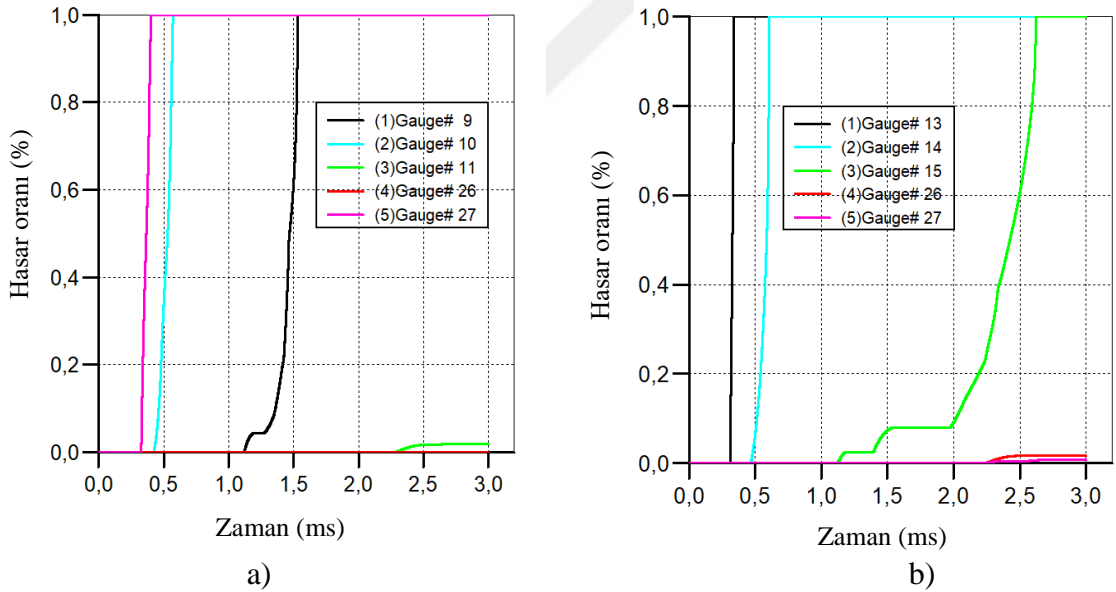
Şekil 2.23. C25 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

Analizler sonucunda Model 1'e ait kolon orta noktasındaki G10 numaralı ölçüm noktasında maksimum yerdeğiştirme 7,95 mm, ikinci büyük yerdeğiştirme ise yine aynı kolon üzerinde G27 ölçüm noktasında 4.68mm olarak ölçülmüştür. Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirmeler sırasıyla G14 ölçüm noktasında 8,67mm, G13 ölçüm noktasında 4,29mm olarak ölçülmüştür. C25 beton sınıfı 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.24'te verilmektedir.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 25 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0.39ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0.5ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0.33ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0.6ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2'ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.25'te verilmektedir. Her iki model için de patlayıcının infilak etmesinden çok kısa bir süre sonra ortalama 0,36ms içerisinde kolon alt uç noktasındaki ölçüm noktalarından okunan değerlere göre hasar oranlarının %100'e ulaştığı görülmektedir.



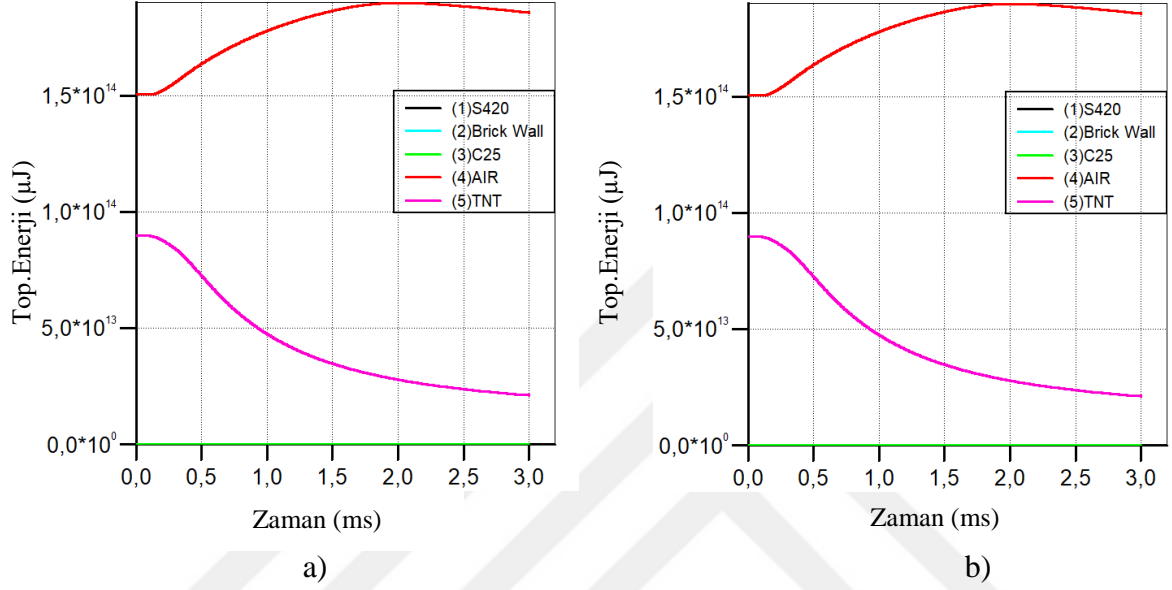
Şekil 2.24. C25 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.25. C25 beton sınıfı 25 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

25 kg TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.26'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,00 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C25 betonu tarafından $1,375 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,598 \times 10^9$, tuğla

tarafından $4,145 \times 10^{10}$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,899 \times 10^{14}$ μJ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,00 \times 10^{13}$ μJ , C25 betonu tarafından $3,37 \times 10^{11}$, donatı tarafından $2,54 \times 10^9$, tuğla tarafından $4,15 \times 10^{10}$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,89 \times 10^{14}$ μJ 'dir.

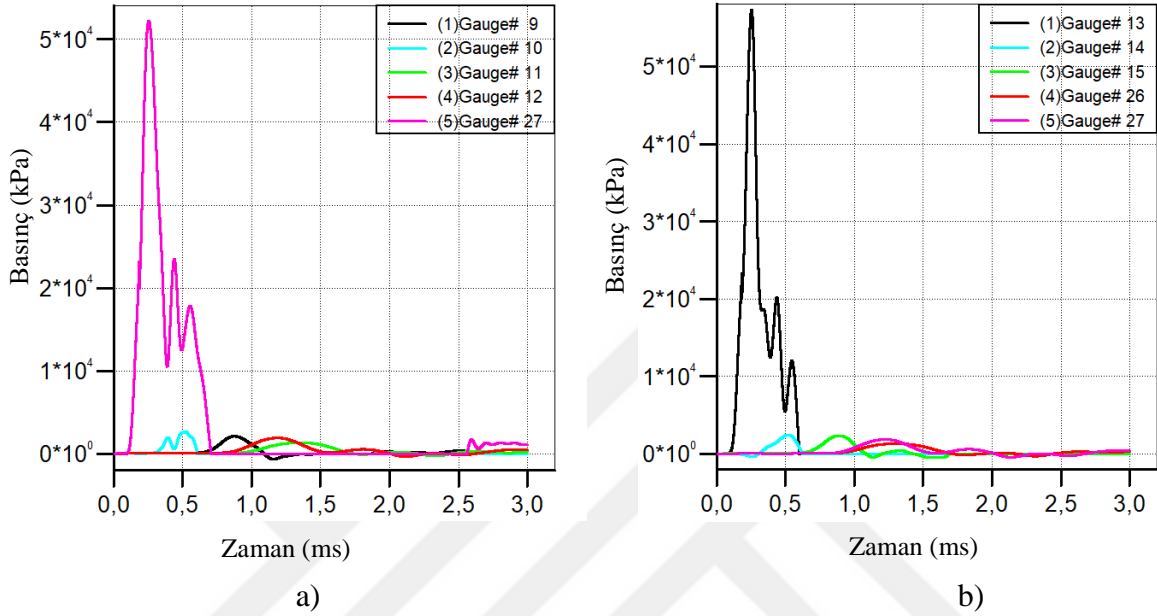


Şekil 2.26. C25 beton sınıfı 25 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

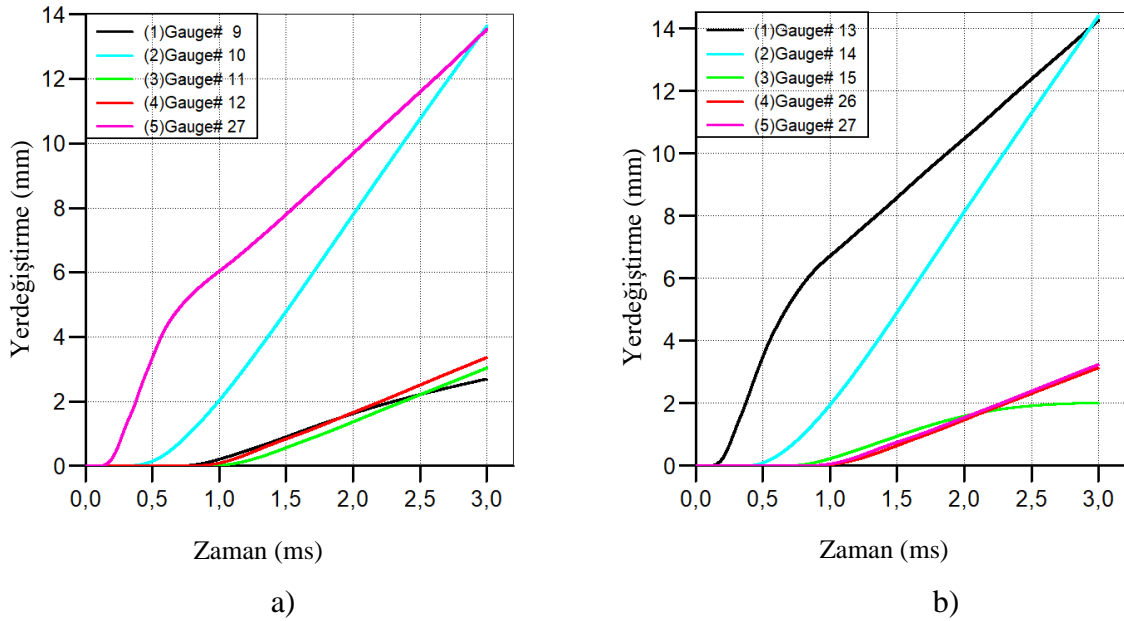
50 kg TNT ve C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.27'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 2$ br³ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 52,17 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 57,31 MPa'ya ulaştığı görülmektedir. Çalışmada her iki modelde de kolon ve duvarın ciddi kırılma hasarlarını almasının yanı sıra, kiriş betonlarının da ciddi oranda donatıdan sıyrıldığı, duvar-kiriş birleşim bölgelerinden tuğlaların ayrıldığı gözlemlenmiştir. Patlayıcı miktarının bir önceki analizin 2 katına çıkmasıyla birlikte Model 1 ve Model 2'de basınç değerlerinin sırasıyla 2,15 ve 2,32 kat arttığı görülmektedir.

C25 beton sınıfı 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.28'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmenin patlayıcı eksenindeki kolon alt ucunda olan G27 ölçüm noktasında, ikinci büyük yerdeğiştirmenin ise kolon orta noktası olan G10 ölçüm noktasından sırasıyla 13.64

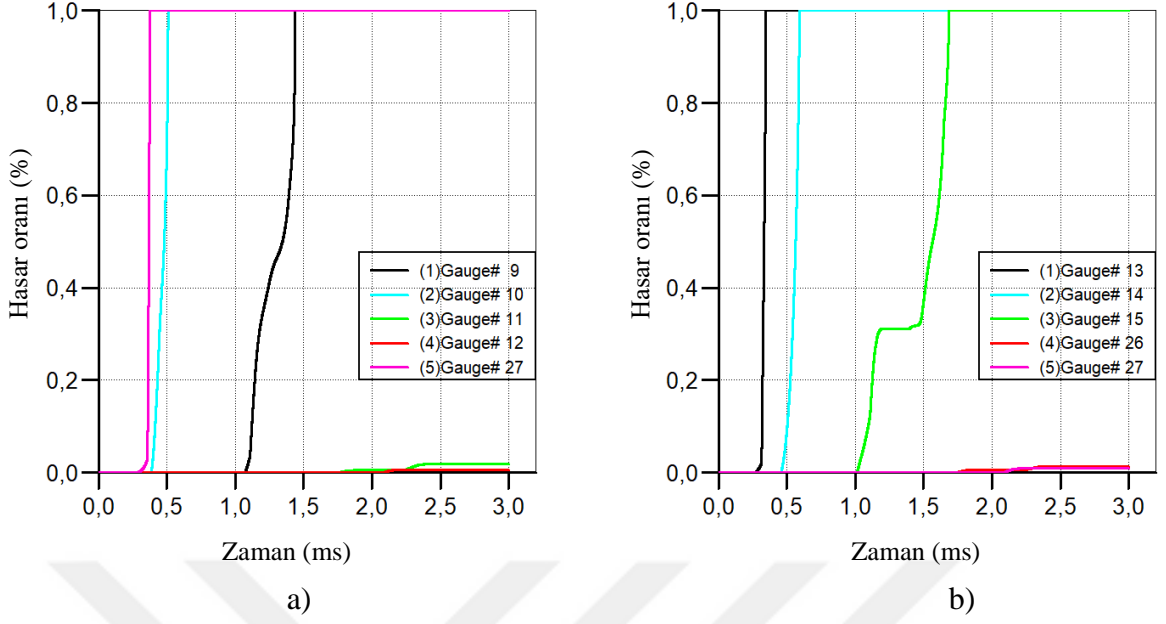
ve 13,55mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 14,41 ve 14,27mm olarak okunmuştur.



Şekil 2.27. C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



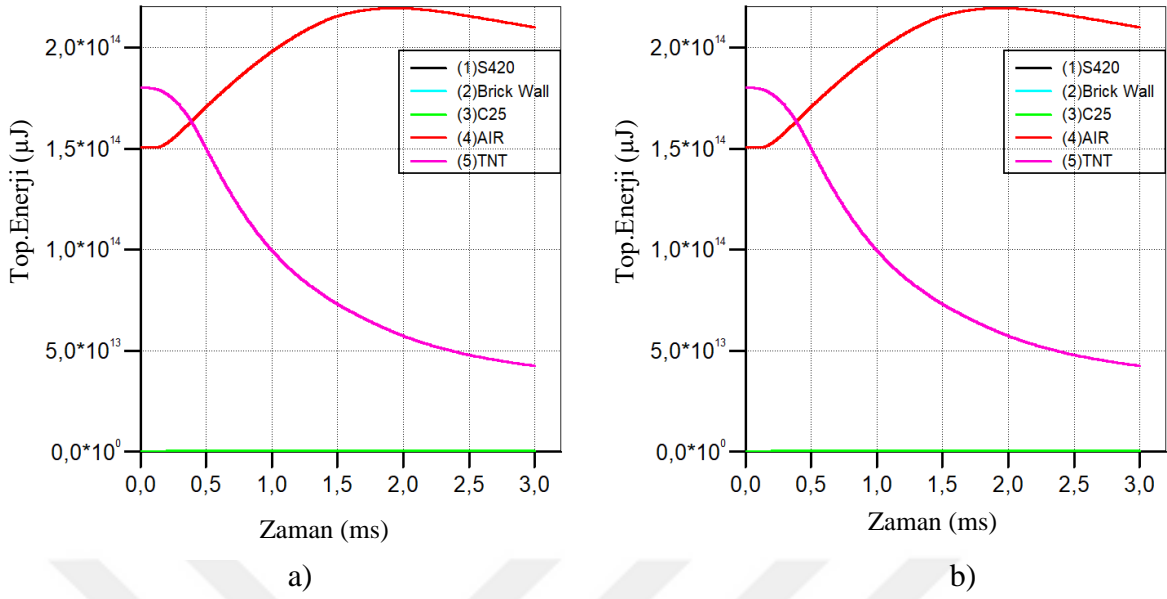
Şekil 2.28. C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.29. C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 50 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0.37ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0.5ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0.33ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0.59ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2'ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.29'da verilmektedir.

50 kg TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.30'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1.80 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C25 betonu tarafından $4.68 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından 8.80×10^9 , tuğla tarafından $1.64 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2.20 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1.80 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C25 betonu tarafından 4.79×10^{11} , donatı tarafından 9.86×10^9 , tuğla tarafından $1.65 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2.20 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

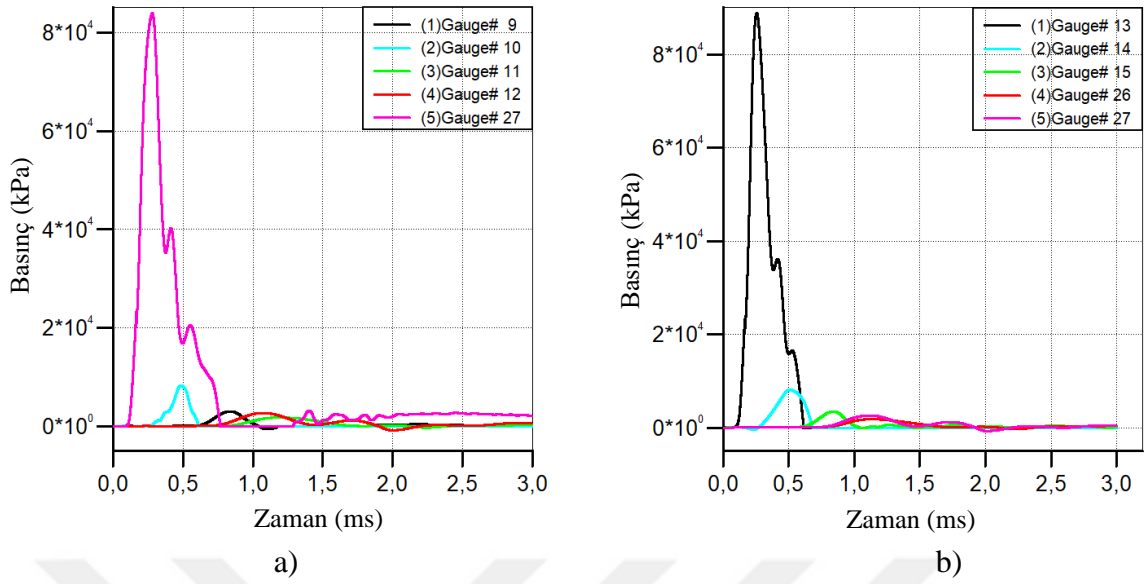


Şekil 2.30. C25 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

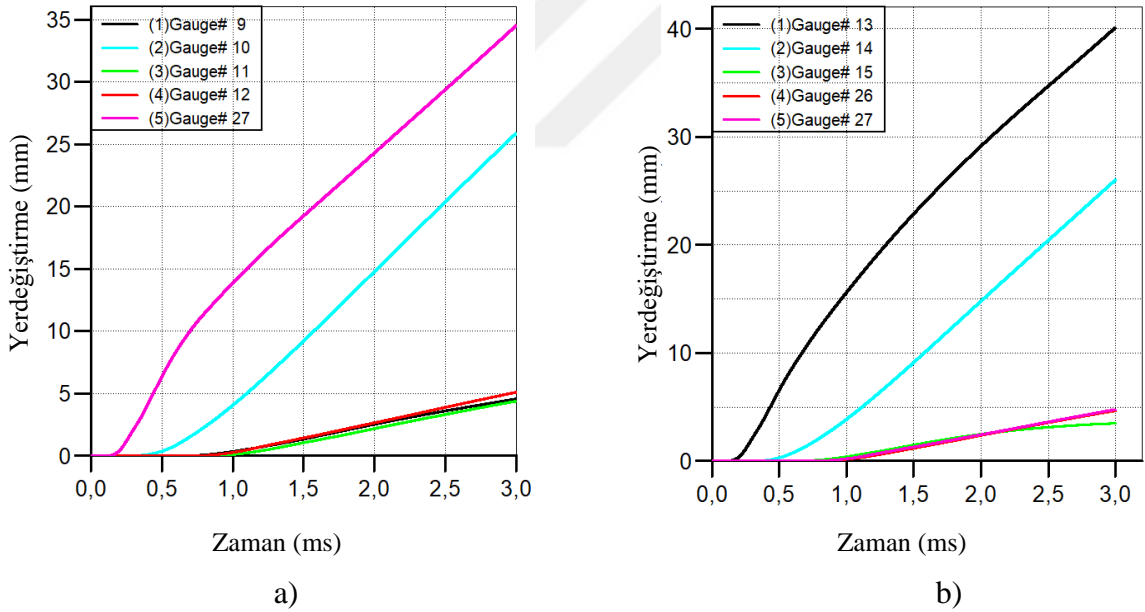
100 kg TNT ve C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.31'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 4 \times 3$ br³ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 83,85 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 88,81 MPa'ya ulaştığı görülmektedir.

C25 beton sınıfı 100 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.32'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmenin patlayıcı eksenindeki kolon alt ucunda olan G27 ölçüm noktasında, ikinci büyük yerdeğiştirmenin ise kolon orta noktası olan G10 ölçüm noktasından sırasıyla 34,55 ve 25,91mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 40,14 ve 26,03mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 100 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0,50ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,55ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,49ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,61ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2'ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.33'te verilmektedir.



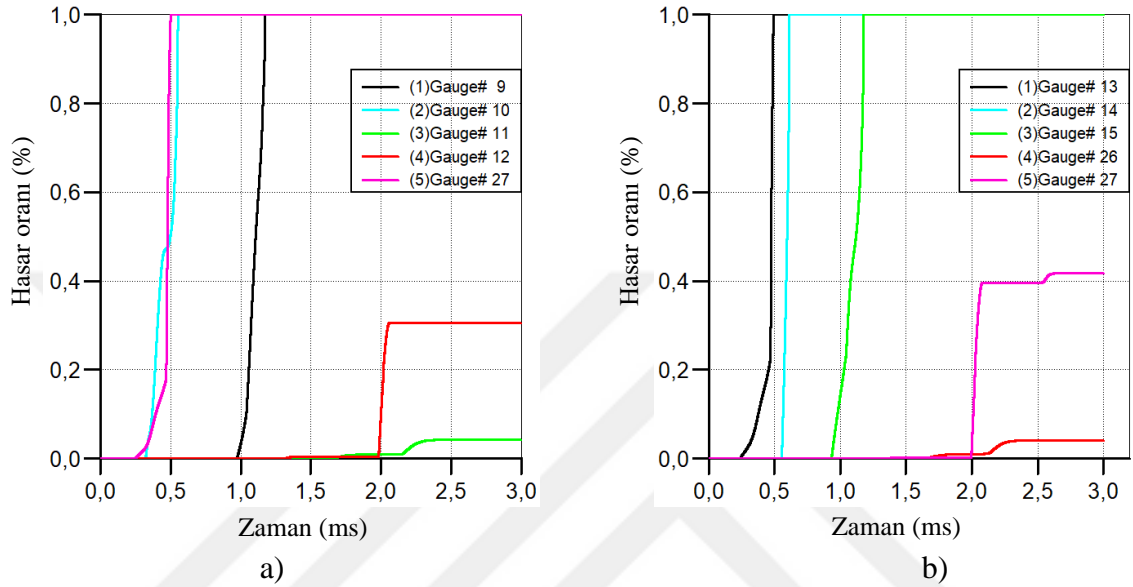
Şekil 2.31. C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



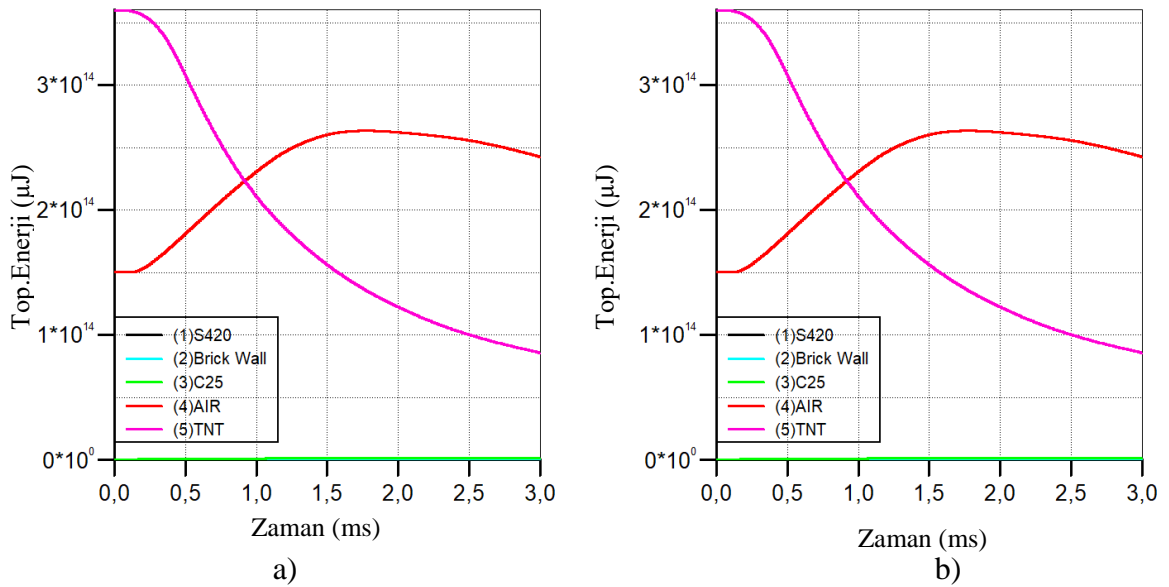
Şekil 2.32. C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

100 kg TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.34'te verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,60 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C25 betonu tarafından $1,18 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,56 \times 10^{10}$, tuğla

tarafından $5,86 \times 10^{11}$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14}$ μJ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,60 \times 10^{14}$ μJ , C25 betonu tarafından $1,22 \times 10^{12}$, donatı tarafından $4,03 \times 10^{10}$, tuğla tarafından $5,89 \times 10^{11}$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14}$ μJ 'dir.



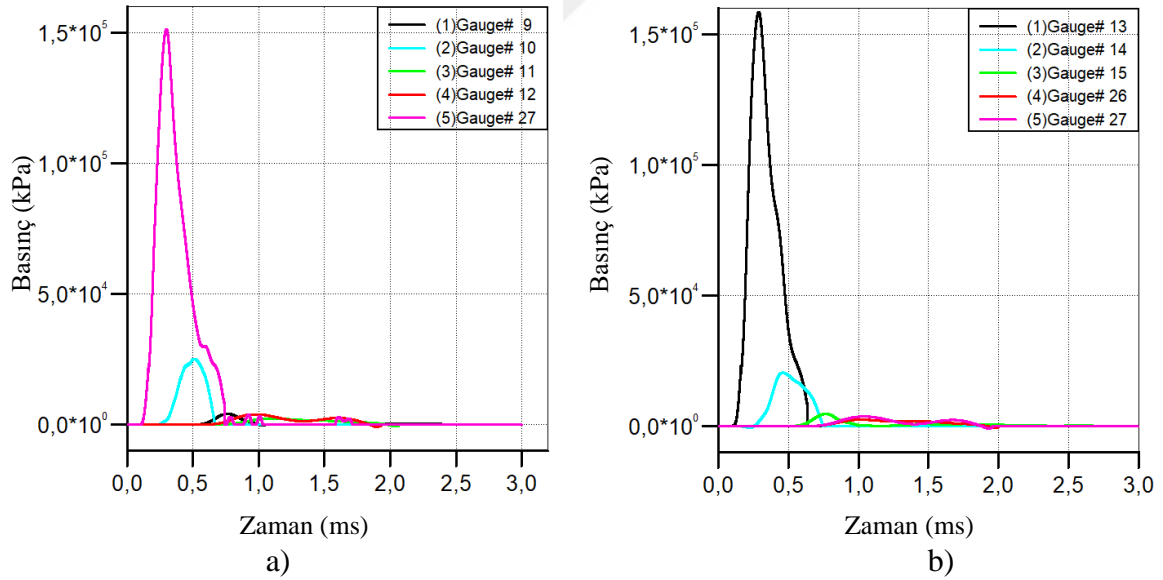
Şekil 2.33. C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



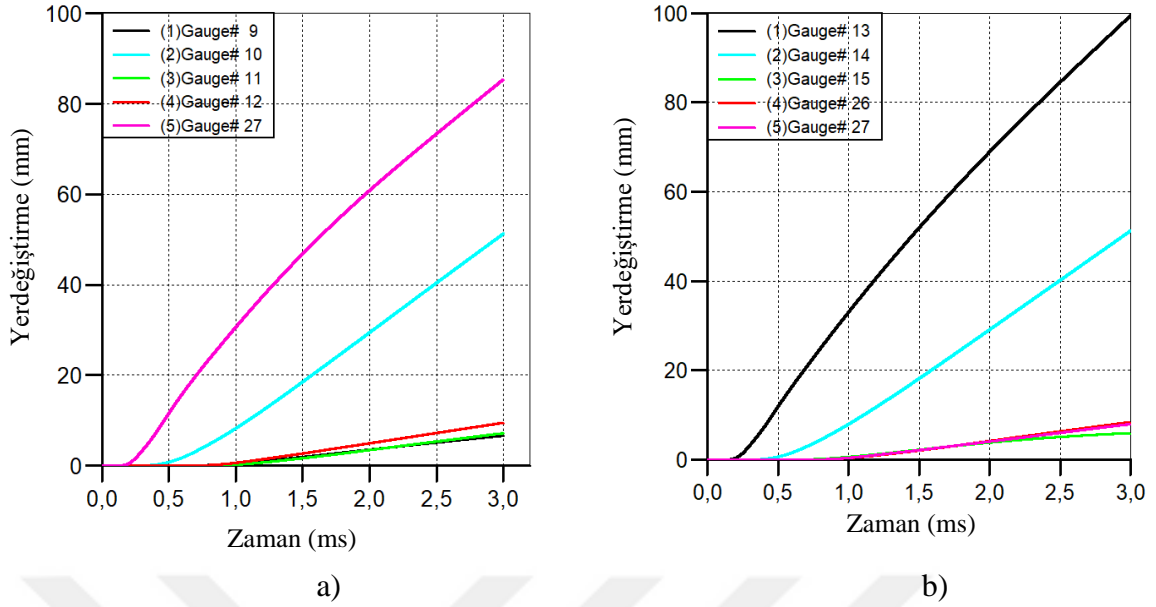
Şekil 2.34. C25 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

200 kg TNT ve C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.35'te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $6 \times 5 \times 4 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında $151,42 \text{ MPa}$ değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer $158,65 \text{ MPa}$ 'ya ulaştığı görülmektedir. İkinci en büyük basınç değerleri yine diğer analizlerde olduğu gibi kolon orta noktasında Model 1'de G10 ölçüm noktasında, Model 2'de ise G14 numaralı ölçüm noktasında meydana geldiği grafiklerden okunmuştur. Her iki modelde de kolon alt uçlarında 150 MPa 'nın üzerinde basınç oluştuğu, bu değer betonarme kolonda direk kırılma mekanizması yoluyla göçmesi için yeterince büyük olduğu bilinmektedir.

200 kg TNT ve C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.36'da verilmektedir. 100 kg TNT ile yapılan analizler sonucunda en büyük yerdeğiştirme 40 mm iken patlayıcı ağırlığının 2 katına çıkması ile yerdeğiştirmelerin de aynı oranda arttığı grafiklerden okunabilmektedir. Model 1'de en büyük yerdeğiştirme G27 ölçüm noktasında $85,46 \text{ mm}$ olurken Model 2'de en büyük yerdeğiştirmenin G13 ölçüm noktasında $99,56 \text{ mm}$ olarak elde edilmiştir.



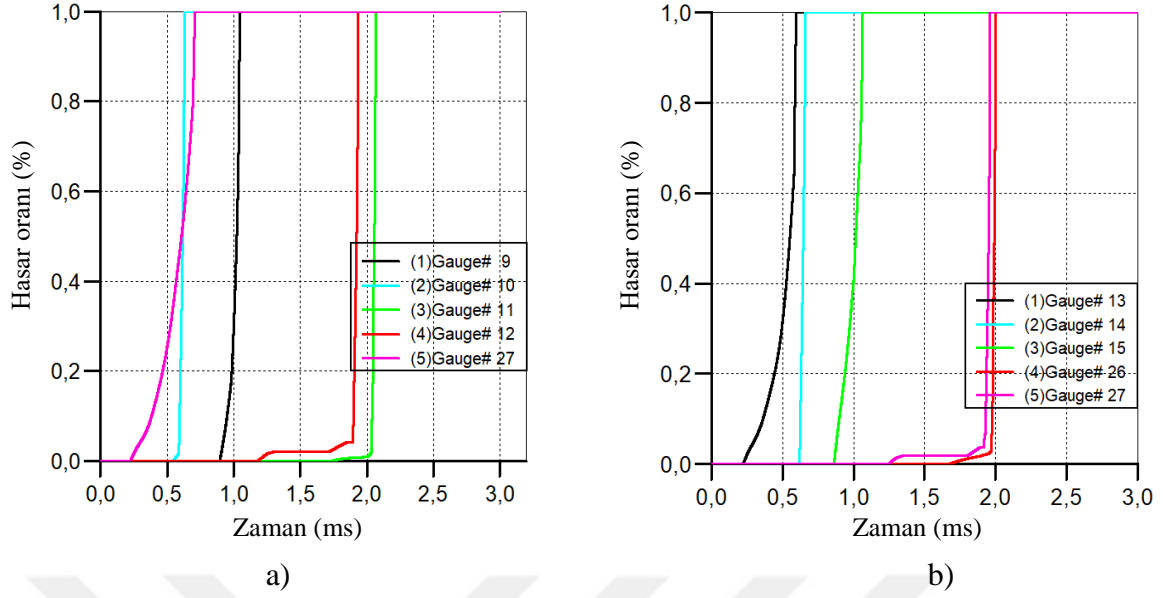
Şekil 2.35. C25 beton sınıfı 200 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



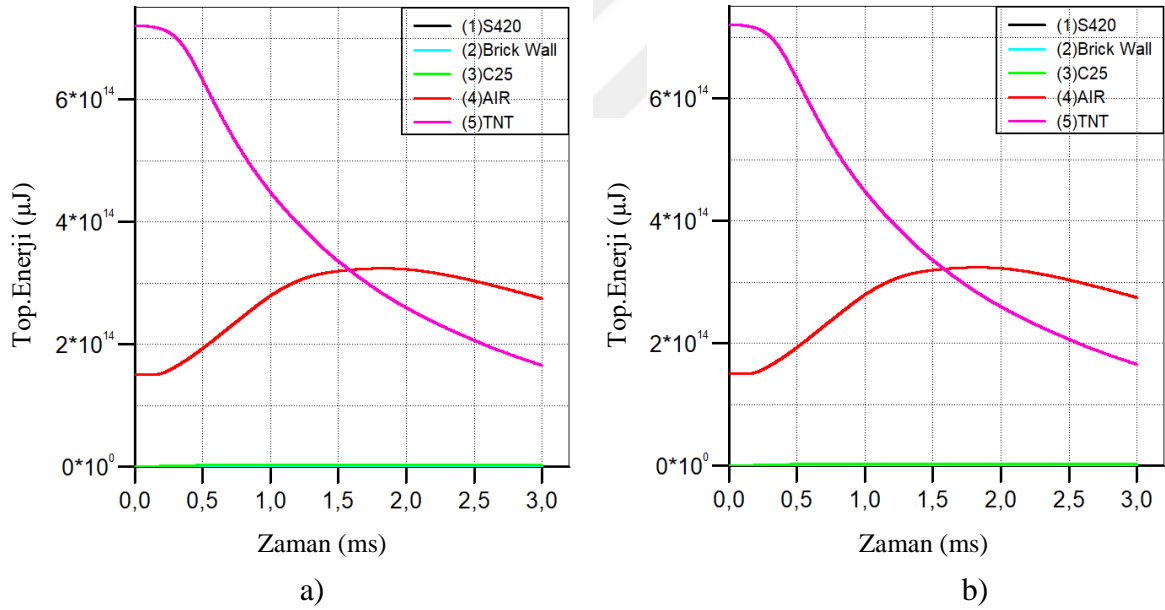
Şekil 2.36. C25 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 200 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0,70ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,63ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,59ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,66ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2'ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.37'te verilmektedir.

200 kg TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.38'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,20 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C25 betonu tarafından $3,52 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,24 \times 10^{10}$, tuğla tarafından $2,19 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,20 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C25 betonu tarafından $3,52 \times 10^{12}$, donatı tarafından $8,25 \times 10^{10}$, tuğla tarafından $2,19 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



Şekil 2.37. C25 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.38. C25 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

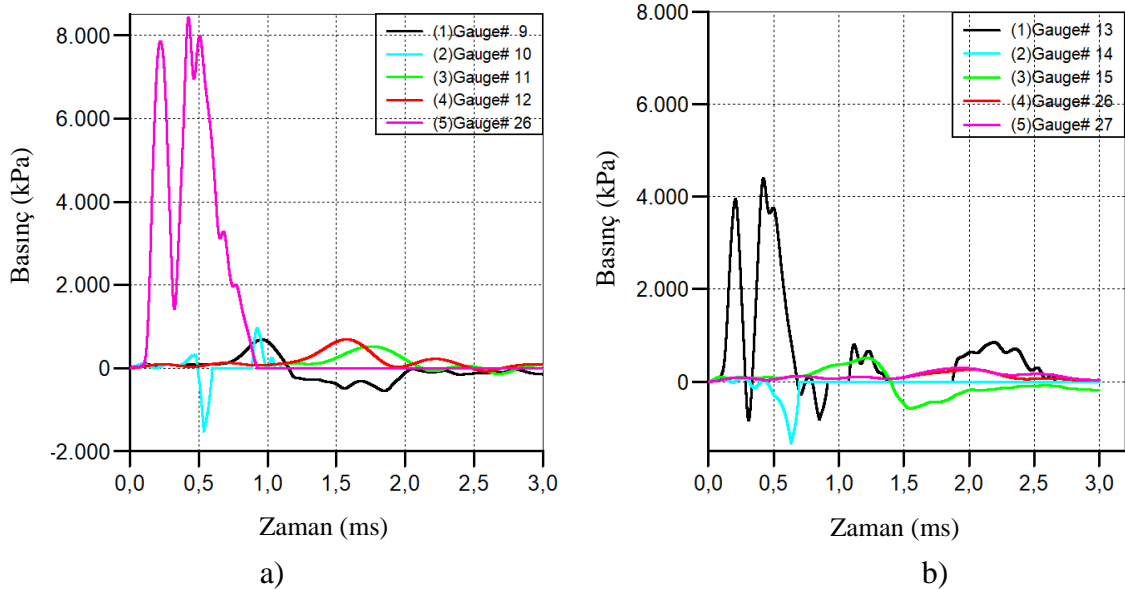
2.3.3.2.2. C30 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Tez çalışmasının bir önceki kısmında yapıya 0,5 m mesafede C25 beton malzeme sınıfı kullanılarak değişen patlayıcı ağırlıklarında gösterdiği tepkiler incelenmiştir. Çalışmanın bu

kısımında C30 beton malzeme sınıfı kullanılarak yapılan analiz çalışmaları sırasıyla verilmektedir. 5 kg TNT ve C30 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.39’da verilmektedir. Burada patlayıcı modellenirken Euler yöntemi ile hava hacminin içerisine x, y ve z koordinatlarında $3 \times 1 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Her birim ise daha önce tanımlandığı üzere sayısal ayrıklaştırma yöntemi ile 100mm olarak belirlenmiştir.

C30 beton malzeme sınıfı kullanılarak yapılan analizlerde C25 beton malzeme sınıfı kullanılarak yapılan analizde olduğu gibi Model 1 ve Model 2’de okunan en büyük basınç değerleri patlayıcı eksen doğrultusunda kolon alt uçlarına yerleştirilen ölçüm noktalarından okunmuştur. Model 1’de G27 ölçüm noktasından okunan en büyük basınç değeri 8,43 MPa, Model 2’de G13 ölçüm noktasında 4,4 MPa olarak okunmuştur.

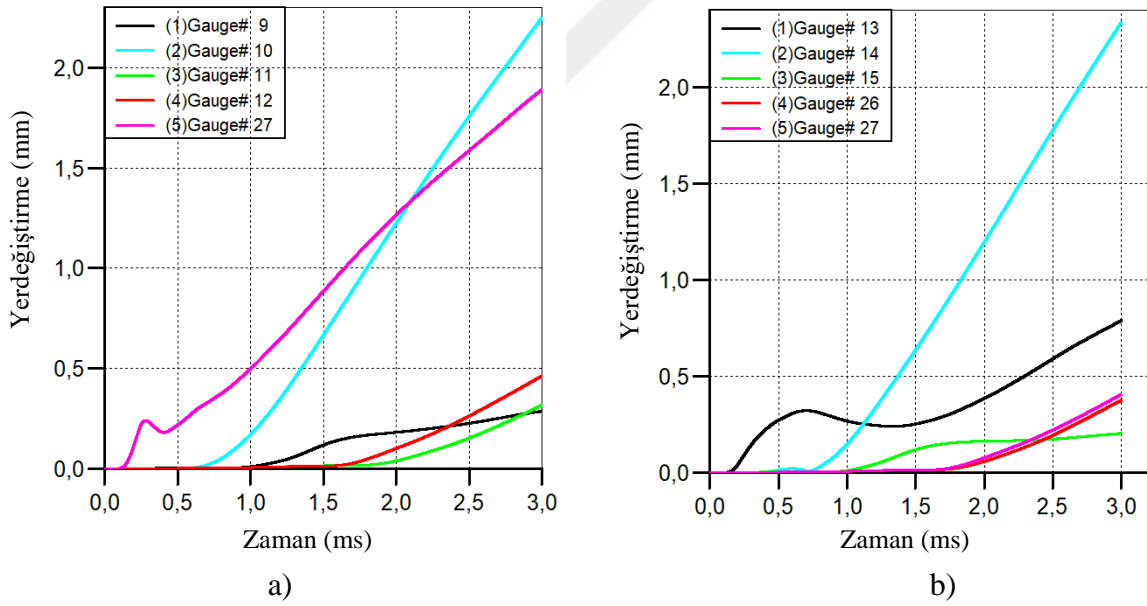
C30 beton sınıfı 5 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.40’ta verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 2,25mm ve 1,9mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 2,34mm ve 0,8mm olarak okunmuştur.



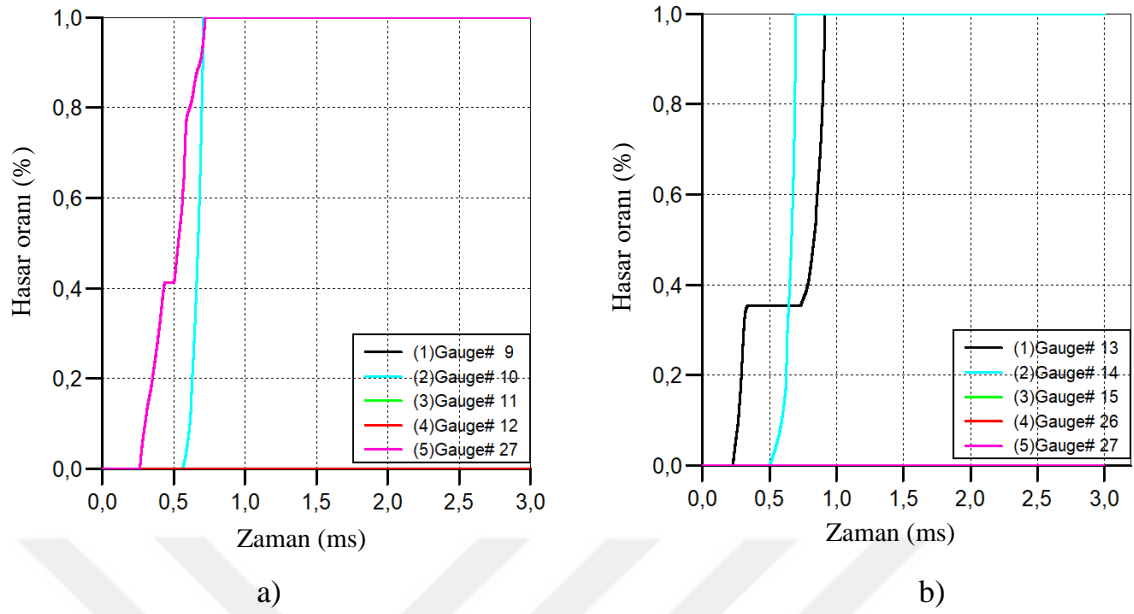
Şekil 2.39. C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 5 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1’de 0,72ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,71ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,91ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,69ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2’ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.41’te verilmektedir.

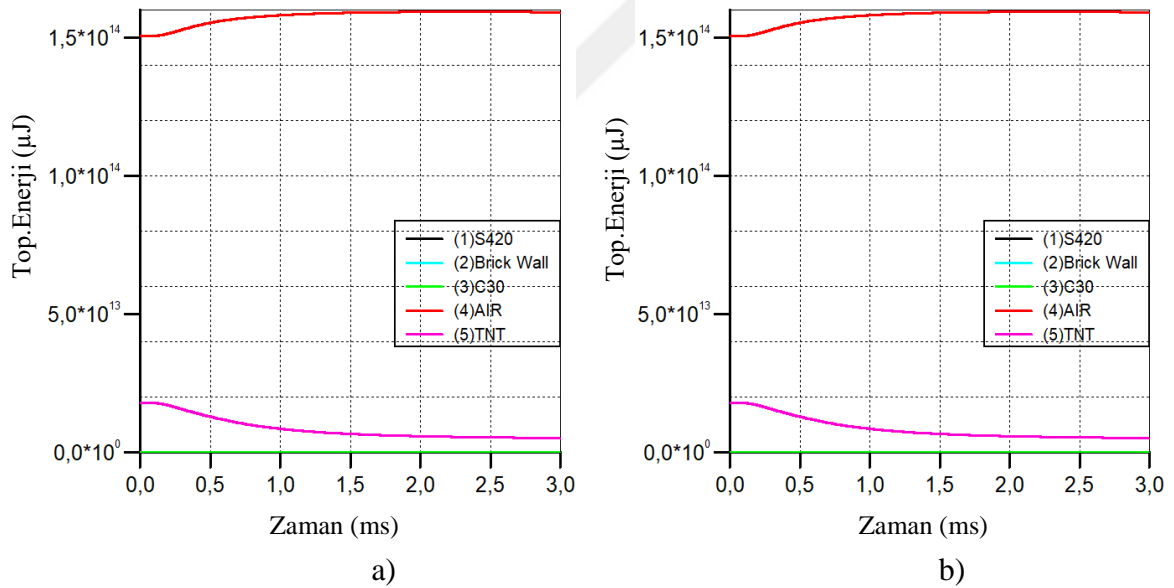
5 kg TNT’nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.42’de verilmektedir. Model 1’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,80 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C30 betonu tarafından $1,52 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $3,10 \times 10^8$ tuğla tarafından $2,67 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,60 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir. Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,80 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C30 betonu tarafından $1,50 \times 10^{10}$, donatı tarafından $1,91 \times 10^8$, tuğla tarafından $2,69 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,59 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



Şekil 2.40. C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



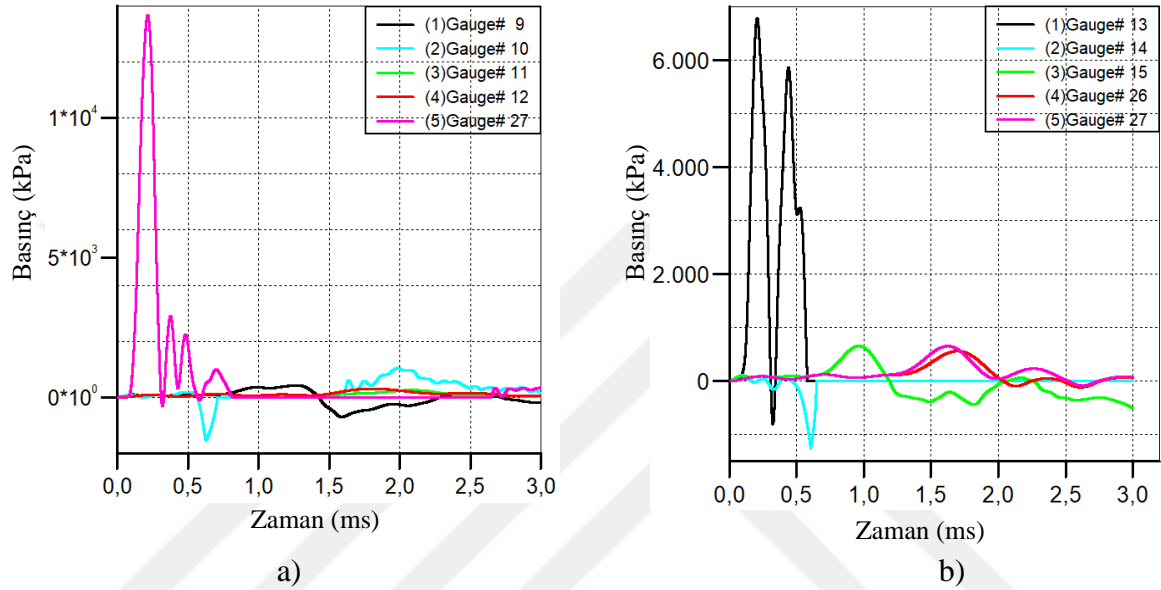
Şekil 2.41. C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.42. C30 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

10 kg TNT ve C30 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.43'te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $3 \times 2 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100 mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 13,65 MPa değerine ulaştığı,

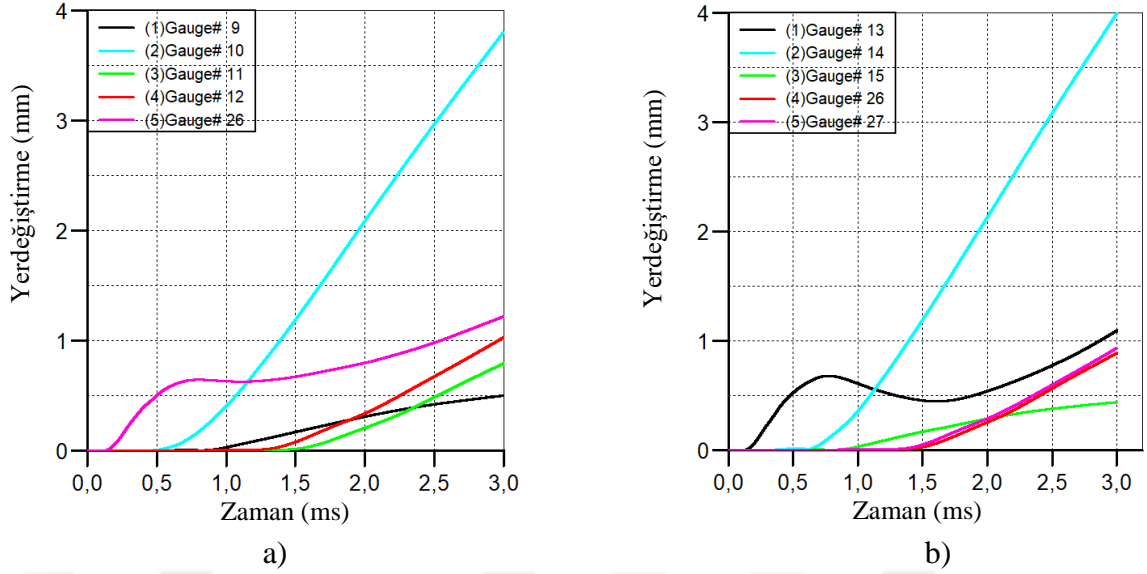
kolon yüzeyinde ve kirişlerde ise kısmi düzeyde betonun döküldüğü, tuğla duvarların parçalandığı gözlemlenmiştir. Model 2’de diğer modelde olduğu gibi patlayıcı eksen doğrultusundaki kolon yüzeyinde ve kirişlerde ise kısmi düzeyde beton elemanın döküldüğü, maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 6,79 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



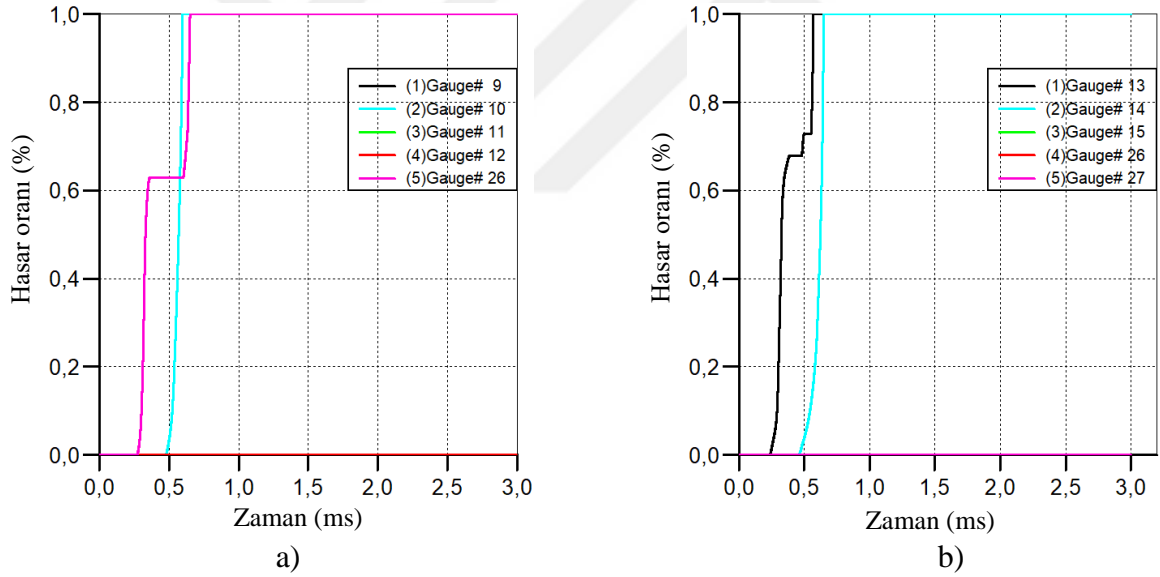
Şekil 2.43. C30 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait basınç-zaman grafikleri

C30 beton sınıfı 10 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.44’te verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G26 ölçüm noktalarında sırasıyla 3,81mm ve 1,9mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 1,10mm ve 4mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 10 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1’de 0,65ms’de G26 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,61ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,6ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,65ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2’ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.45’te verilmektedir.



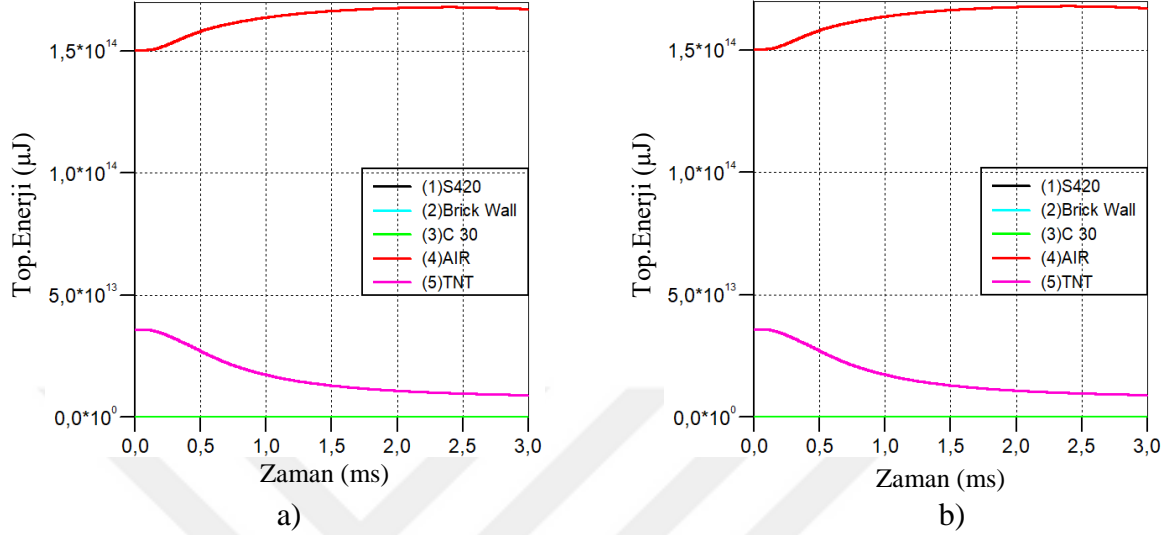
Şekil 2.44. C30 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.45. C30 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

10 kg TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.46'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,60 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C30 betonu tarafından $3,35 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $7,10 \times 10^8$ tuğla tarafından $8,2 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,60 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C30 betonu tarafından $3,31 \times 10^{10}$,

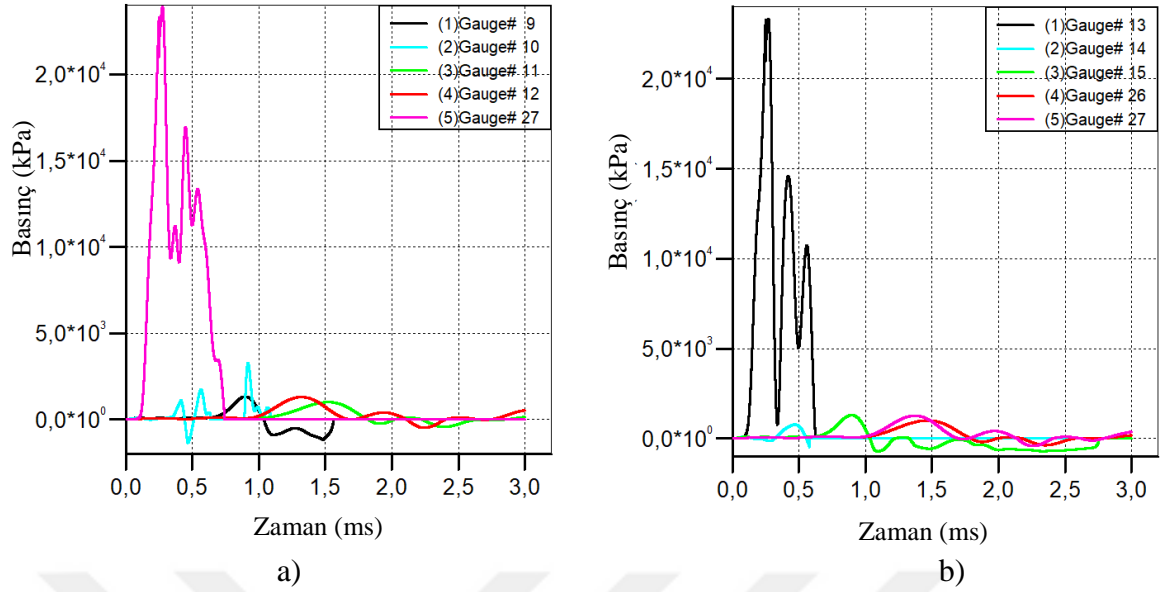
donatı tarafından $4,90 \times 10^8$, tuğla tarafından $8,12 \times 10^9$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14}$ μJ 'dir.



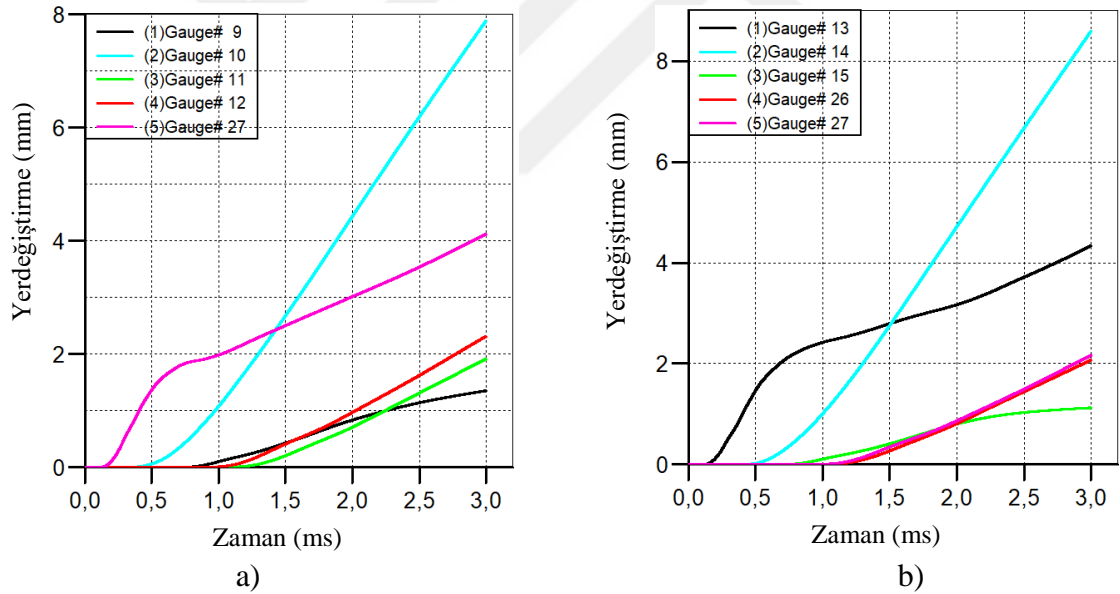
Şekil 2.46. C30 beton sınıfı 10 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

25 kg TNT ve C30 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.47'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 1$ br³ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 23,92 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de diğer modelde olduğu gibi patlayıcı eksen doğrultusundaki kolon yüzeyinde maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 23,34 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Basınç değerleri C25 beton malzeme kullanılarak yapılan analizler ile karşılaştırıldığında Model 1 için 0,32 MPa Model 2 için ise 1,32 MPa değerinde azaldığı tespit edilmiştir.

C30 beton sınıfı 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.48'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 7,89mm ve 4,12 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 4,34mm ve 8,36mm olarak okunmuştur.



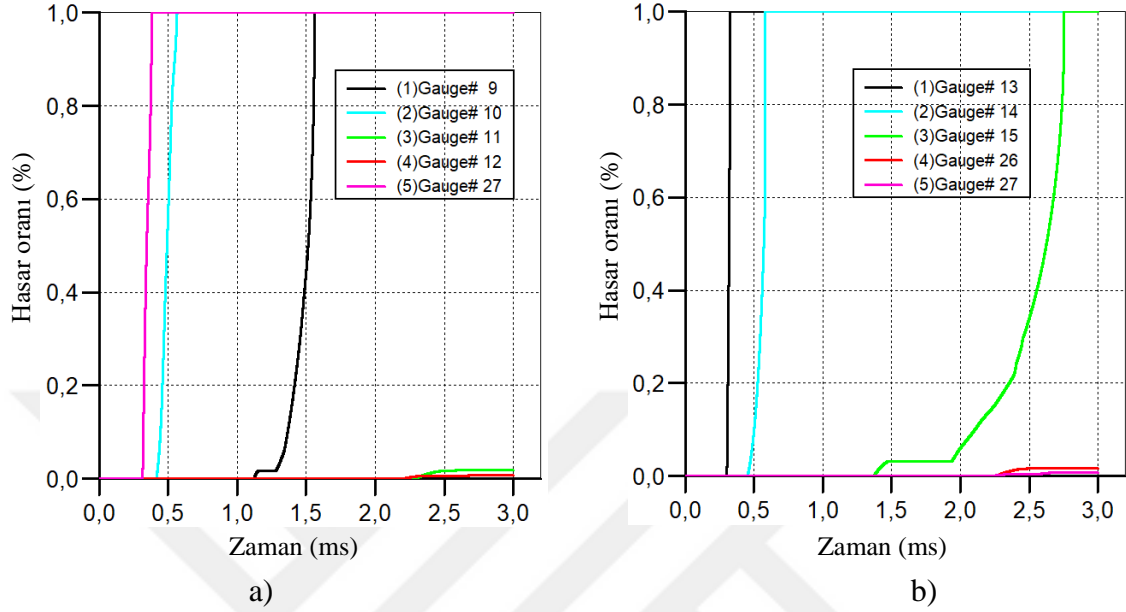
Şekil 2.47. C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



Şekil 2.48. C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

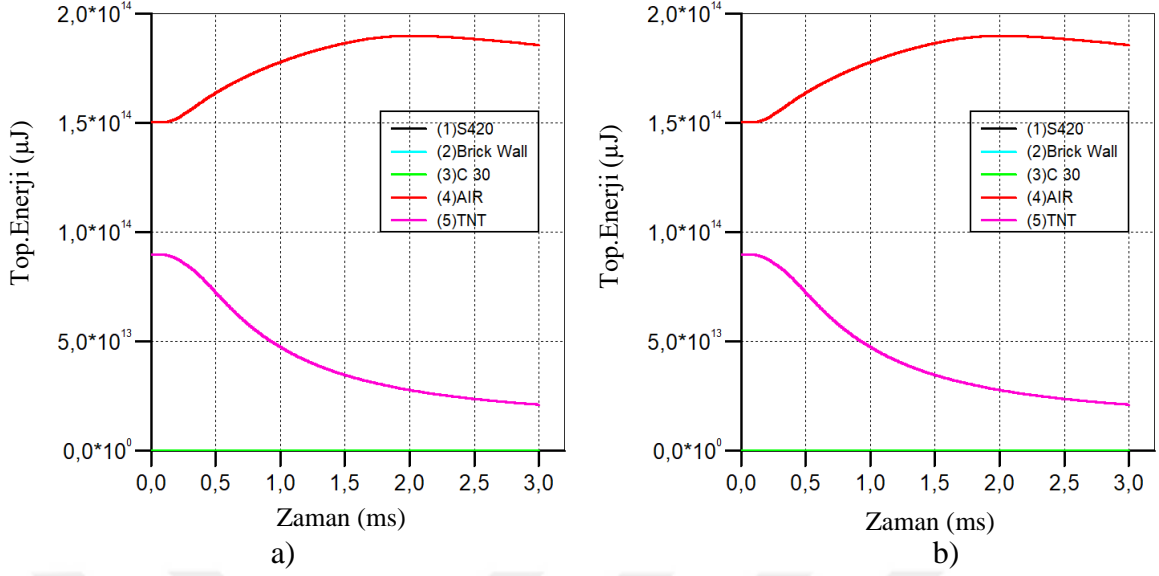
Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 25 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0,38ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,56ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,35ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında

0,58ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. Model 1 ve Model 2'ye ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.49'da verilmektedir.



Şekil 2.49. C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

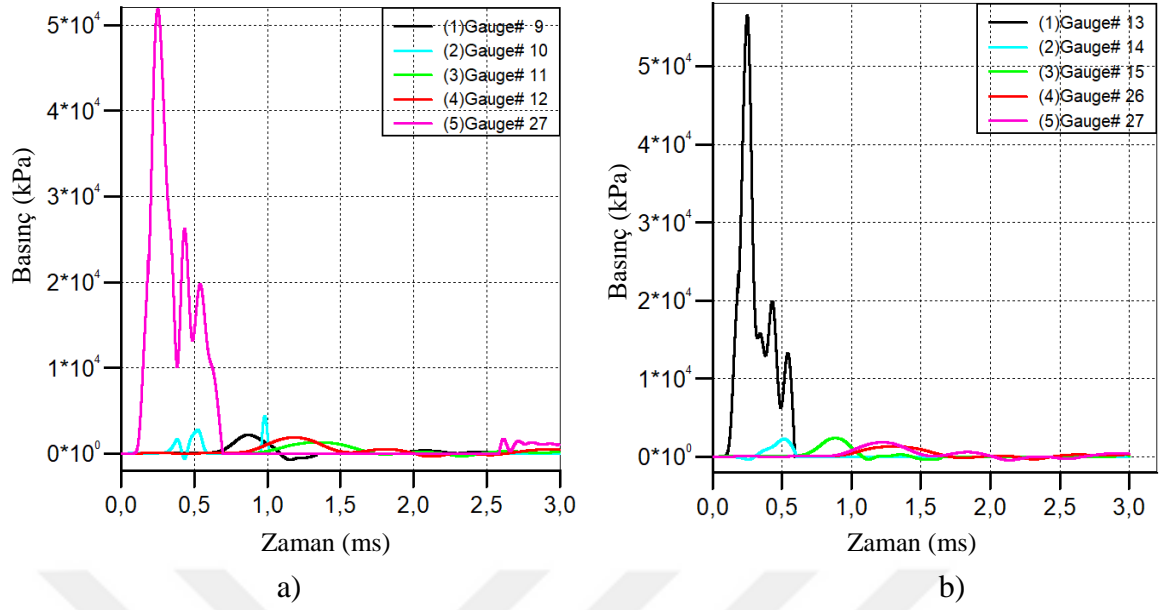
25 kg TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.50'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C30 betonu tarafından $1,33 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,74 \times 10^9$ tuğla tarafından $4,2 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,9 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C30 betonu tarafından $1,33 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,54 \times 10^9$, tuğla tarafından $4,16 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,9 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Her iki model ile yapılan analizlerden elde edilen veriler incelendiğinde yapıyı oluşturan elemanlar tarafından absorbe edilen enerji miktarlarının birbirlerine çok yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.



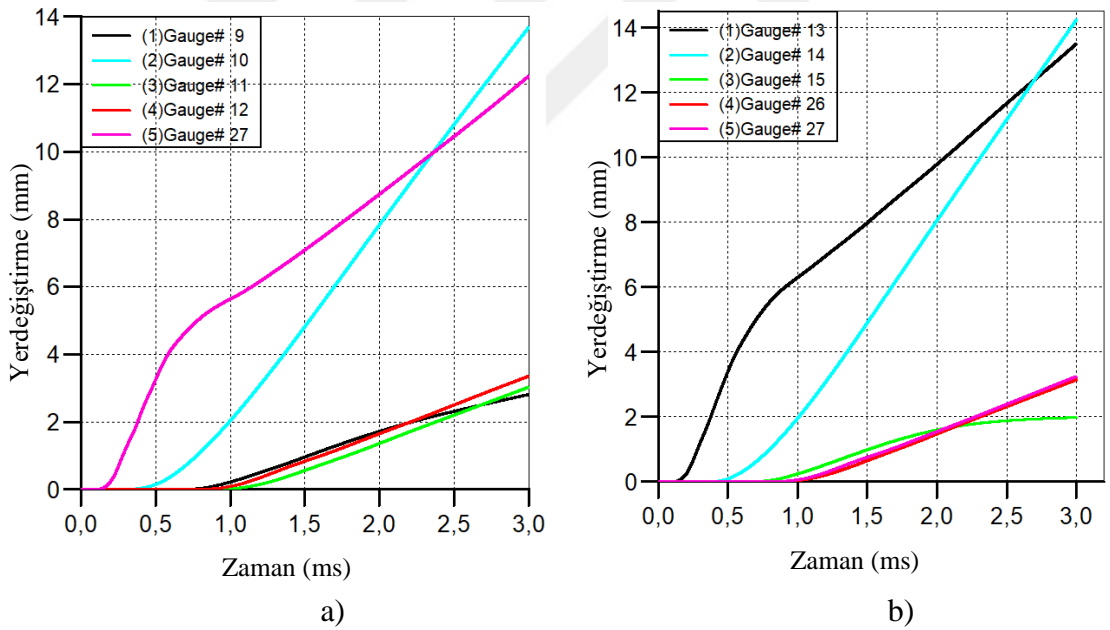
Şekil 2.50. C30 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

50 kg TNT ve C30 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.51'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 2$ br³ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 51,84 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 56,53 MPa'ya ulaştığı görülmektedir. Çalışmada her iki model için de beton malzemenin bir üst dayanım sınıfından seçilmesinin oluşan basınç değerlerinin azalmasında etkili olduğu görülmektedir. Özellikle arka cephesi tamamen kapalı olan Model 2'de beton malzeme sınıfının basınç dayanımına etkisi daha açık bir biçimde görülmektedir.

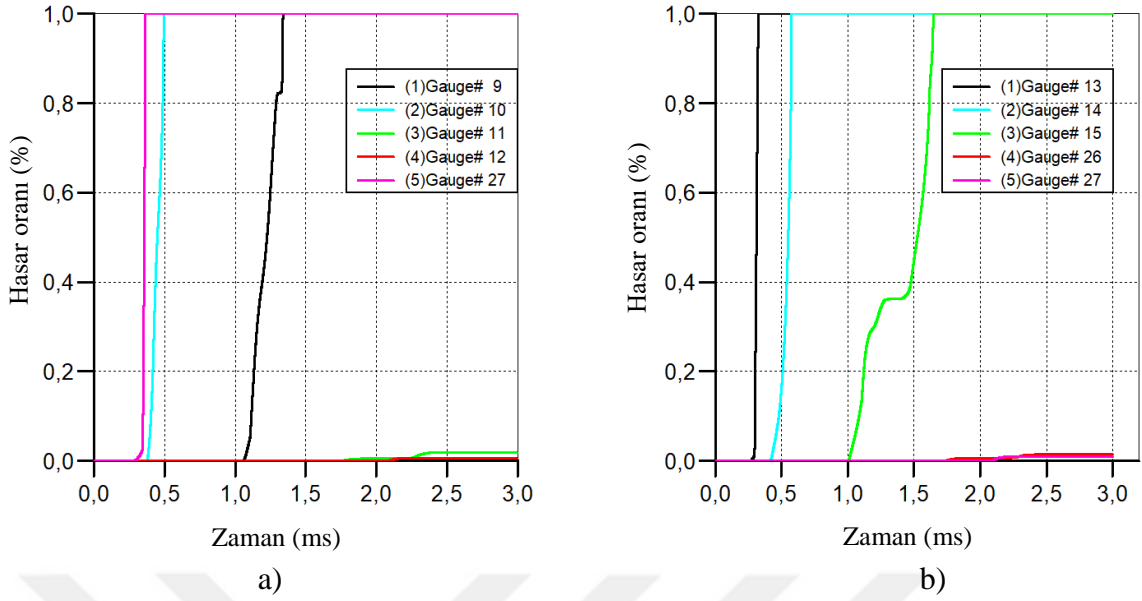
C30 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.52'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 13,71mm ve 12,25mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 13,51 ve 14,25 mm olarak okunmuştur. C25 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında en büyük yerdeğiştirmelerde birer mm azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.51. C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



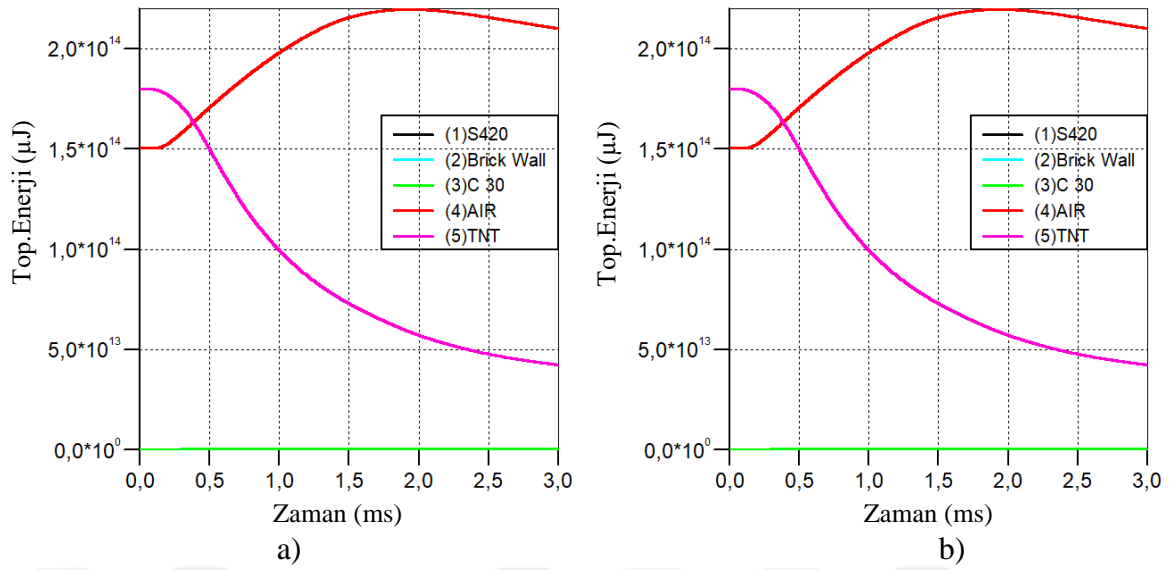
Şekil 2.52. C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.53. C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

C30 beton malzeme sınıfı ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucunda elde edilen hasar-zaman grafikleri Şekil 2.53'te verilmektedir. Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 50 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0.36ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0.49ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,32ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,57ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir.

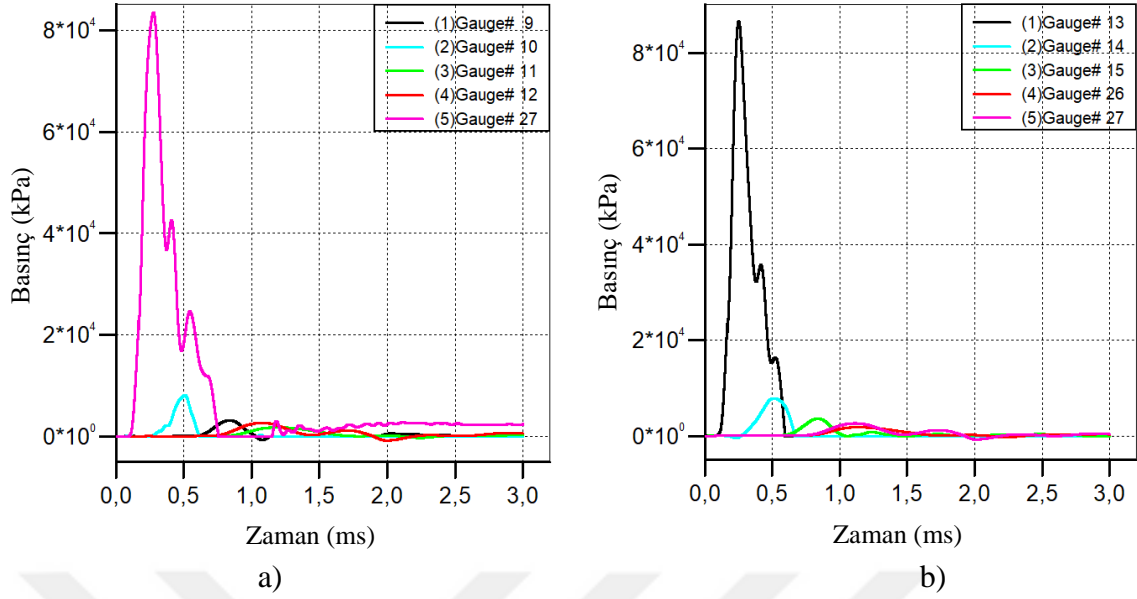
50 kg TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.54'te verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C30 betonu tarafından $4,57 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,92 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,64 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C30 betonu tarafından $4,65 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $9,66 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,65 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,19 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



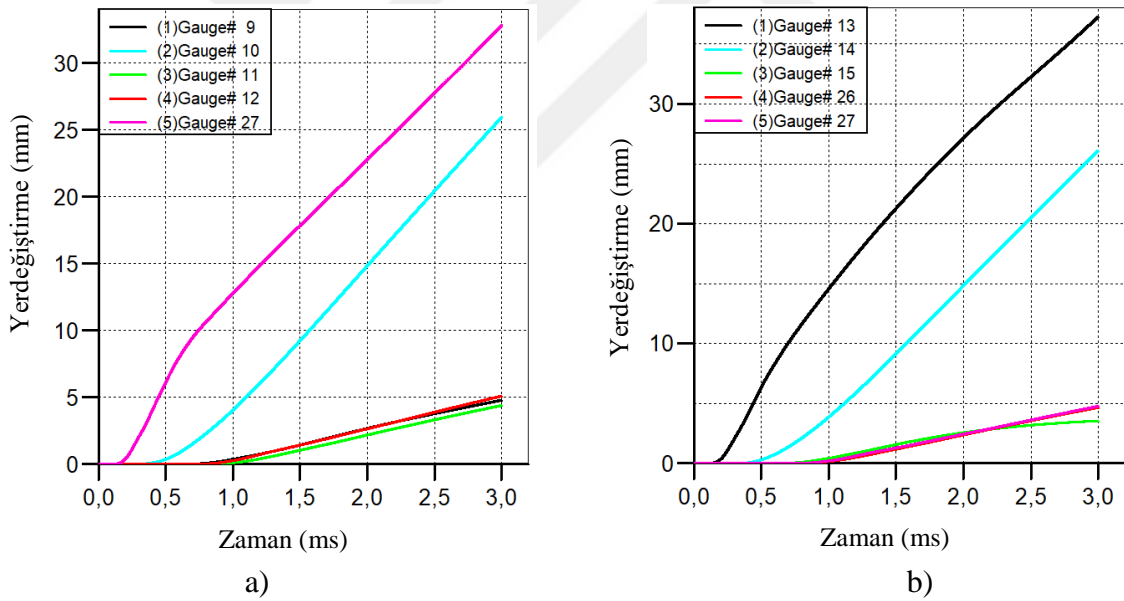
Şekil 2.54. C30 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

100 kg TNT ve C30 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.55'te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 4 \times 3 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 83,39 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 86,56 MPa'ya ulaştığı görülmektedir. C25 beton malzeme kullanılarak yapılan çalışma ile kıyaslandığında Model 1'de basınç değerinde önemli bir azalma görülmezken, Model 2'de basınç değerinin 2,25 MPa azaldığı gözlemlenmiştir.

C30 beton malzeme ve 100 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.56'da verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 25,85 ve 32,82 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 37,29 ve 26,10 mm olarak okunmuştur. C25 beton malzeme ve 100 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında en büyük yerdeğiştirmelerde üçer mm azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.55. C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

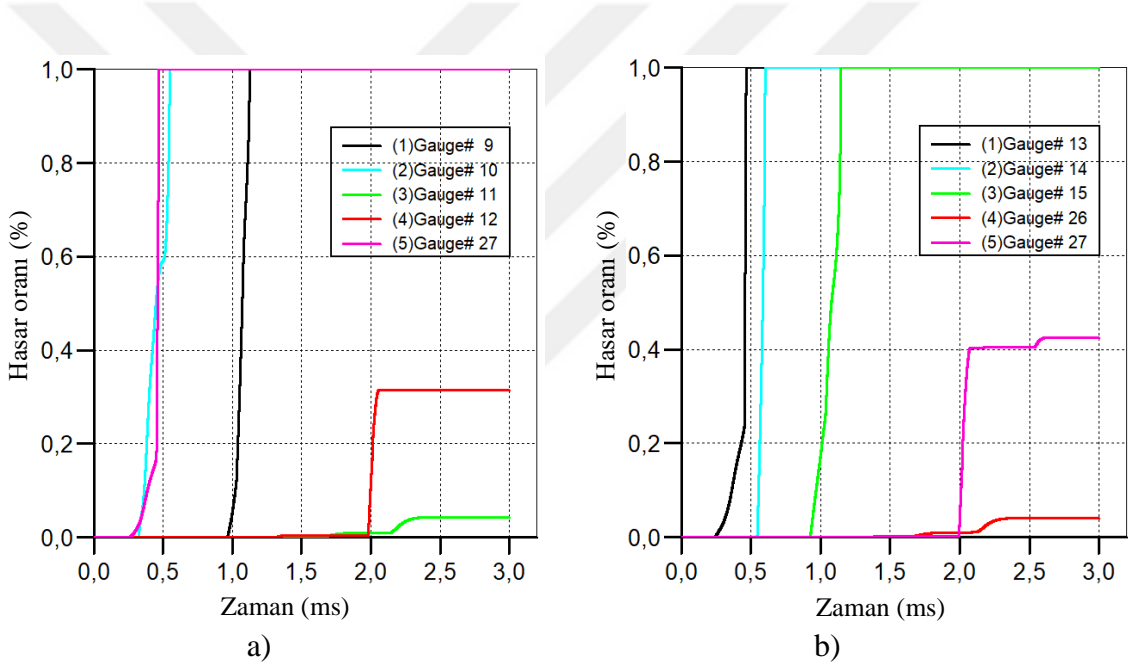


Şekil 2.56. C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 100 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0.36ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0.49ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0.32ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında

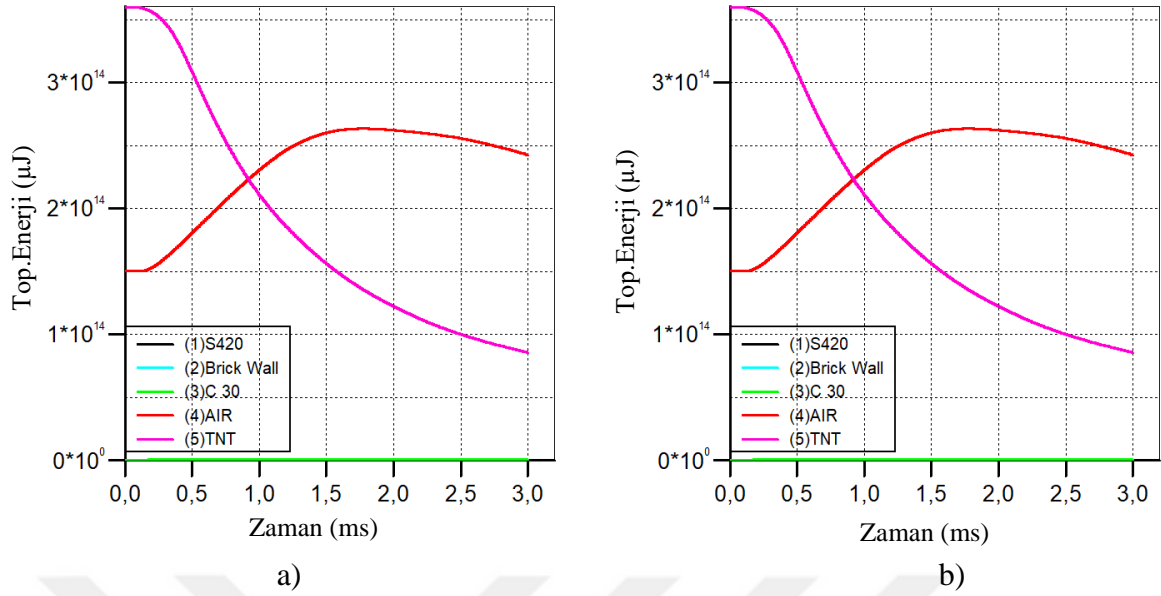
0.57ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C30 beton malzeme ve 100 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.57'de verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.58'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C30 betonu tarafından $1,15 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,52 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $5,88 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C30 betonu tarafından $1,18 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $3,9 \times 10^{10}$, tuğla tarafından $5,89 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

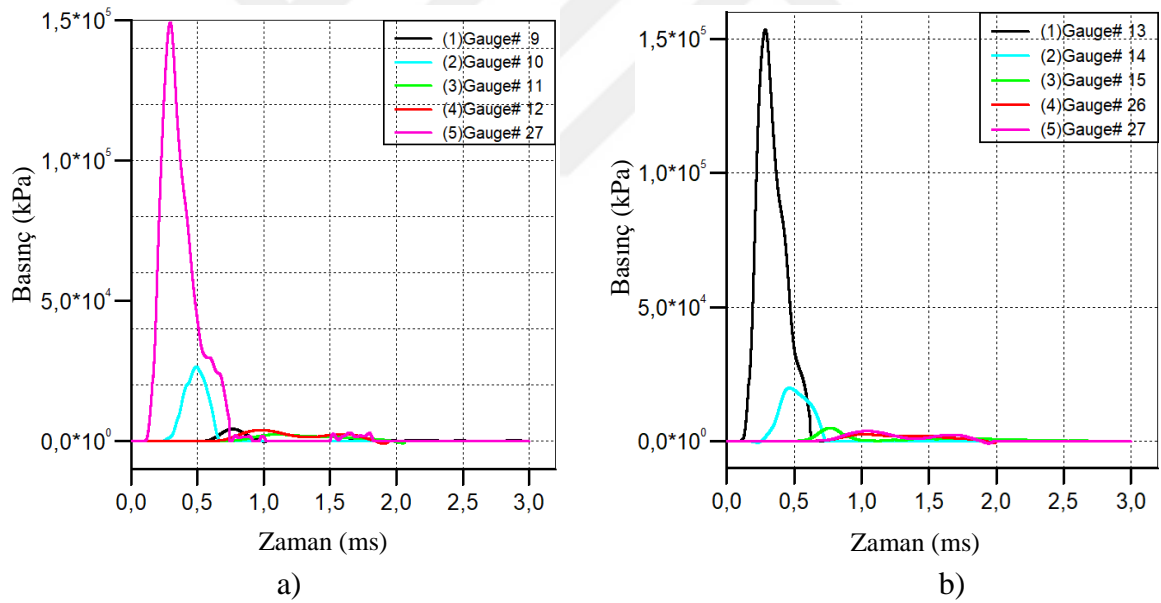


Şekil 2.57. C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

200 kg TNT ve C30 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.59'da verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $6 \times 5 \times 4 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 149,33 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 153,37 MPa'ya ulaştığı görülmektedir. C25 beton malzeme kullanılarak yapılan çalışma ile kıyaslandığında Model 1'de basınç değerinde 2,09 MPa azalma gözlemlenirken, Model 2'de basınç değerinin 5,28 MPa azaldığı gözlemlenmiştir.



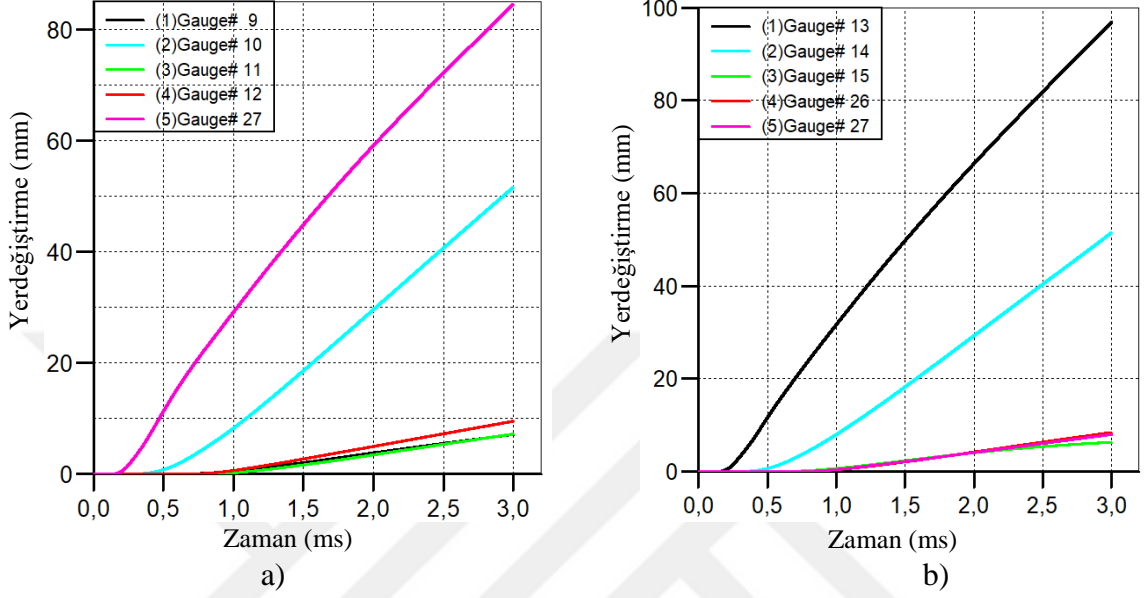
Şekil 2.58. C30 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



Şekil 2.59. C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C30 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.60'ta verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 25,85 ve 32,82 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 37,29mm ve 26,10mm

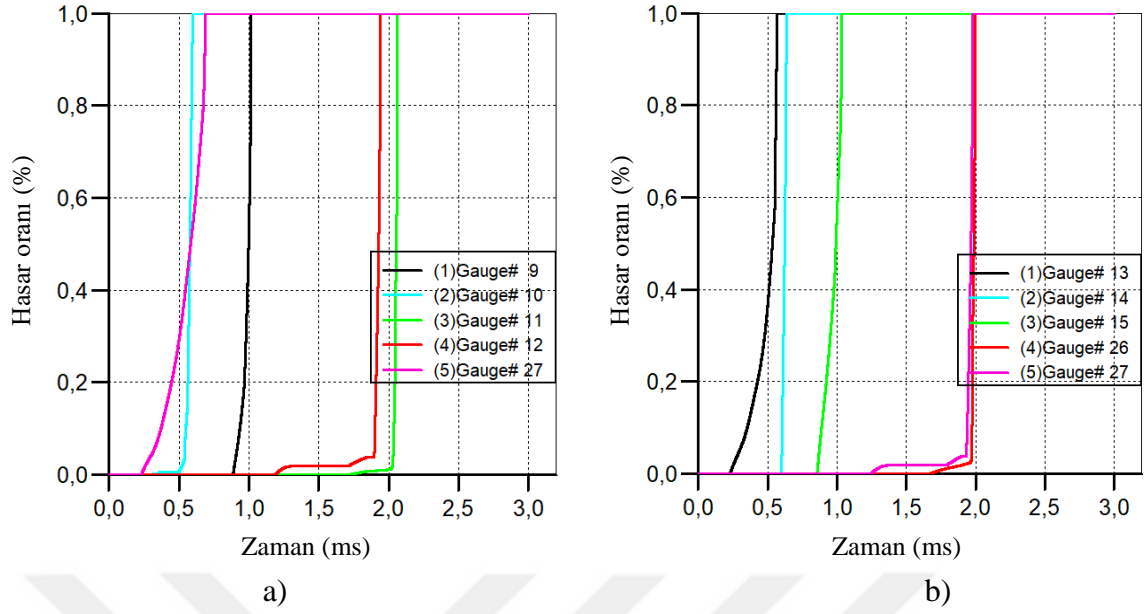
olarak okunmuştur. C25 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında en büyük yerdeğiştirmelerde üçer mm azalma olduğu tespit edilmiştir.



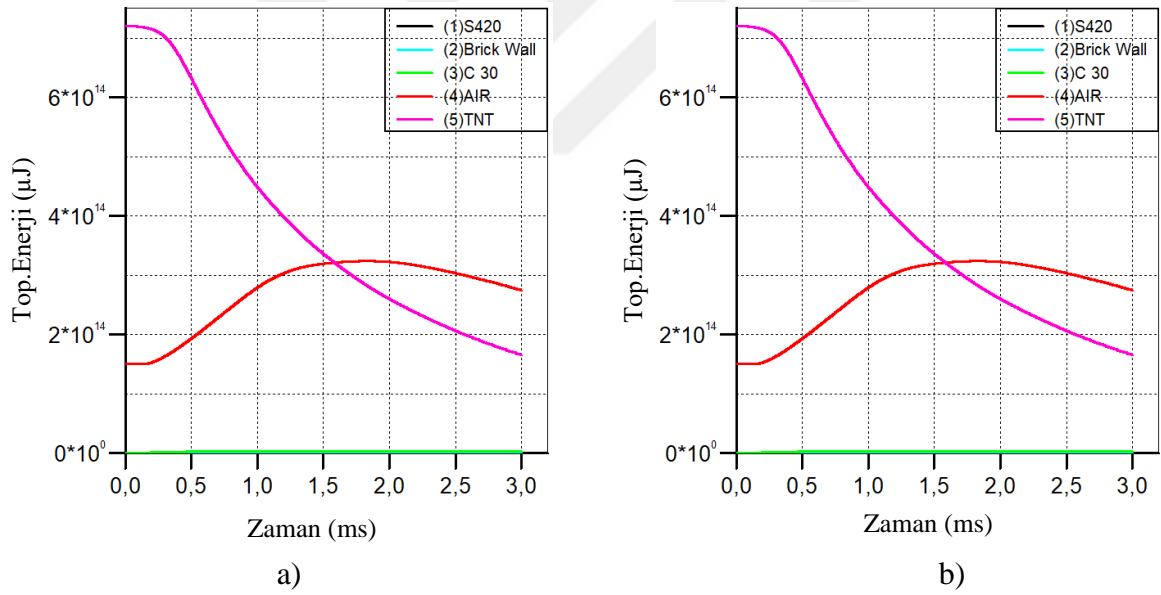
Şekil 2.60. C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde 200 kg TNT ile yapılan analizlerde Model 1'de 0,69ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,59ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,57ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,63ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C30 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.61'de verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.62'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C30 betonu tarafından $3,43 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,11 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,19 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,25 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C30 betonu tarafından $3,48 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $1,22 \times 10^{11}$, tuğla tarafından $2,22 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



Şekil 2.61. C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

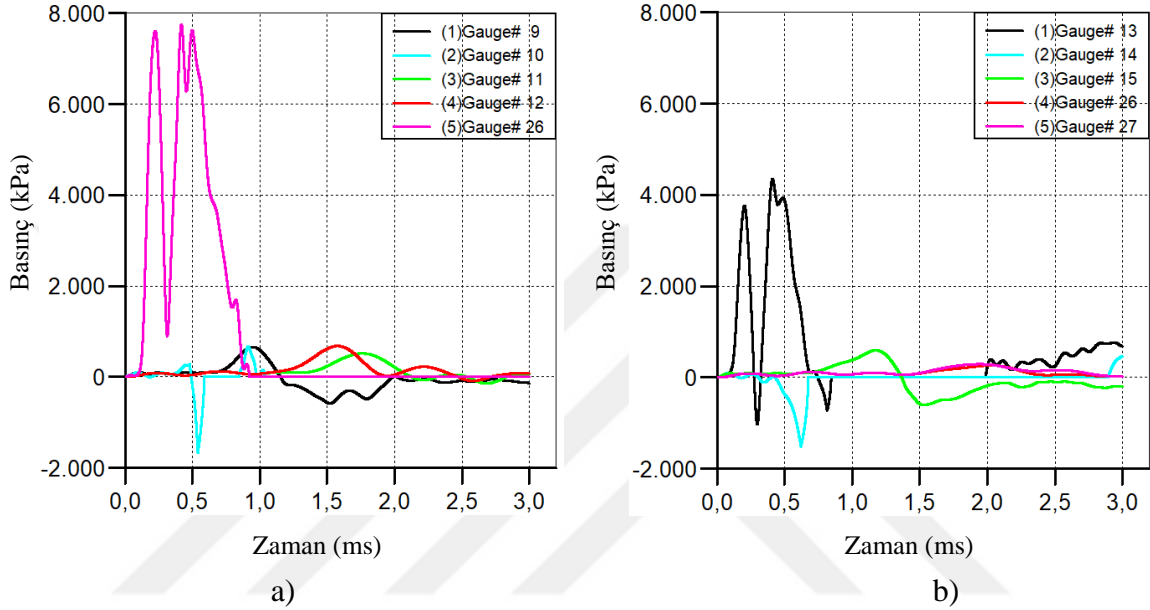


Şekil 2.62. C30 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

2.3.3.2.3. C35 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Tez çalışmasının bir önceki kısmında yapıya 0,5m mesafede C30 beton malzeme sınıfı kullanılarak değişen patlayıcı ağırlıklarında gösterdiği tepkiler incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında C35 beton malzeme sınıfı kullanılarak yapılan analiz çalışmaları sırasıyla

verilmektedir. 5 kg TNT ve C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.63'te verilmektedir. Burada patlayıcı modellenirken Euler yöntemi ile hava hacminin içerisinde x, y ve z koordinatlarında $3 \times 1 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Her birim ise daha önce tanımlandığı üzere sayısal ayrıklaştırma yöntemi ile 100 mm olarak belirlenmiştir.

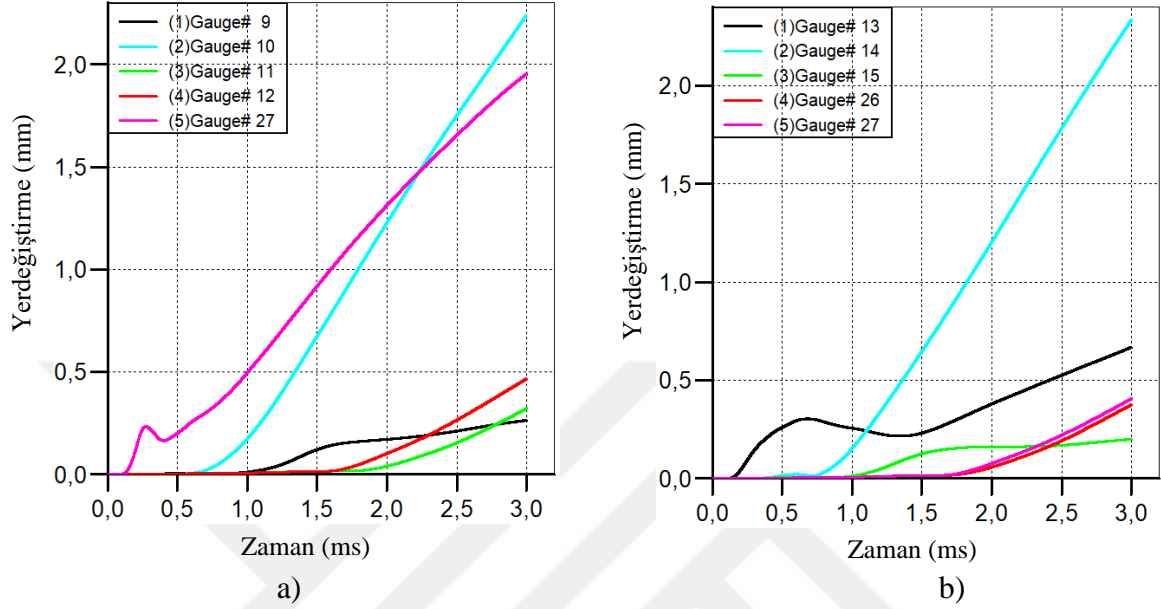


Şekil 2.63. C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

Model 1'de maksimum basıncın G26 numaralı ölçüm noktasında 7,76 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 4,35 MPa'ya ulaştığı görülmektedir. C30 beton malzeme kullanılarak yapılan çalışma ile kıyaslandığında Model 1'de basınç değerinde 0,67 MPa azalma gözlemlenirken, Model 2'de basınç değerinin 0,5 MPa azaldığı gözlemlenmiştir. Kullanılan beton malzemenin dayanımının artması ile beraber yapı eleman yüzeylerinde oluşan basınç değerlerinin azaldığı görülmektedir.

C35 beton malzeme ve 5 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.64'te verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 2,24mm ve 1,95mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 0,67mm ve 2,33mm olarak okunmuştur. C30 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde

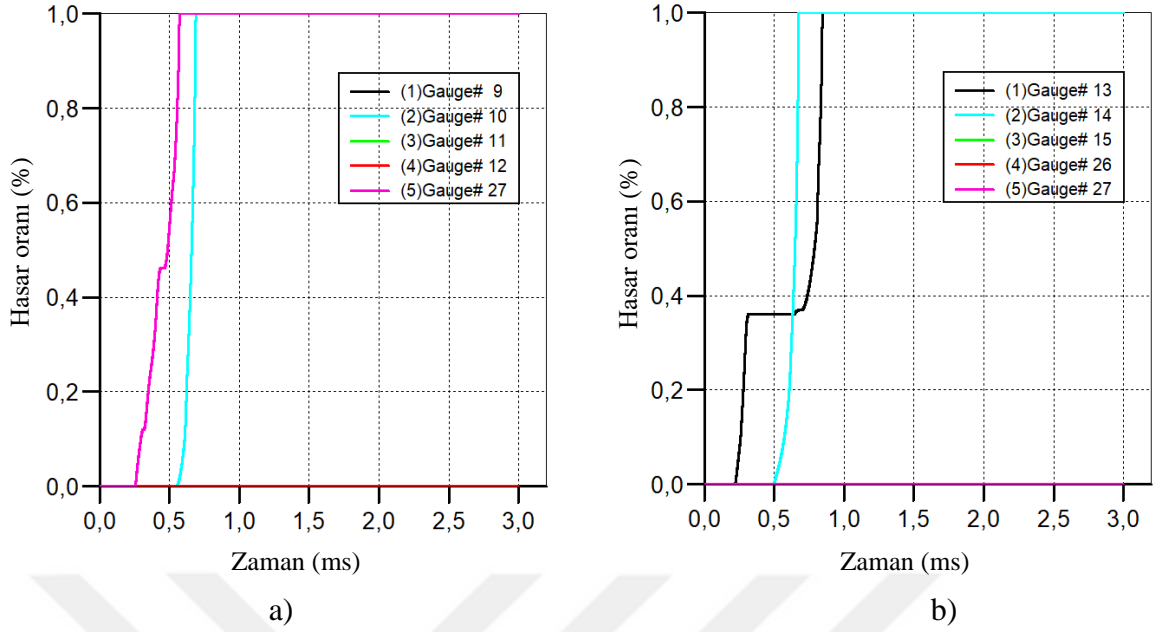
edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında yerdeğiştirmeler bazında önemli bir azalma olmadığı tespit edilmiştir.



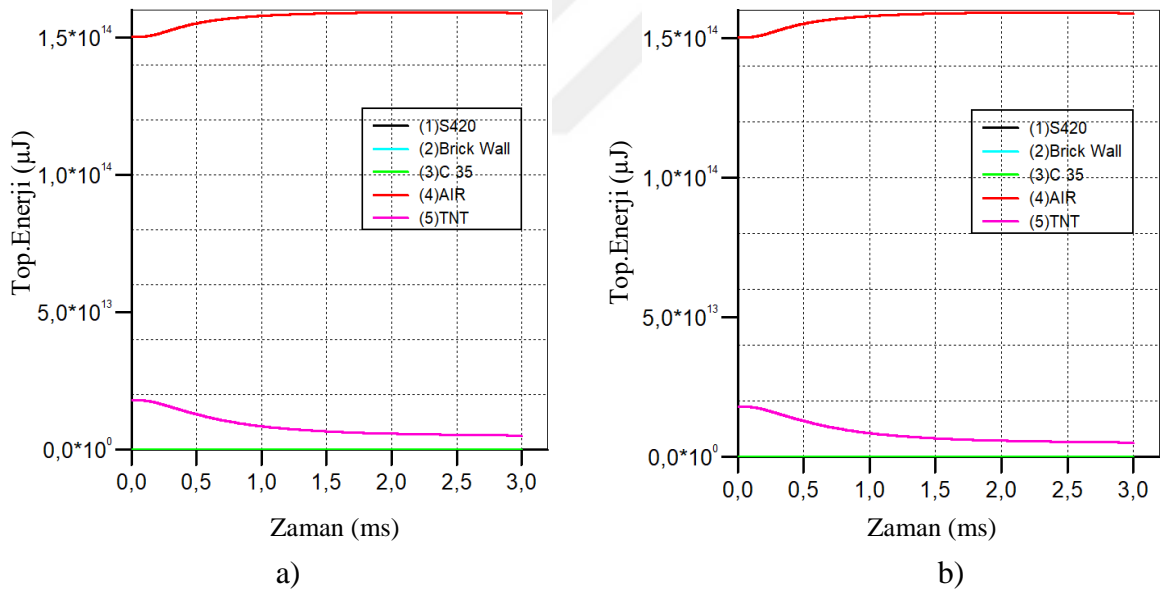
Şekil 2.64. C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar–zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,60ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,57ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,84ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,67ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C35 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.65’te verilmektedir.

TNT’nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.66’da verilmektedir. Model 1’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C35 betonu tarafından $1,48 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $3,18 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,68 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,25 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir. Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C35 betonu tarafından $1,45 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $1,75 \times 10^8$, tuğla tarafından $2,67 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



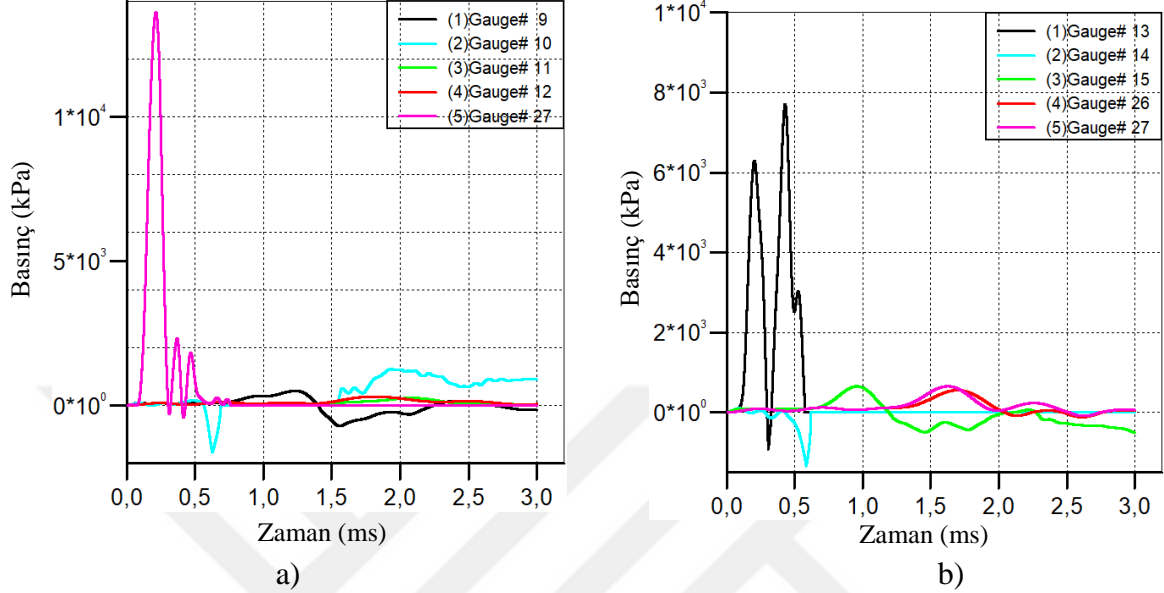
Şekil 2.65. C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.66. C35 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

10 kg TNT ve C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.67'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla 3×2×1 br³ olarak tanımlanmış ve her birim 100 mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 13.62 MPa olarak

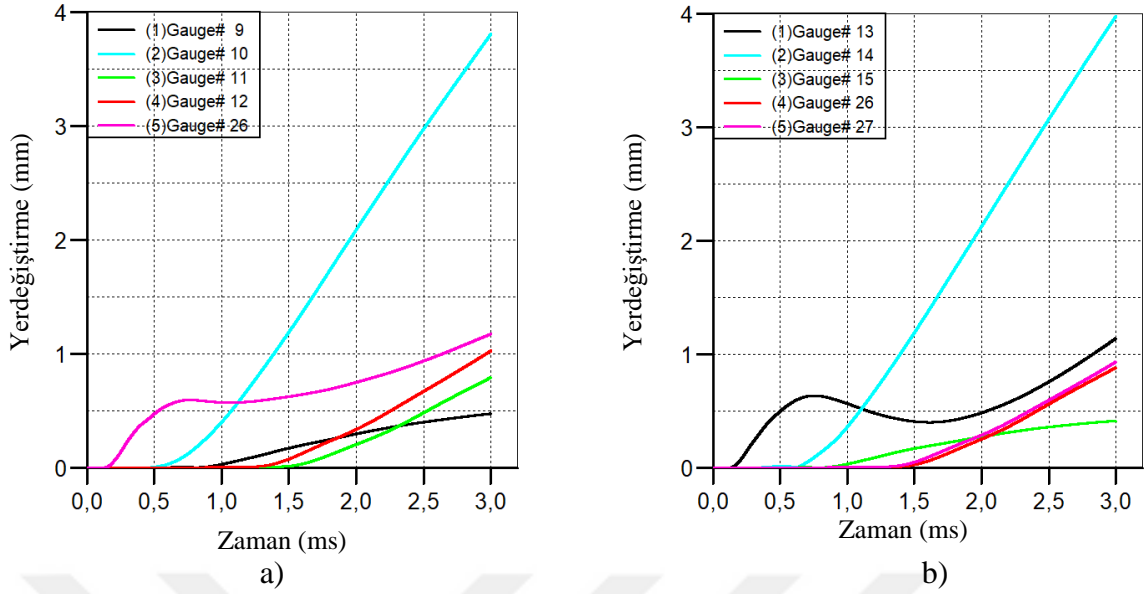
ölçülmüştür. Model 2’de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 7.71 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



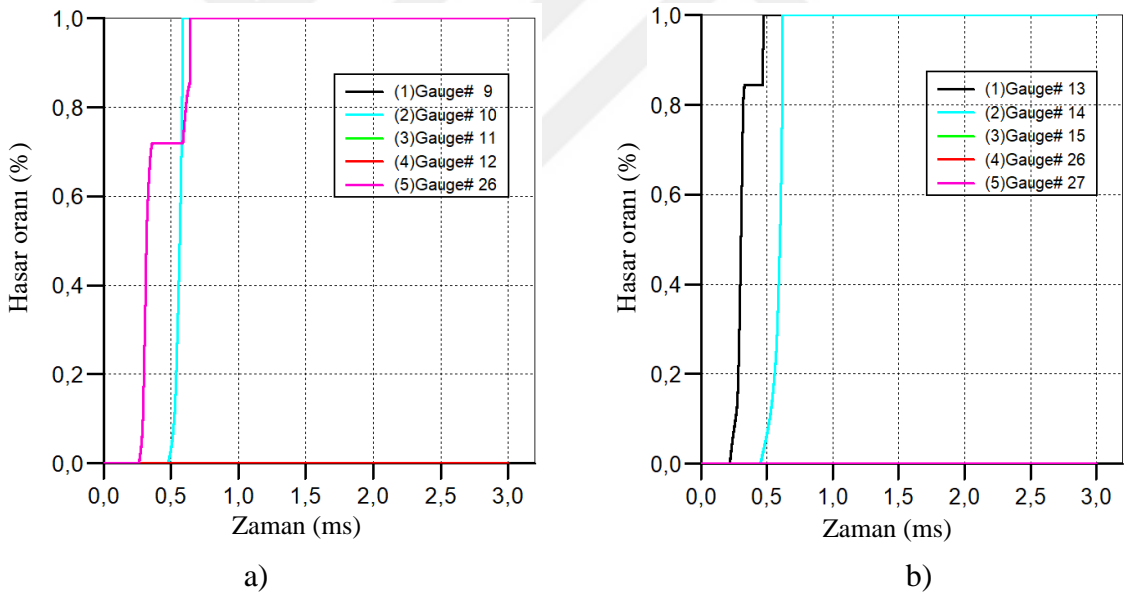
Şekil 2.67. C35 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C35 beton sınıfı 10 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.68’de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 3,81mm ve 1,17 mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 1,14mm ve 3,98 mm olarak okunmuştur. Düşük ağırlıktaki patlayıcı kullanımında her iki modelde de genelde kolon orta noktalarında yerdeğiştirmelerin kolon alt ucundaki ölçümlerden daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,58ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,64ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,47ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,61ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C35 beton malzeme ve 10 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.69’da verilmektedir.



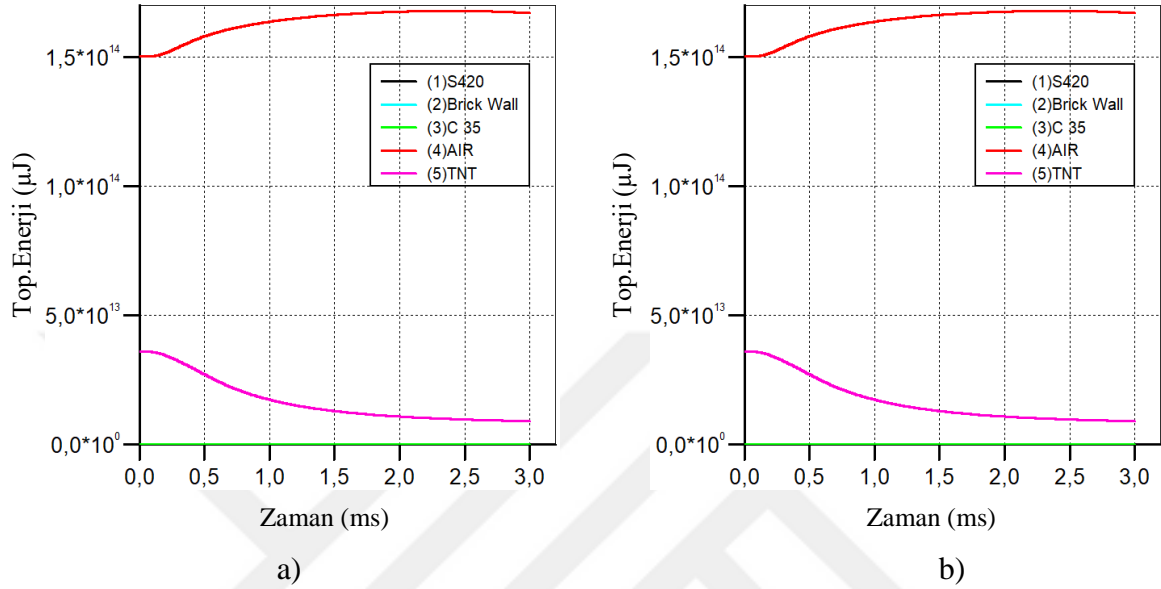
Şekil 2.68. C35 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.69. C35 beton sınıfı 10 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.70'te verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C35 betonu tarafından $3,22 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $7,35 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $8,17 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

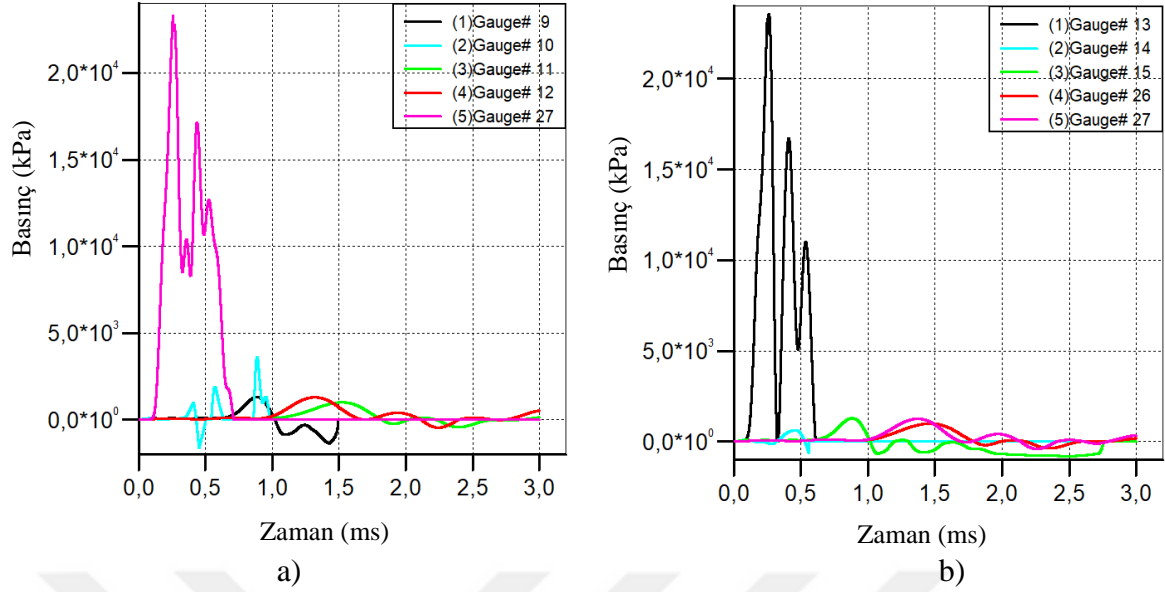
Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C35 betonu tarafından $3,12 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $4,81 \times 10^8$, tuğla tarafından $8,16 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



Şekil 2.70. C35 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

25 kg TNT ve C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.71’de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1’de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 23,30 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2’de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 23,55 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

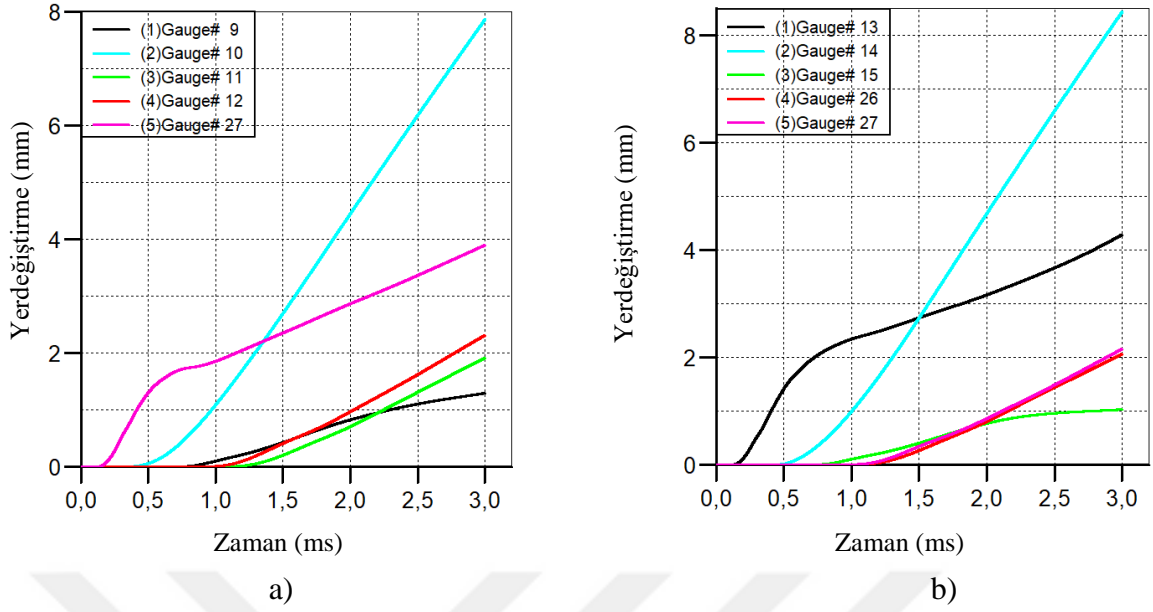
C35 beton sınıfı 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.72’de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 7,87mm ve 3,90 mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 4,30mm ve 8,45mm olarak okunmuştur.



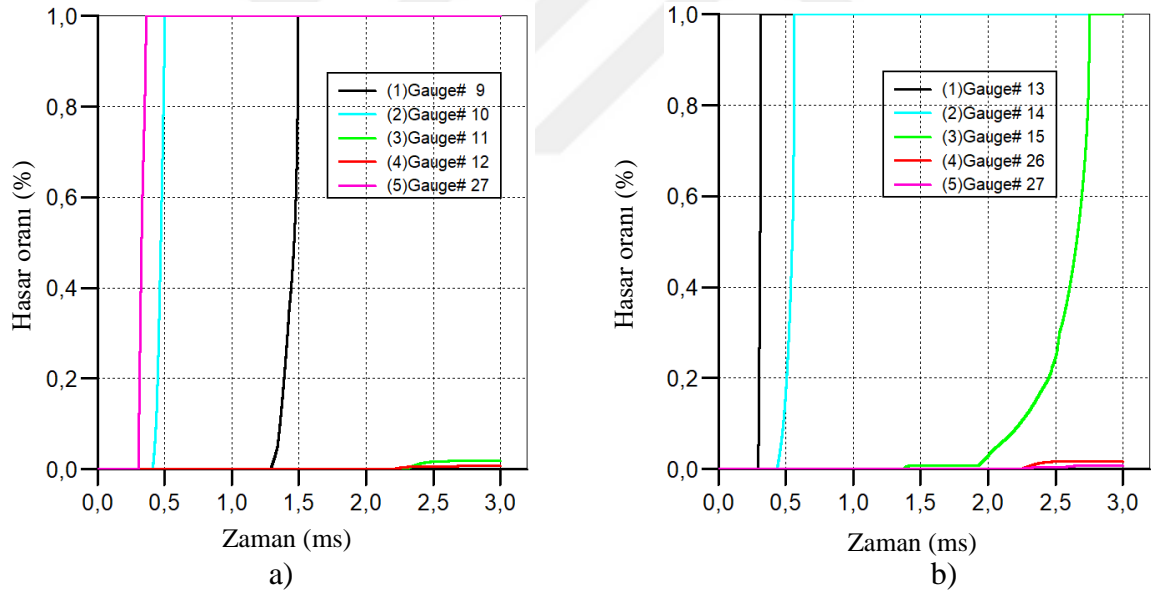
Şekil 2.71. C35 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,36ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,50ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,31ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,56ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C35 beton malzeme ve 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.73'de verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.74'te verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,00 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C35 betonu tarafından $1,30 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,82 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $4,17 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,90 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C35 betonu tarafından $1,3 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,53 \times 10^9$, tuğla tarafından $4,17 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,89 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



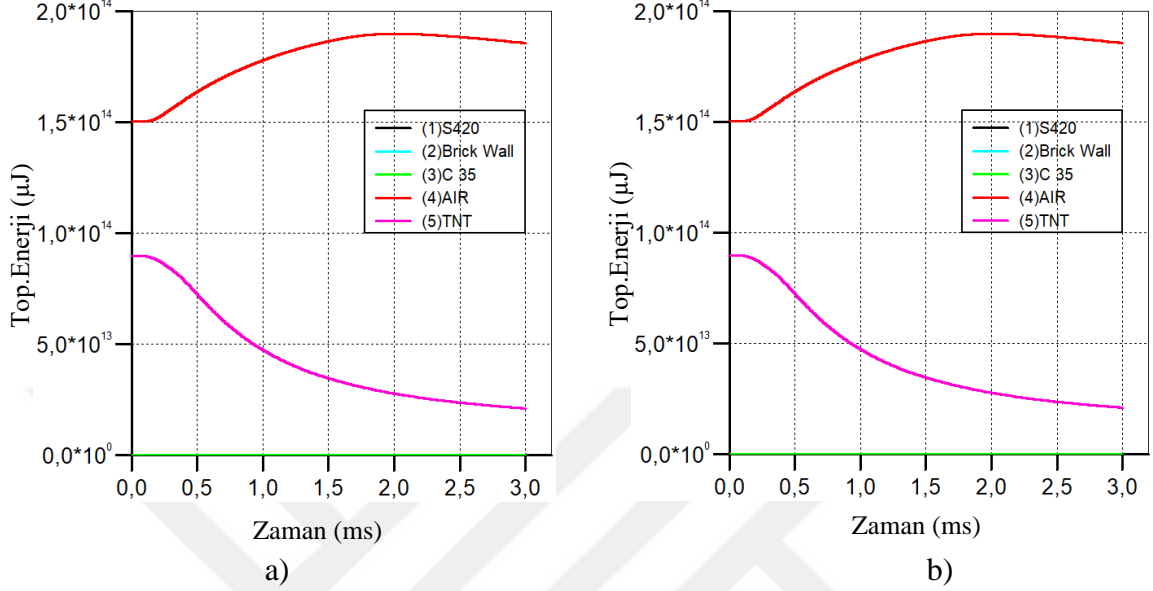
Şekil 2.72. C35 beton sınıfı 25 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



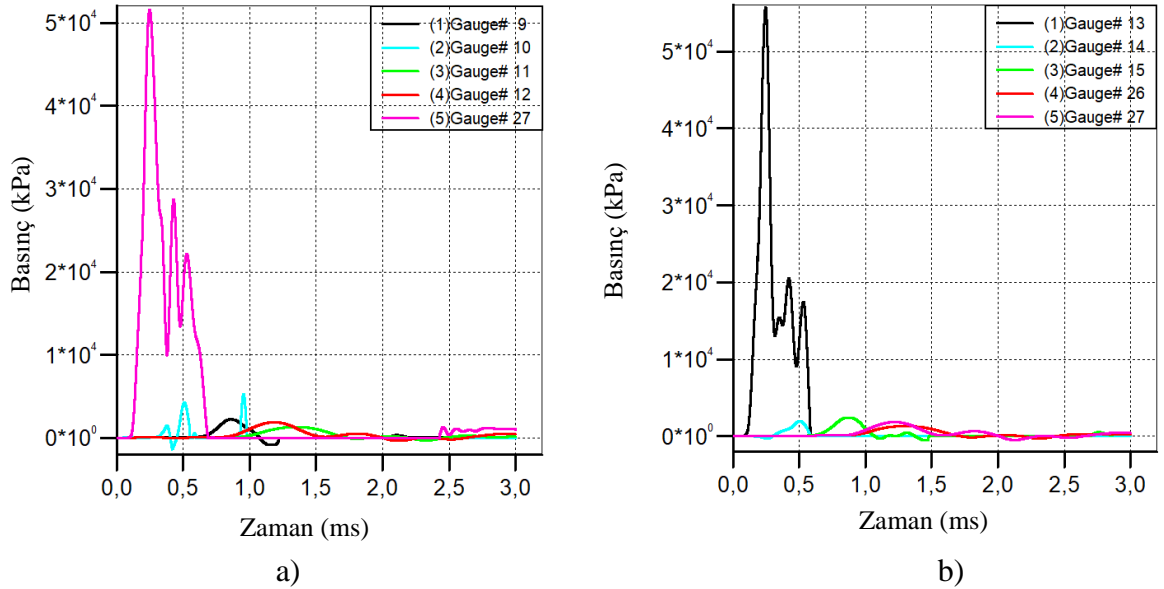
Şekil 2.73. C35 beton sınıfı 25 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

50 kg TNT ve C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.75'te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 2 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de en büyük basınç G27 ölçüm noktasından 51,51 MPa olarak okunmuştur. Model 2'de en büyük yerdeğiştirme ise G13 ölçüm noktasında 55,68

MPa olarak okunmuştur. C35 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait basınç-zaman grafiği Şekil 2.75'te verilmektedir.



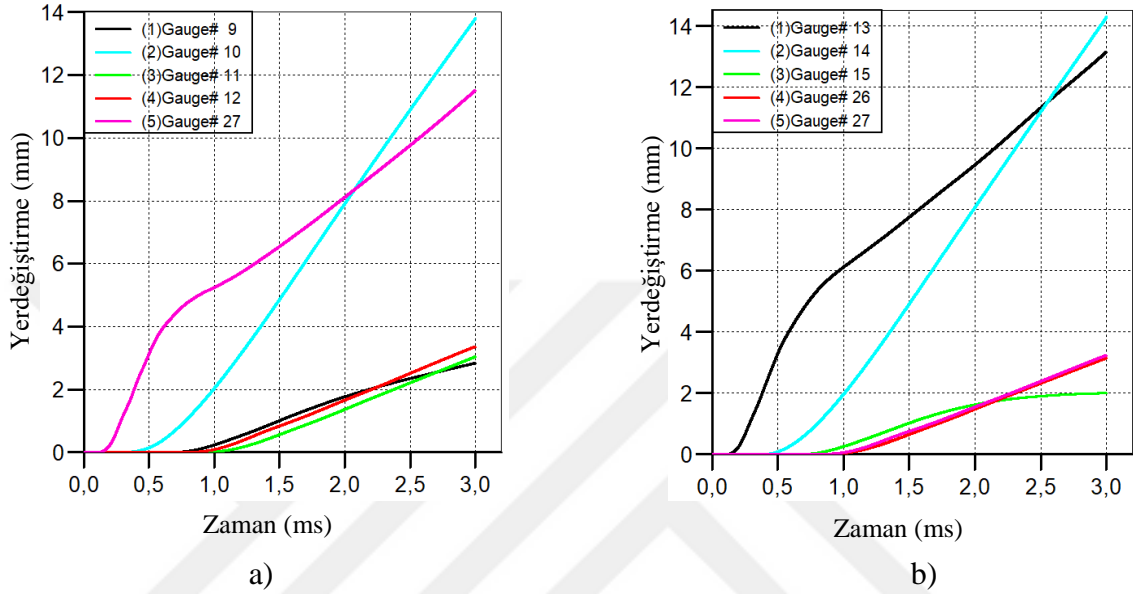
Şekil 2.74. C35 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



Şekil 2.75. C35 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait basınç-zaman grafikleri

C35 beton sınıfı 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.76'da verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük

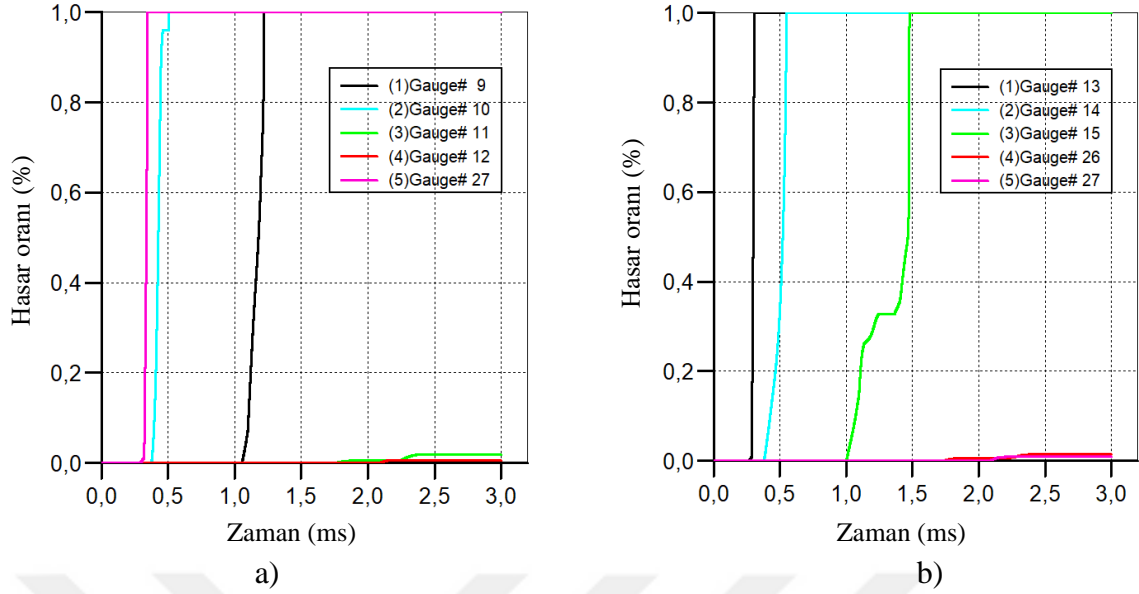
yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 13,8mm ve 11,52mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 13,2mm ve 14,3mm olarak okunmuştur.



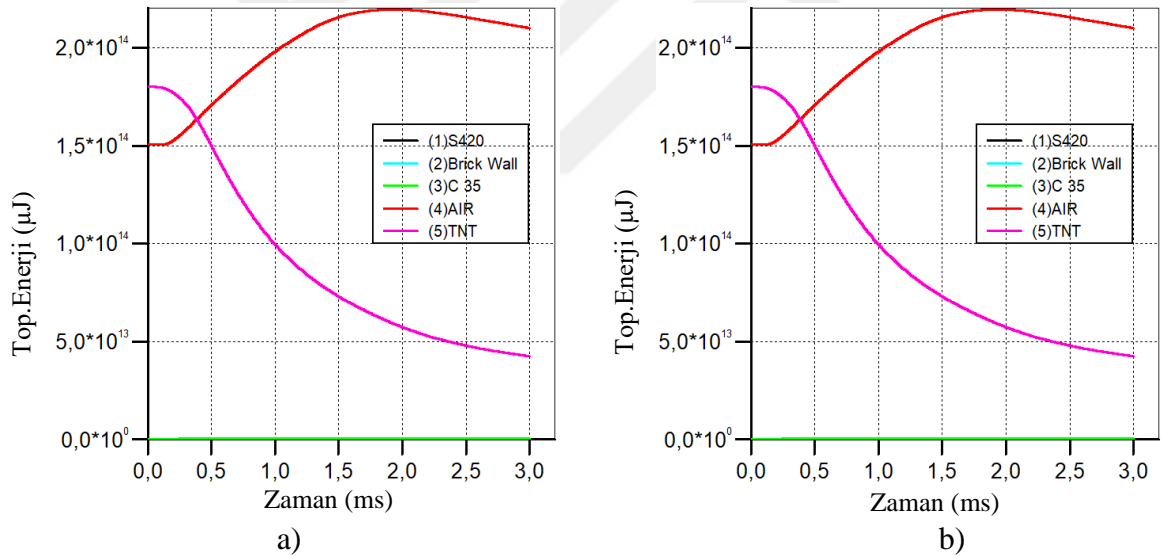
şekil 2.76. C35 beton sınıfı 50 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,34ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,51ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,30ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,55ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C35 beton malzeme ve 50kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri şekil 2.77'de verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları şekil 2.78'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C35 betonu tarafından $4,36 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,87 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C35 betonu tarafından $4,5 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $9,53 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



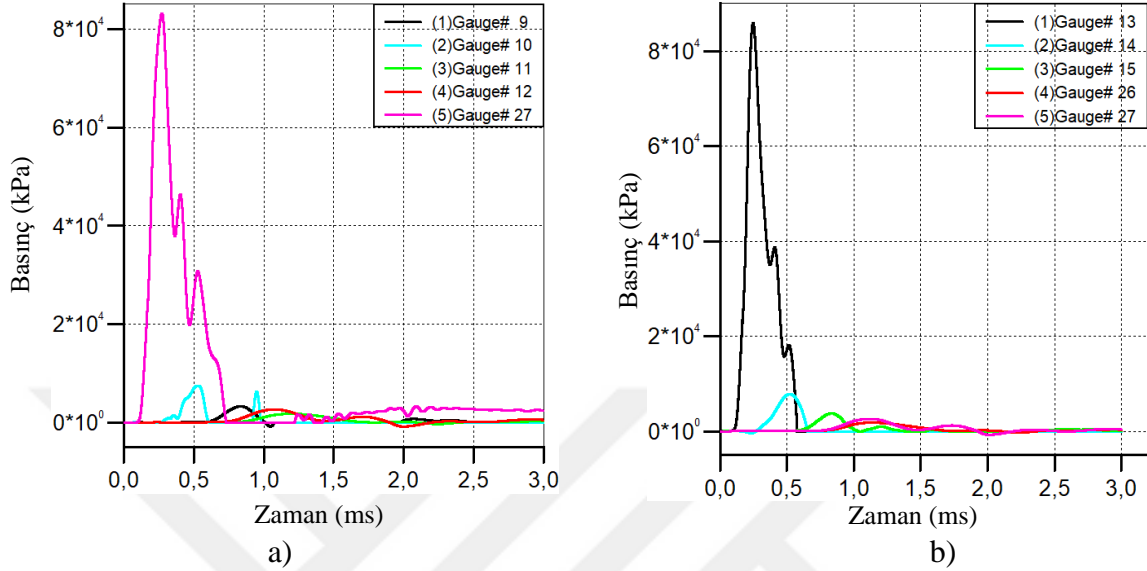
Şekil 2.77. C35 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.78. C35 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

100 kg TNT ve C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.79'da verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 4 \times 3$ br³ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 83,12 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 85,91 MPa'ya ulaştığı görülmektedir. C30 beton malzeme kullanılarak yapılan çalışma ile kıyaslandığında Model

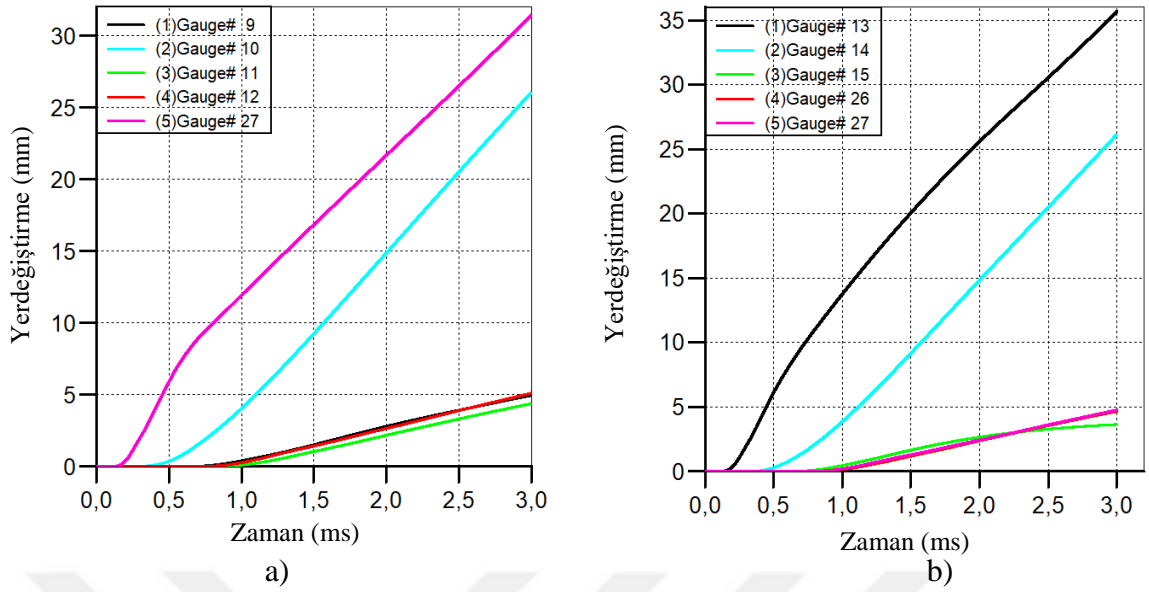
1’de basınç değeri önemli bir azalma görülmezken, Model 2’de basınç değerinin 0.65 MPa azaldığı gözlemlenmiştir.



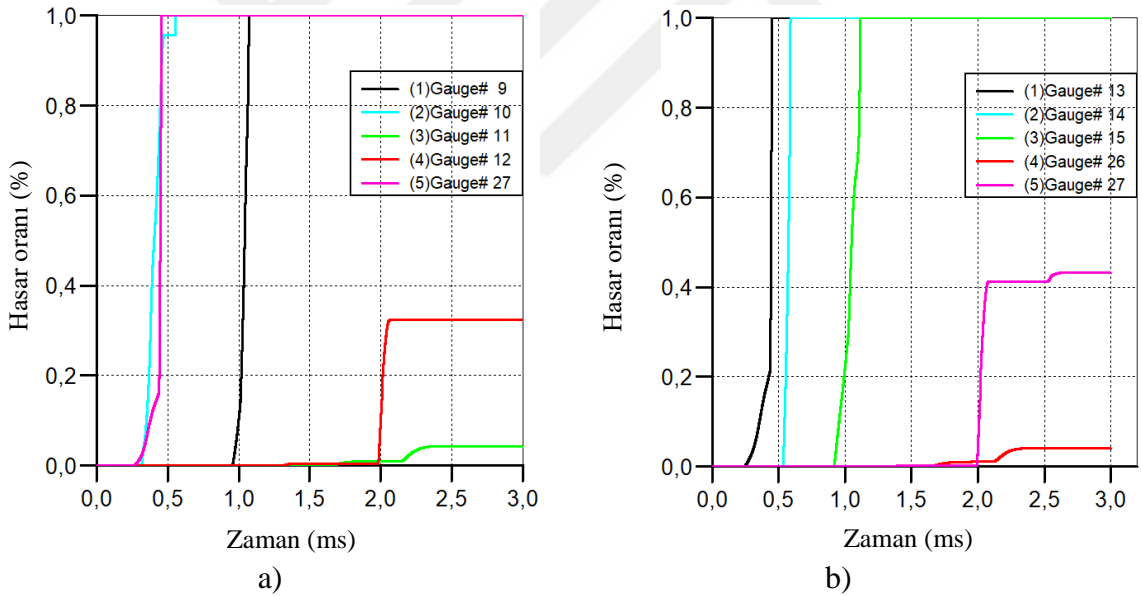
Şekil 2.79. C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C35 beton sınıfı 100 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.80’de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 26,11mm ve 31,50mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 35,67mm ve 26,13mm olarak okunmuştur. C25 beton malzeme ve 100kg TNT kullanılarak yapılan analizler ile karşılaştırıldığında yerdeğiştirmelerin Model 1’de 3mm, Model 2’de ise 4,33mm azaldığı tespit edilmiştir.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,46 ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,56ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,44ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,59ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C35 beton malzeme ve 100kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.81’de verilmektedir.



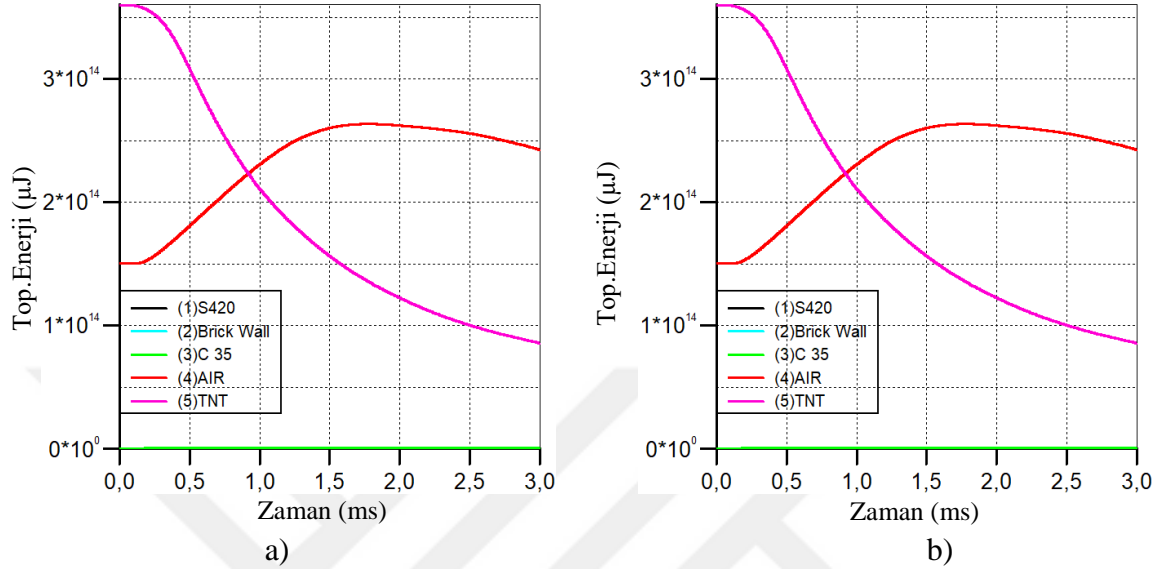
Şekil 2.80. C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.81. C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

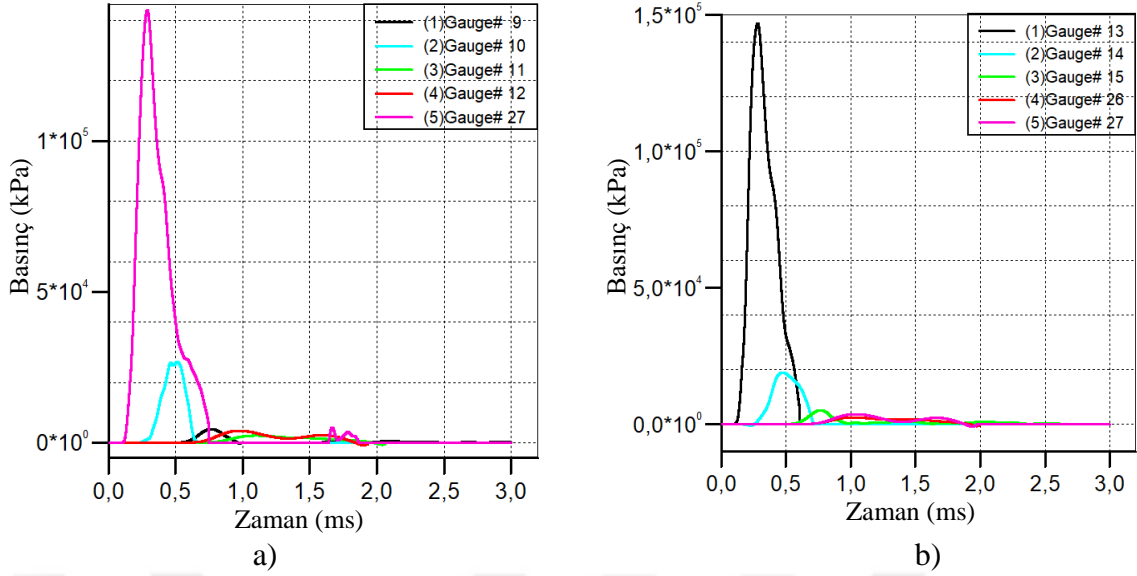
TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.82'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C35 betonu tarafından $1,10 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,47 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $5,88 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C35 betonu tarafından $1,14 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $3,77 \times 10^{10}$, tuğla tarafından $5,88 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



Şekil 2.82. C35 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

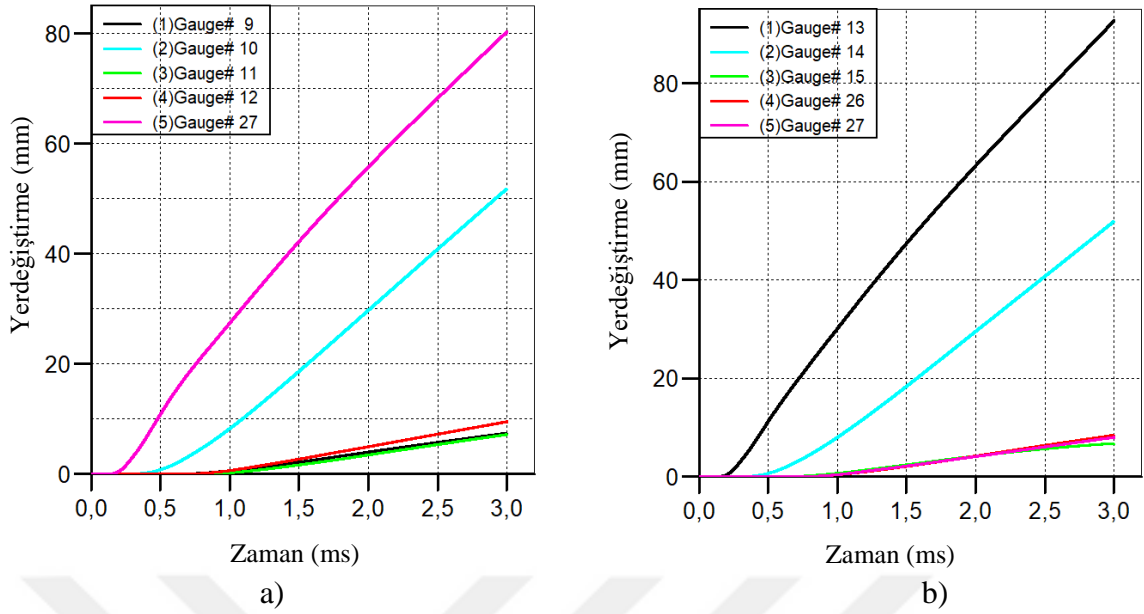
200 kg TNT ve C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.83’te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $6 \times 5 \times 4 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Model 1’de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 143.26 MPa değerine ulaştığı, Model 2’de ise bu değer 147 MPa’ya ulaştığı görülmektedir. C30 beton malzeme kullanılarak yapılan çalışma ile kıyaslandığında Model 1’de basınç değerinde 6 MPa büyüklüğünde bir azalma meydana gelirken, Model 2’de basınç değerinin de 6.4 MPa azaldığı gözlemlenmiştir. C25 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analiz ile C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında ise Model 1’de 8 MPa, Model 2’de ise 11 MPa değerinde basınç farkı gözlemlenmiştir.



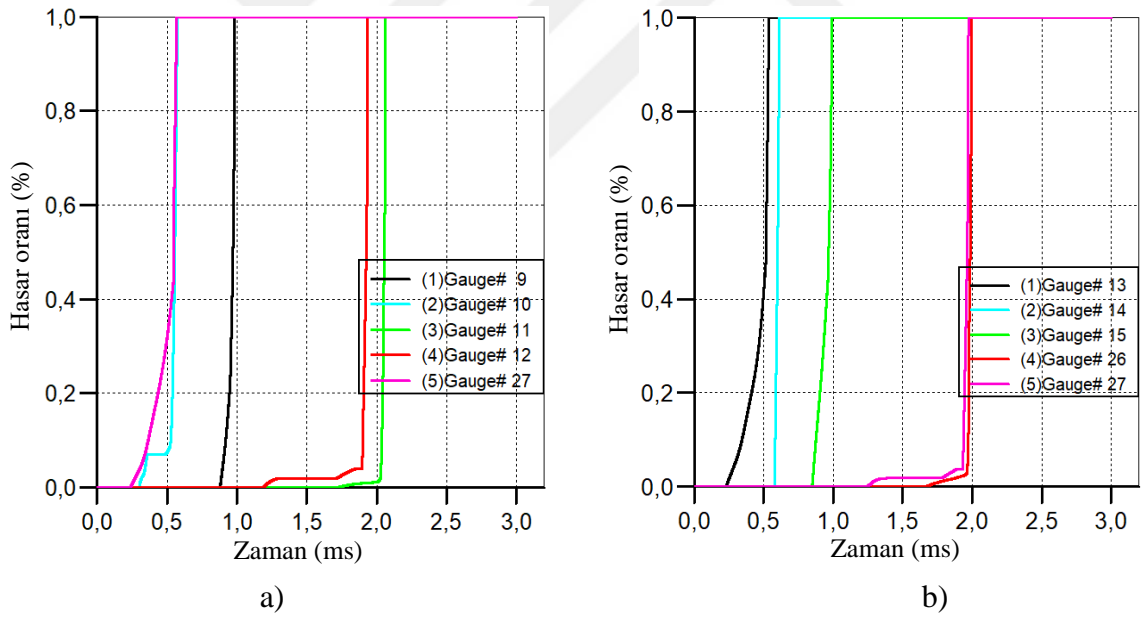
Şekil 2.83. C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.84'te verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 51,85mm ve 80,4mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 92,73mm ve 51,96mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,56ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,57ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,54ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,61ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C35 beton malzeme ve 200kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.85'te verilmektedir.



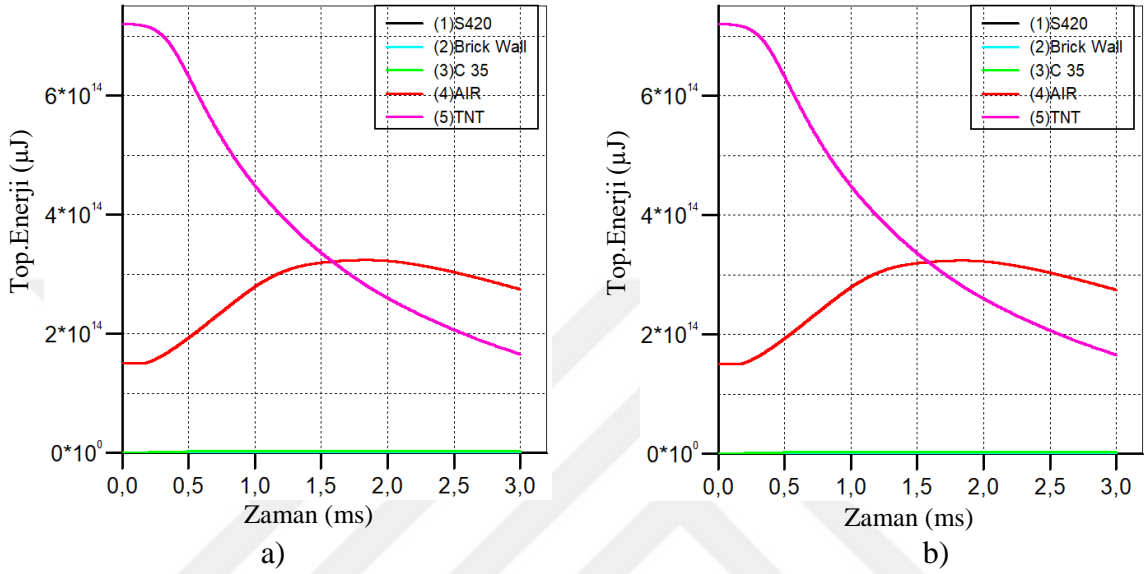
Şekil 2.84. C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.85. C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.86'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C35 betonu tarafından $3,30 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $7,85 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla

tarafından $2,19 \times 10^{12}$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14}$ μJ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14}$ μJ , C35 betonu tarafından $3,34 \times 10^{12}$ μJ , donatı tarafından $1,17 \times 10^{11}$, tuğla tarafından $2,22 \times 10^{12}$ μJ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14}$ μJ 'dir.

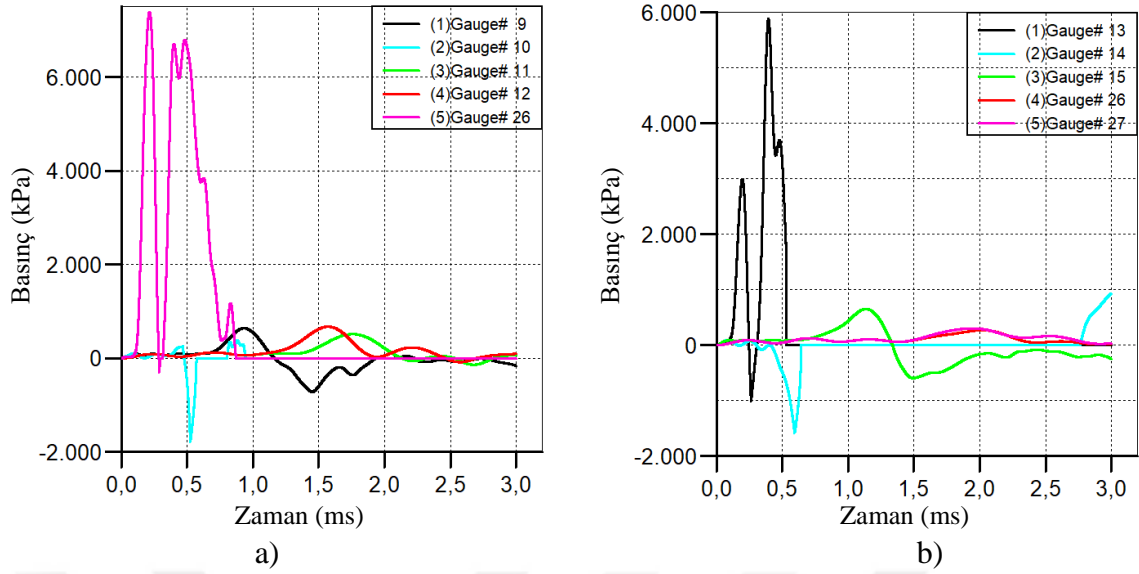


Şekil 2.86. C35 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

2.3.3.2.4. C40 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Tez çalışmasının bir önceki kısmında yapıya 0,5m mesafede C35 beton malzeme sınıfı kullanılarak değişen patlayıcı ağırlıklarında gösterdiği tepkiler incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında C40 beton malzeme sınıfı kullanılarak yapılan analiz çalışmaları sırasıyla verilmektedir. 5kg TNT ve C40 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.87'de verilmektedir. Burada patlayıcı modellenirken Euler yöntemi ile hava hacminin içerisine x, y ve z koordinatlarında $3 \times 1 \times 1$ br³ olarak tanımlanmıştır. Her birim ise daha önce tanımlandığı üzere sayısal ayrıklaştırma yöntemi ile 100 mm olarak belirlenmiştir.

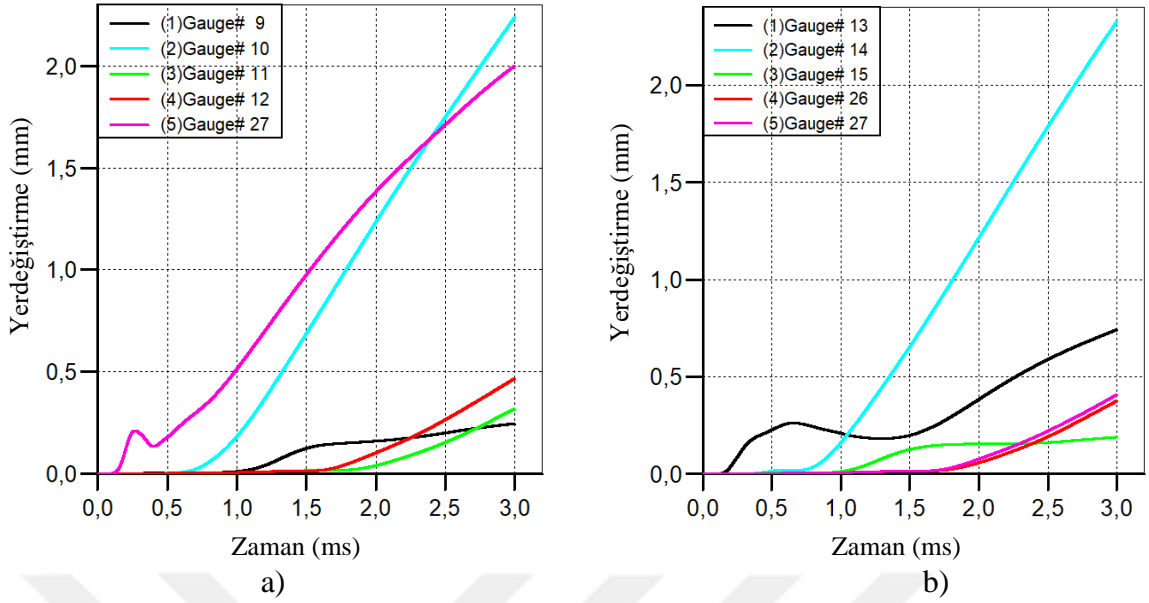
Model 1'de maksimum basıncın G26 numaralı ölçüm noktasında 7,38 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 5,88 MPa'ya ulaştığı görülmektedir.



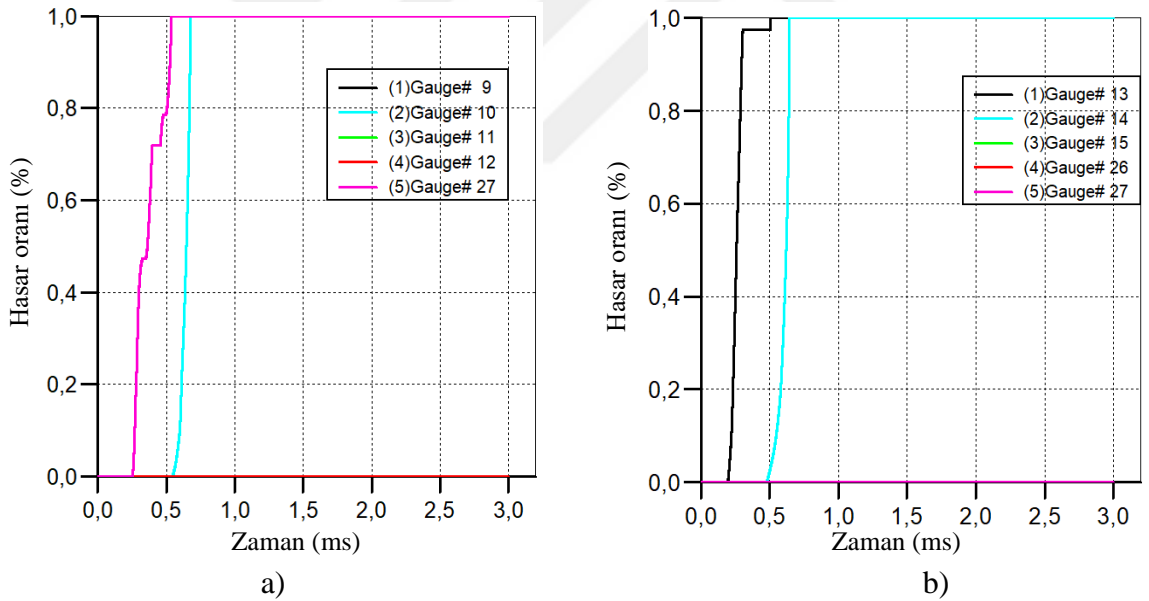
Şekil 2.87. C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C40 beton malzeme ve 5 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.88'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G26 ölçüm noktalarında sırasıyla 2,23mm ve 1,95mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 0,74mm ve 2,32mm olarak okunmuştur. C35 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında yerdeğiştirmeler bazında önemli bir azalma olmadığı tespit edilmiştir.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,54ms'de G26 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,67ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,50ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,64ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C40 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.89'da verilmektedir.



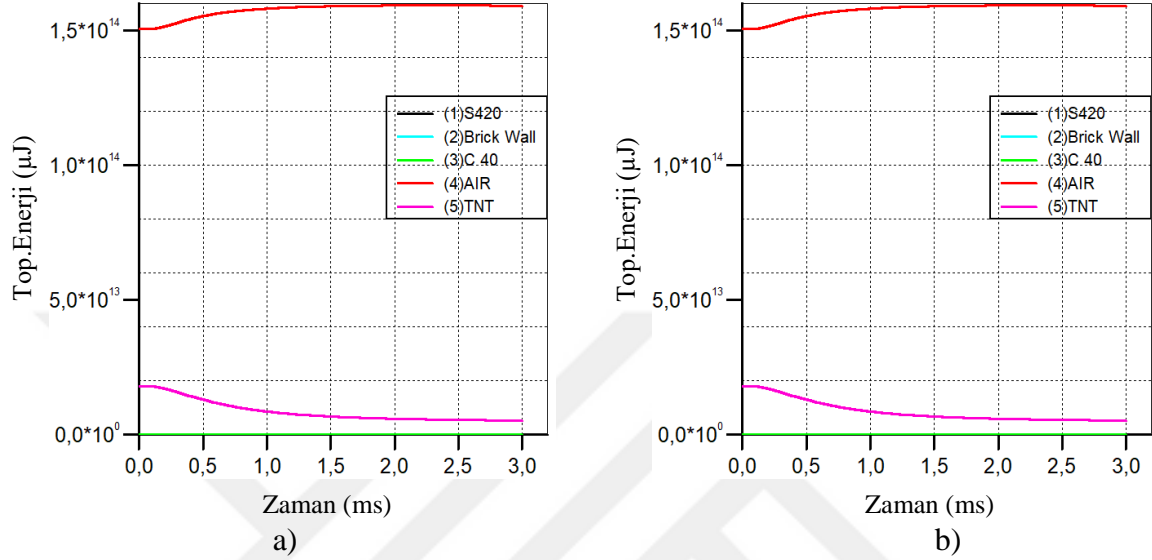
Şekil 2.88. C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.89. C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.90'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C40 betonu tarafından $1,38 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $1,65 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,67 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,59 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

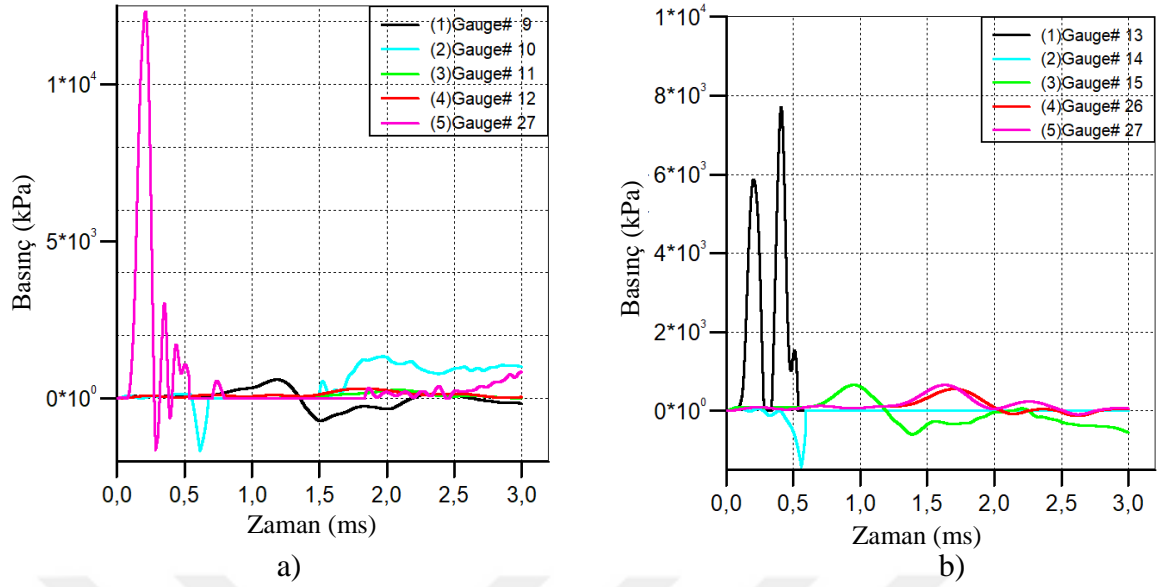
Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C40 betonu tarafından $1,37 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $1,92 \times 10^8$, tuğla tarafından $2,67 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,59 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



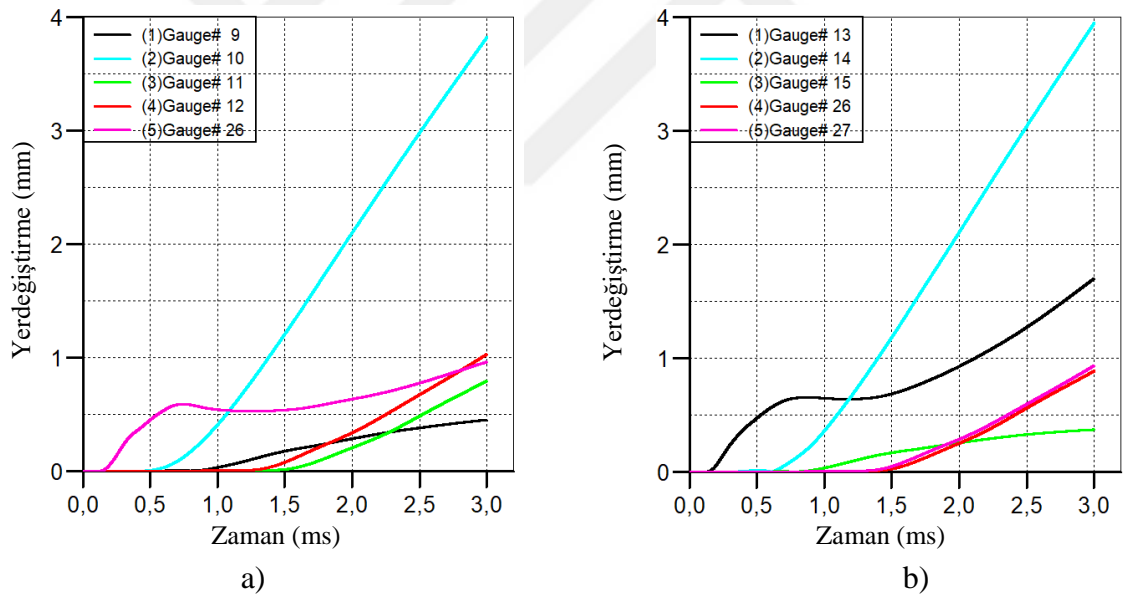
Şekil 2.90. C40 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

10kg TNT ve C40 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.91’de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $3 \times 2 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1’de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G26 numaralı ölçüm noktasında 12,31 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2’de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 7,71 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

C40 beton malzeme ve 10kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.92’de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G26 ölçüm noktalarında sırasıyla 1,03mm ve 3,82mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 1,7mm ve 3,95mm olarak okunmuştur. C35 beton malzeme ve 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında yerdeğiştirmeler bazında önemli bir azalma olmadığı tespit edilmiştir.



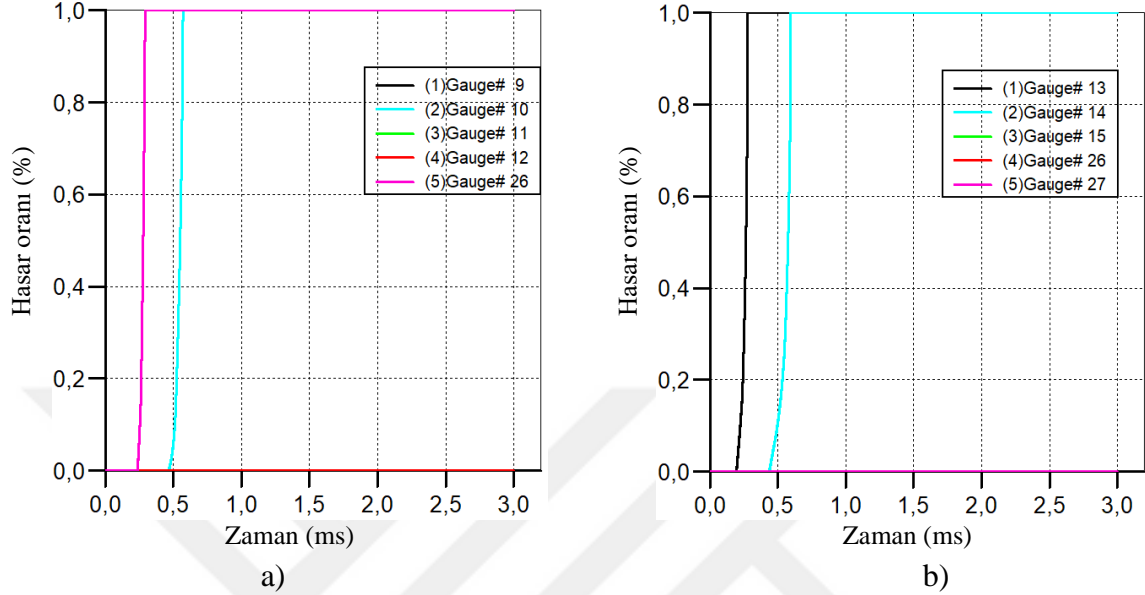
Şekil 2.91. C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



Şekil 2.92. C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

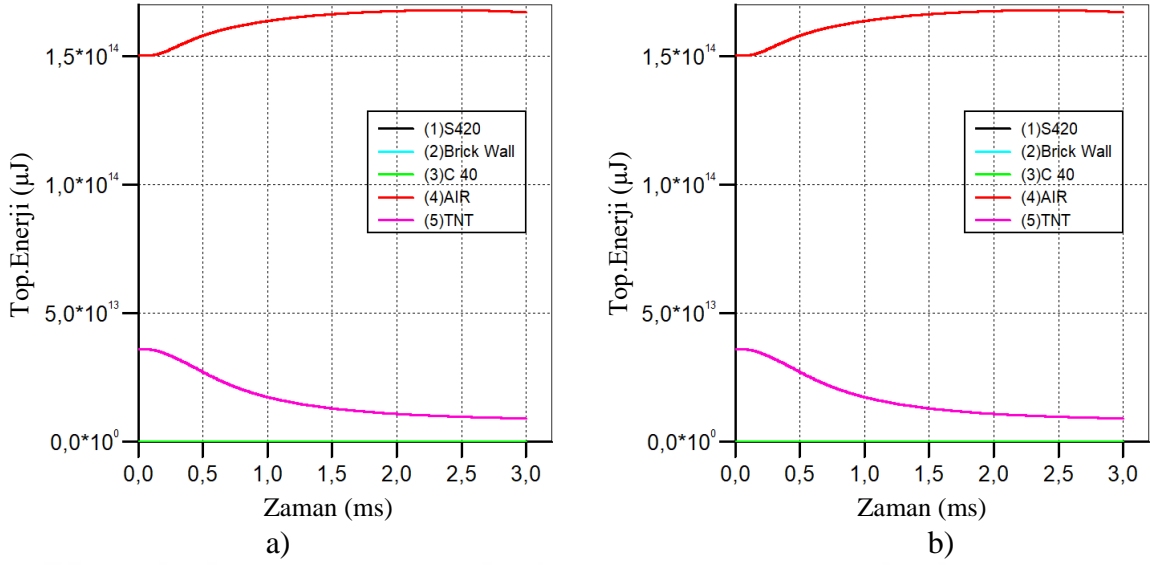
Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,29ms'de G26 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,57ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,28ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,59ms'de %100 hasar aldığı

tespit edilmiştir. C40 beton malzeme ve 10kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.93'te verilmektedir.



Şekil 2.93. C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

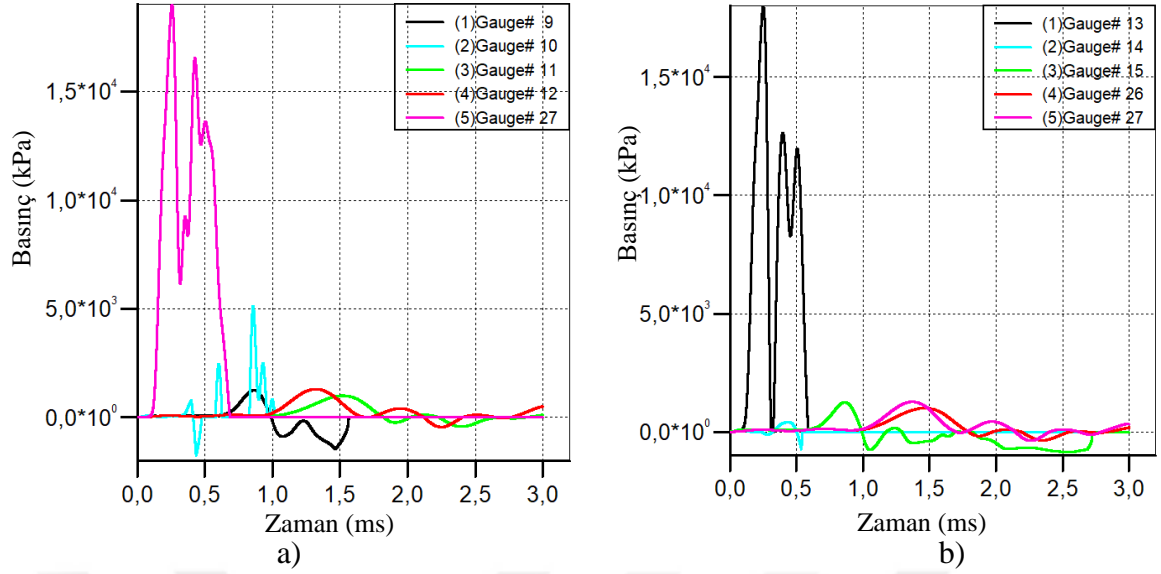
TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.94'te verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C40 betonu tarafından $2,98 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $7,13 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $8,22 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C40 betonu tarafından $2,94 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $4,87 \times 10^8$, tuğla tarafından $8,14 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde TNT'nin infilak etmesiyle birlikte ortama yayılan enerji miktarları patlayıcı ağırlıklarının artmasıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. TNT tarafından ortama yayılan enerjinin büyük kısmını modellerin ve TNT'nin içinde bulunduğu hava hacmi absorbe etmekte, yapısal eleman olarak ise en büyük enerji absorbe eden malzemenin beton olduğu analiz sonuçlarından elde edilmiştir.



Şekil 2.94. C40 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

25 kg TNT ve C40 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.95'te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100 mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 18,98 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 17,96 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Aynı ağırlıkta patlayıcı ve C35 beton malzeme ile yapılan analizlerin basınç değerleri karşılaştırıldığında Model 1'de 4,32 MPa, Model 2'de ise 5,6 MPa değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. C25 ve C30 beton malzemeleri ile kıyaslama yapıldığında ise her iki modelde meydana gelen basınç değerlerinin ortalama 6 MPa civarında azaldığı tespit edilmiştir.

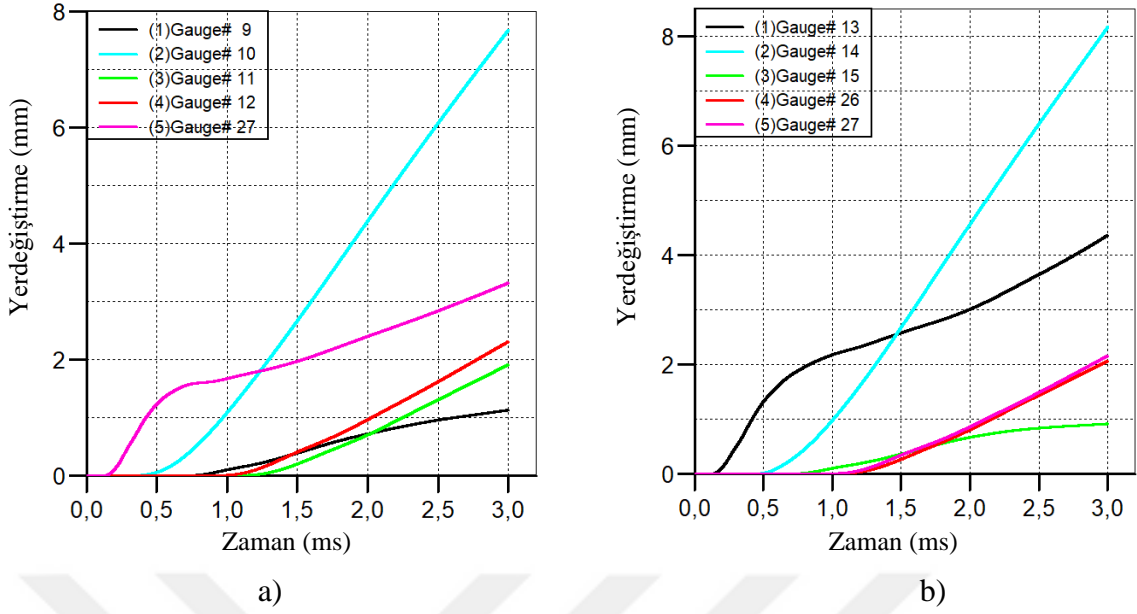
C40 beton malzeme ve 25kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.96'da verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 7,70mm ve 3,33mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 4.4mm ve 8.17mm olarak okunmuştur. C35 beton malzeme ve 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında yerdeğiştirmeler bazında ihmal edilebilir düzeyde küçük yerdeğiştirme farkı olduğu tespit edilmiştir.



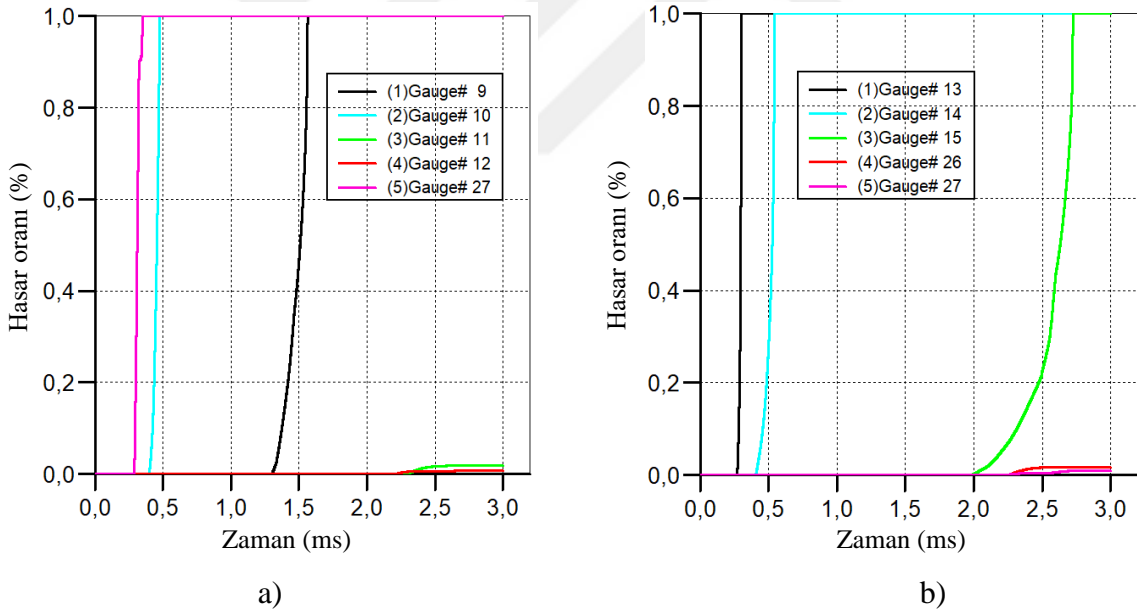
Şekil 2.95. C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,35ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,47ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,13ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,54ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C40 beton malzeme ve 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.97'de verilmektedir. C25, C30 ve C35 beton malzeme sınıfları ile aynı ağırlıkta TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçları karşılaştırıldığında beton malzeme sınıfı seçiminin hasar alma süresinde etkili parametre olduğu sonucu elde edilmiştir.

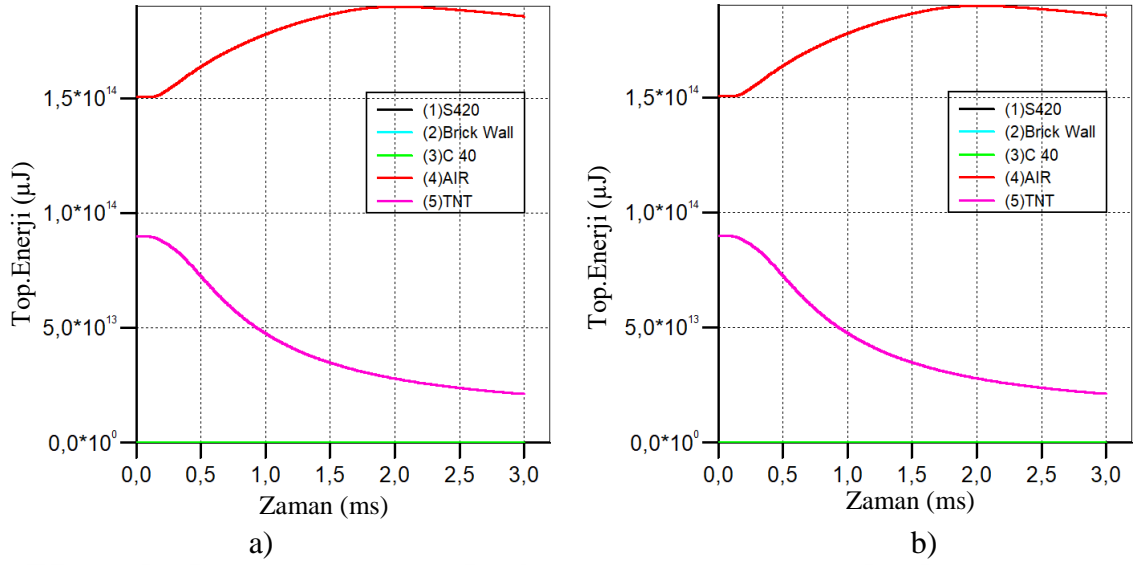
TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.98'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C40 betonu tarafından $1,21 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,73 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $4,22 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,9 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C40 betonu tarafından $1,20 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,32 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,87 \times 10^{14} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,9 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



Şekil 2.96. C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



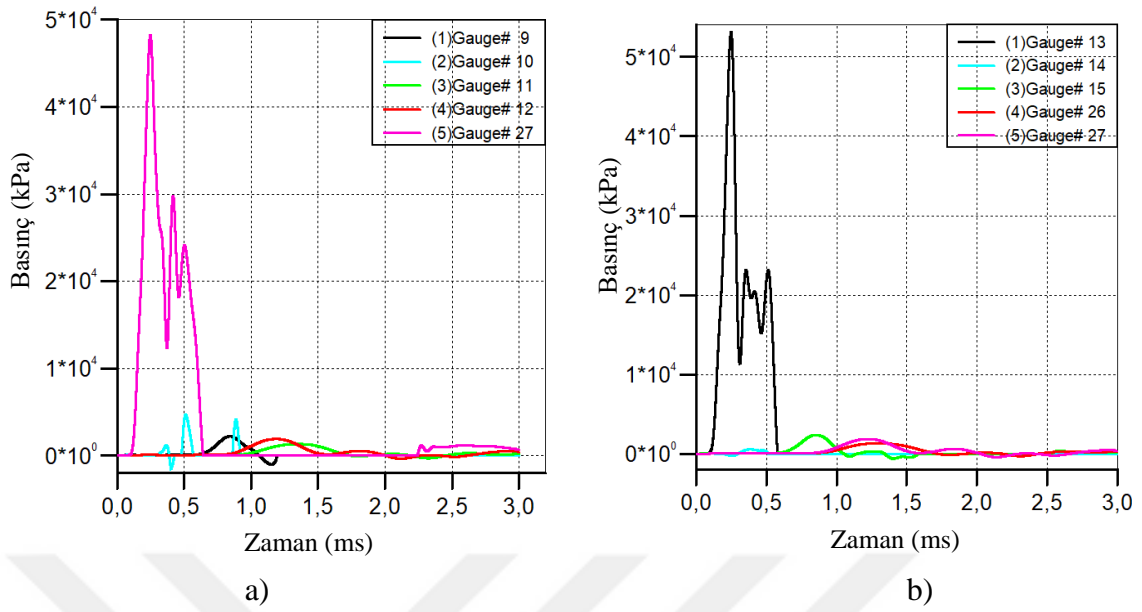
Şekil 2.97. C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



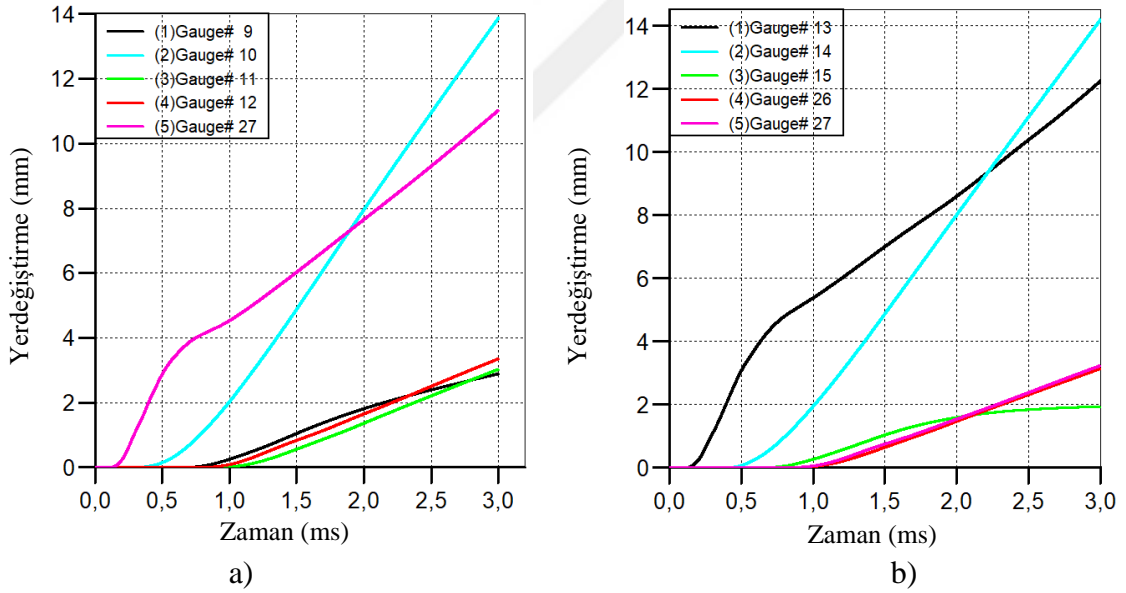
Şekil 2.98. C40 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

50 kg TNT ve C40 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.99'da verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 2$ br³ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de en büyük basınç G27 ölçüm noktasından 48,21 MPa olarak okunmuştur. Model 2'de en büyük basınç değeri ise G13 ölçüm noktasında 53,12 MPa olarak okunmuştur. C40 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait basınç-zaman grafiği Şekil 2.99'da verilmektedir. Aynı ağırlıkta patlayıcı ve C35 beton malzeme ile yapılan analizlerin basınç değerleri karşılaştırıldığında her iki model içinde 3 MPa değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

C40 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.100'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 13,88 mm ve 11,03 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 12,27 mm ve 14,22 mm olarak okunmuştur. C35 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirme sonuçları ile mevcut analiz sonuçları karşılaştırıldığında yerdeğiştirmeler bazında ihmal edilebilir düzeyde küçük yerdeğiştirme farkı olduğu tespit edilmiştir.



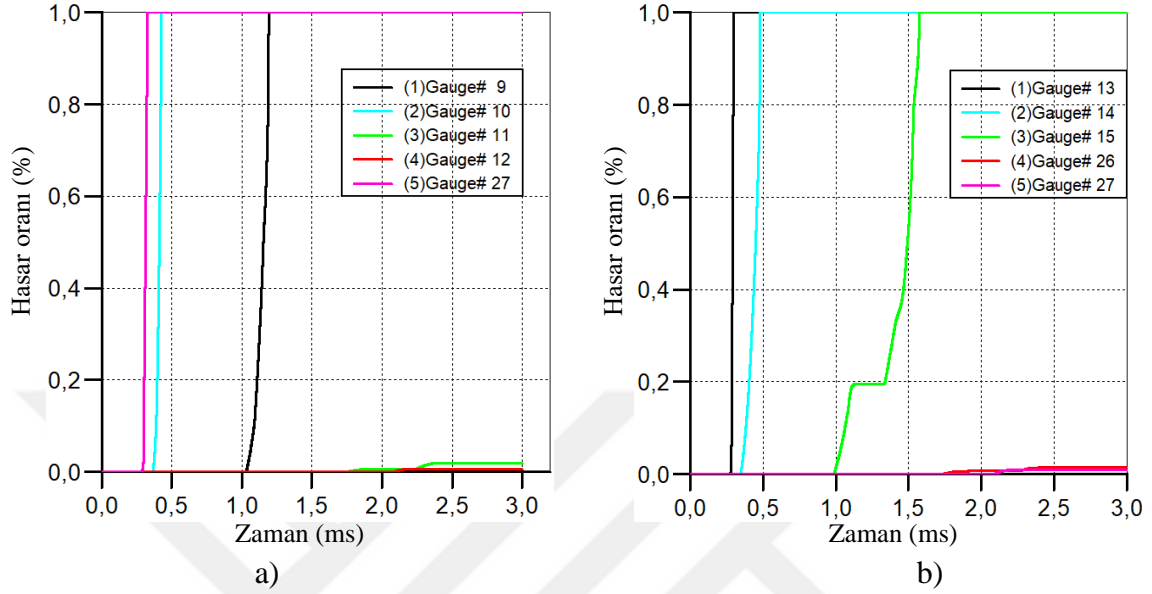
Şekil 2.99. C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



Şekil 2.100. C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,33ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,42ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,29ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,48ms'de %100 hasar aldığı

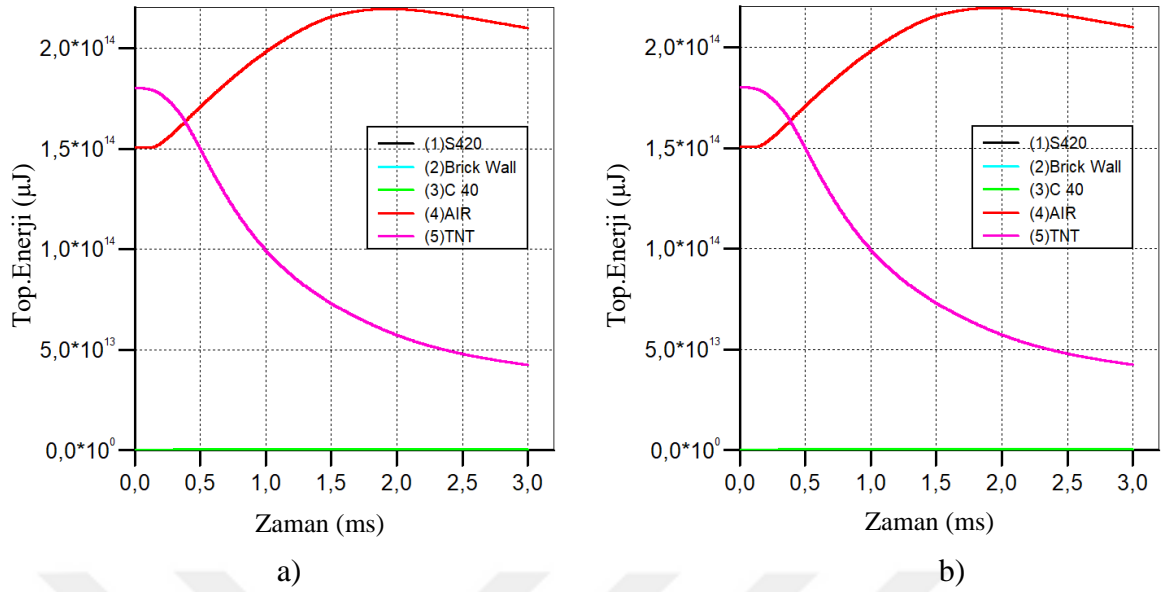
tespit edilmiştir. C40 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.101’de verilmektedir.



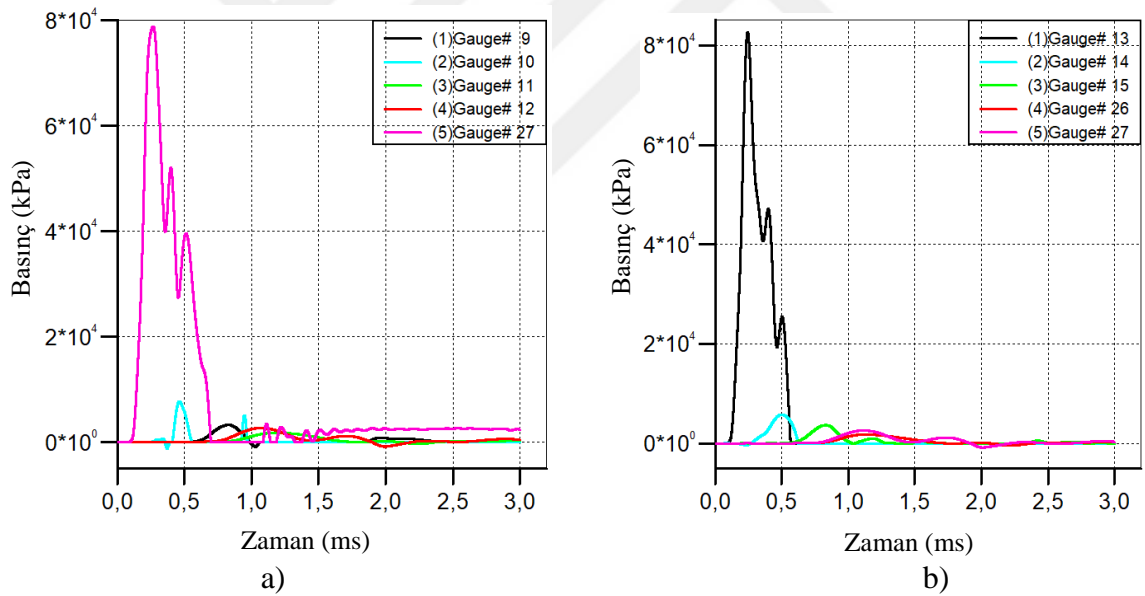
Şekil 2.101. C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT’nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.102’de verilmektedir. Model 1’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C40 betonu tarafından $4,07 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,43 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir. Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C40 betonu tarafından $4,21 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,82 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.

100kg TNT ve C40 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.103’te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 4 \times 3 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Model 1’de en büyük basınç G27 ölçüm noktasından 78,88 MPa olarak okunmuştur. Model 2’de en büyük basınç değeri ise G13 ölçüm noktasında 82,58 MPa olarak okunmuştur. C35 beton malzeme kullanılarak yapılan analizden elde edilen basınç değeri ile kıyaslandığında Model 1’de 4,24 MPa, Model 2’de 3,33 MPa azalma olduğu tespit edilmiştir.



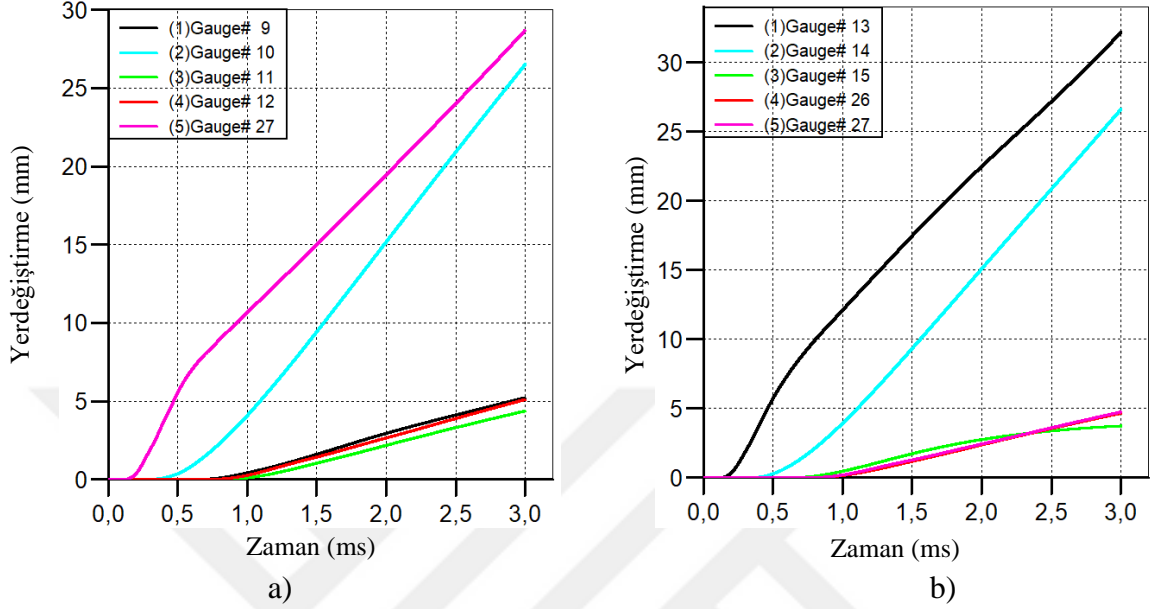
Şekil 2.102. C40 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



Şekil 2.103. C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C40 beton malzeme ve 100 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.104'te verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 26,53 mm ve 28,72 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon

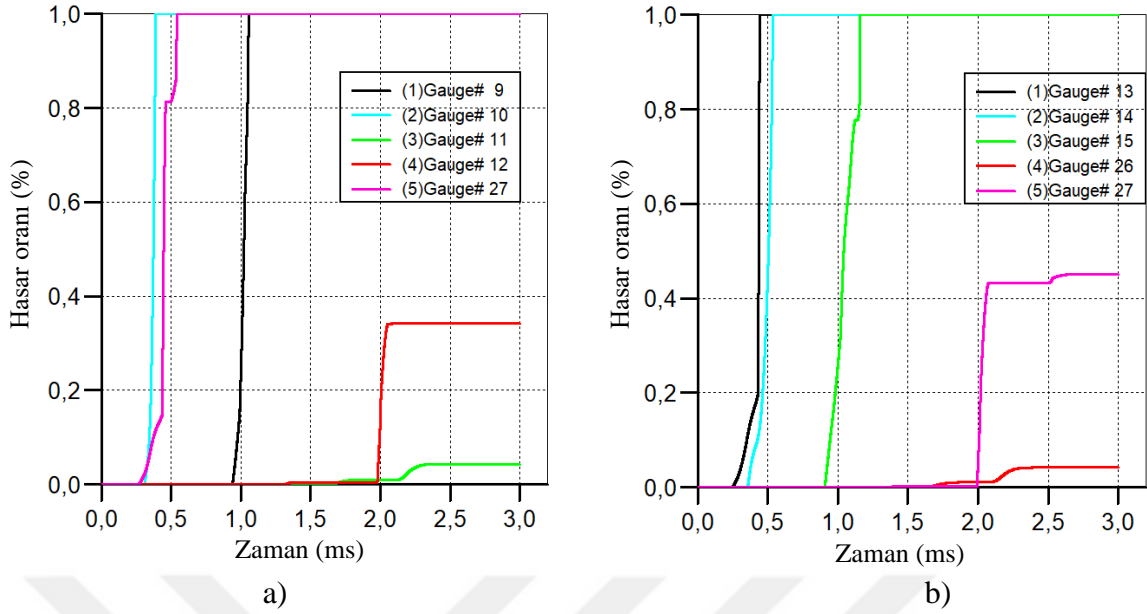
alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 32,20 mm ve 26,63 mm olarak okunmuştur.



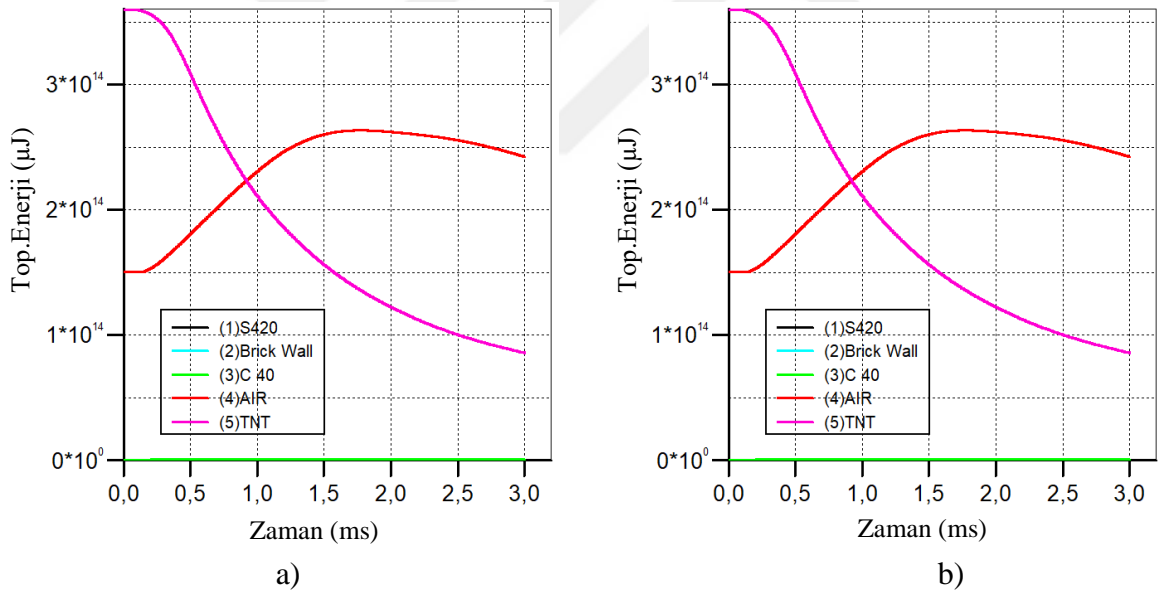
Şekil 2.104. C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,54ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,38ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,44ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,53ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C40 beton malzeme ve 100kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.105'te verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.106'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C40 betonu tarafından $1,04 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,39 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $5,86 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C40 betonu tarafından $1,10 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $3,59 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $5,89 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

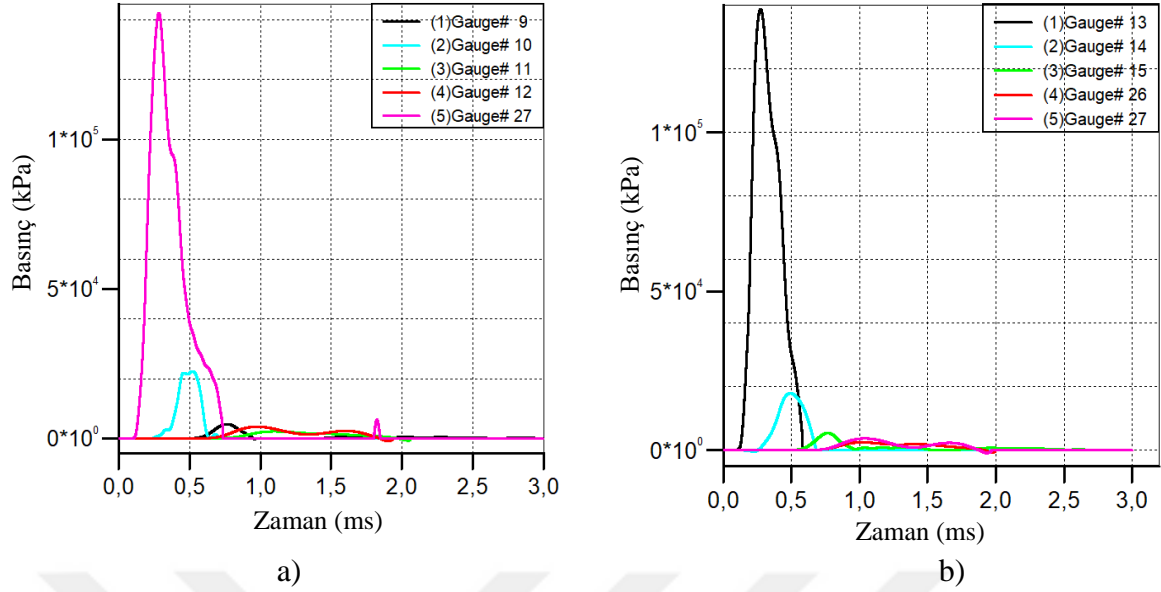


Şekil 2.105. C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.106. C40 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

200 kg TNT ve C40 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.107'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $6 \times 5 \times 4$ br³ olarak tanımlanmıştır. Model 1'de en büyük basınç G27 ölçüm noktasından 138,91 MPa olarak okunmuştur. Model 2'de en büyük basınç değeri ise G13 ölçüm noktasında 142,20 MPa olarak okunmuştur.



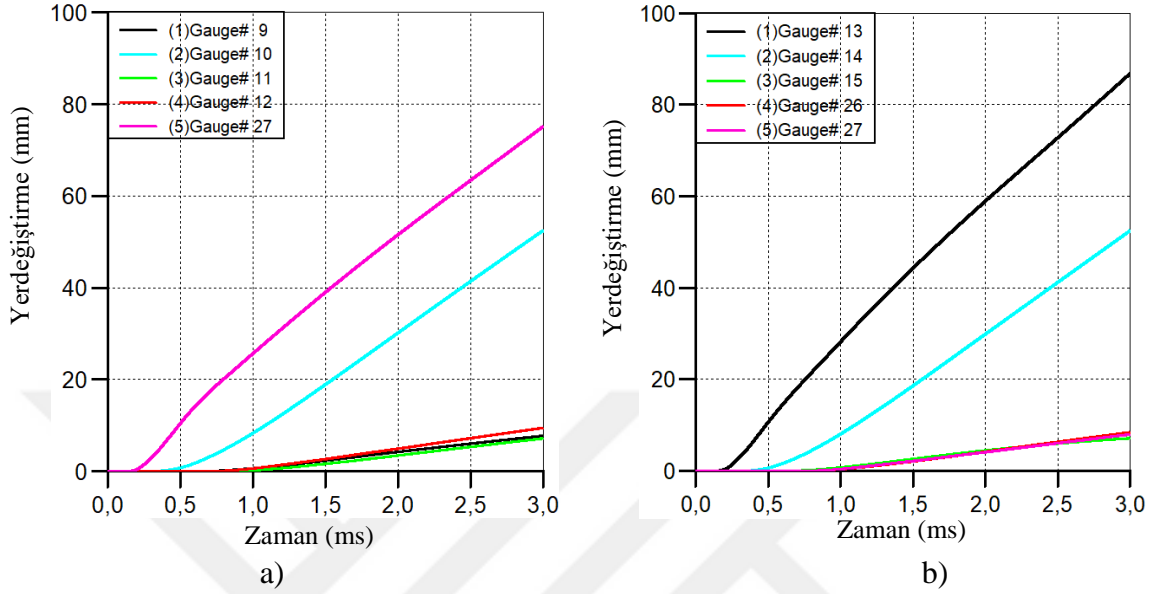
Şekil 2.107. C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C40 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.108'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 52,53mm ve 75,20mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 86,89mm ve 52,56mm olarak okunmuştur.

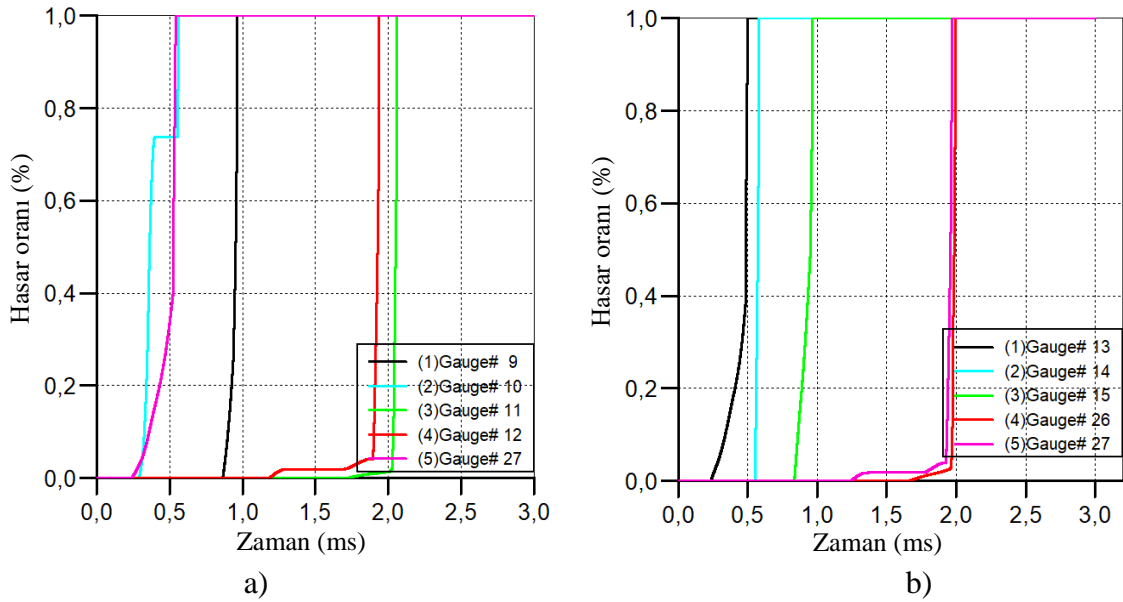
Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,54ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0.56ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,49ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,58ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C40 beton malzeme ve 200kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.109'da verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.110'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C40 betonu tarafından $3,14 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $7,56 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,2 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C40 betonu tarafından $3,17 \times 10^{12} \mu\text{J}$,

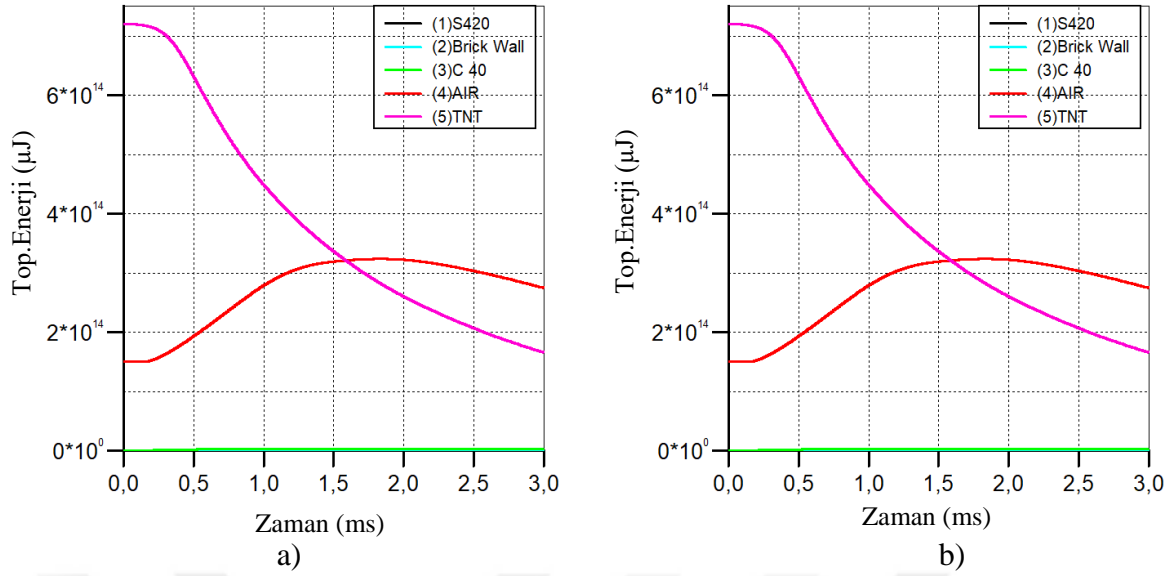
donatı tarafından $1,10 \times 10^{11} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,22 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



Şekil 2.108. C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.109. C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.110. C40 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

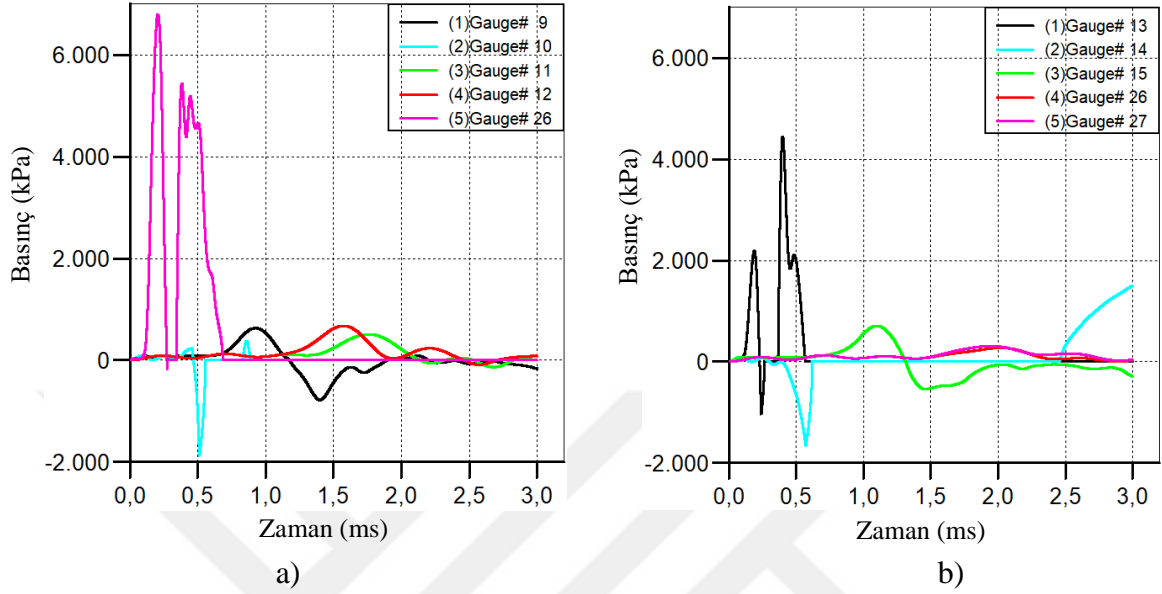
2.3.3.2.5. C45 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Tez çalışmasının bir önceki kısmında yapıya 0.5m mesafede C40 beton malzeme sınıfı kullanılarak değişen patlayıcı ağırlıklarında gösterdiği tepkiler incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında C45 beton malzeme sınıfı kullanılarak yapılan analiz çalışmaları sırasıyla verilmektedir. 5 kg TNT ve C45 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.111'de verilmektedir. Burada patlayıcı modellenirken Euler yöntemi ile hava hacminin içerisine x, y ve z koordinatlarında $3 \times 1 \times 1$ br³ olarak tanımlanmıştır. Her birim ise daha önce tanımlandığı üzere sayısal ayrıklaştırma yöntemi ile 100 mm olarak belirlenmiştir.

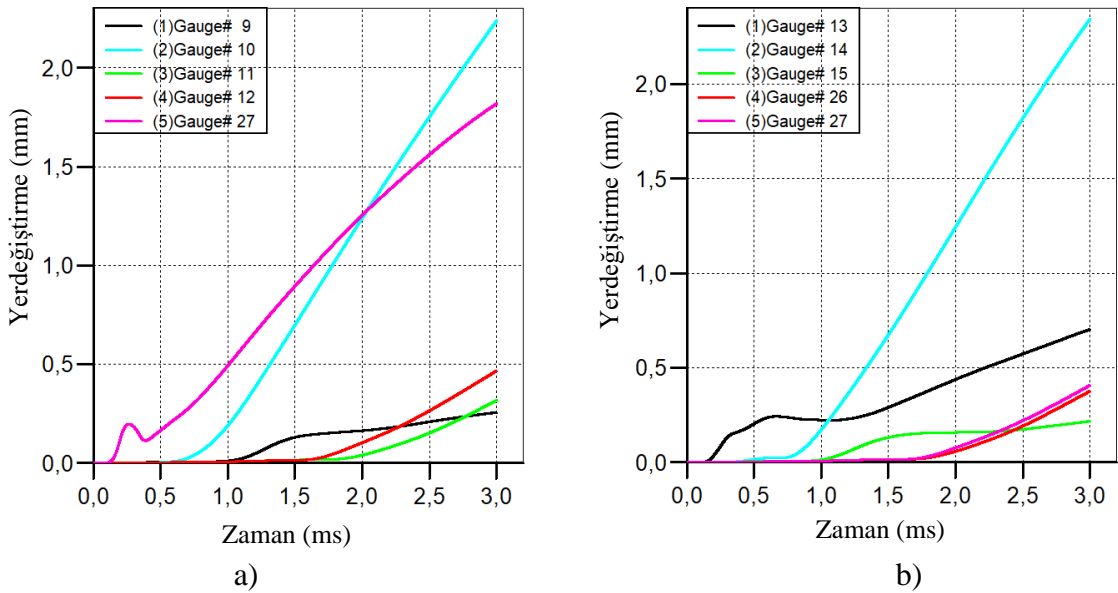
Model 1'de maksimum basıncın G27 numaralı ölçüm noktasında 6,8 MPa değerine ulaştığı, Model 2'de ise bu değer 4,4 MPa değerinde olduğu görülmektedir. C40 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucu ile karşılaştırıldığında Model 1'de 0,58 MPa, Model 2'de 1,48 MPa değerinde basıncın azaldığı sonucu elde edilmiştir.

C45 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.112'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 2,24mm ve 1,82mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve

orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 0,70mm ve 2,30mm olarak okunmuştur.



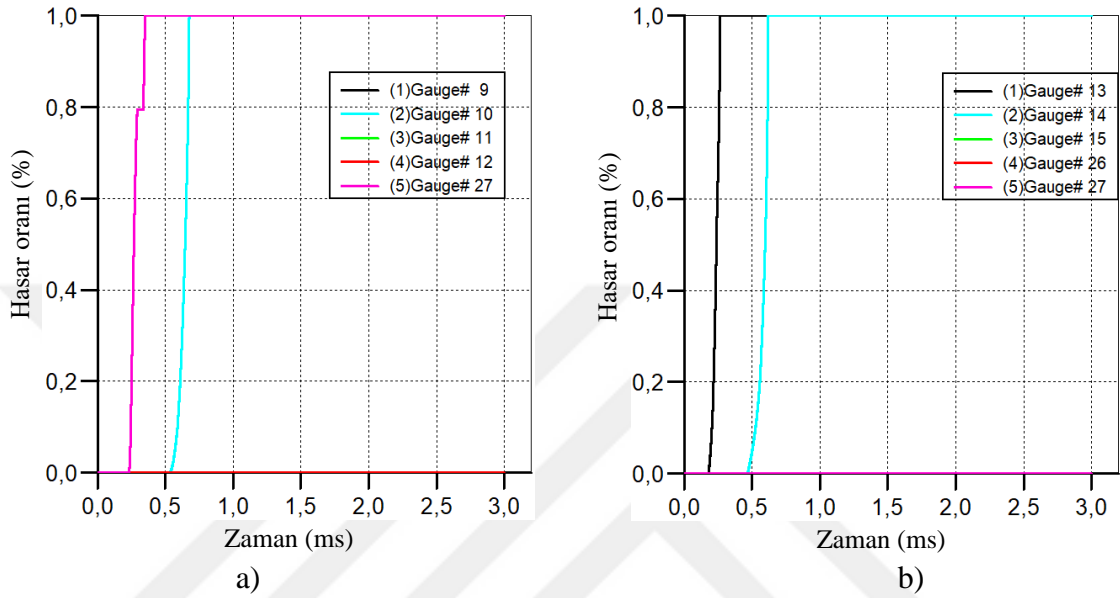
Şekil 2.111. C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



Şekil 2.112. C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0.35ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0.68ms'de hasar oranının %100

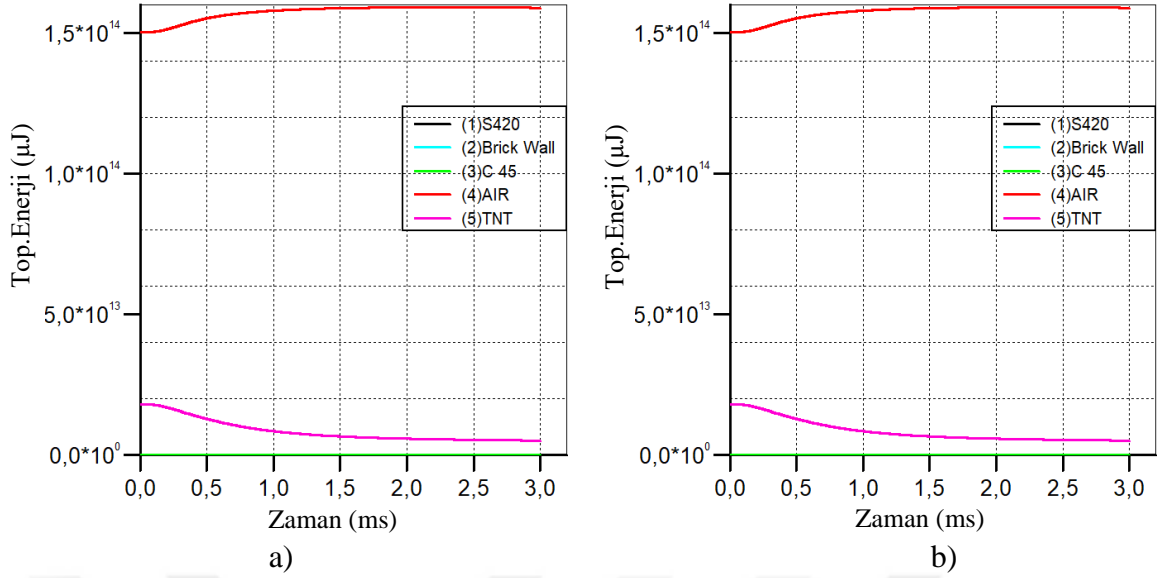
seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,26ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,62ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C45 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.113’de verilmektedir.



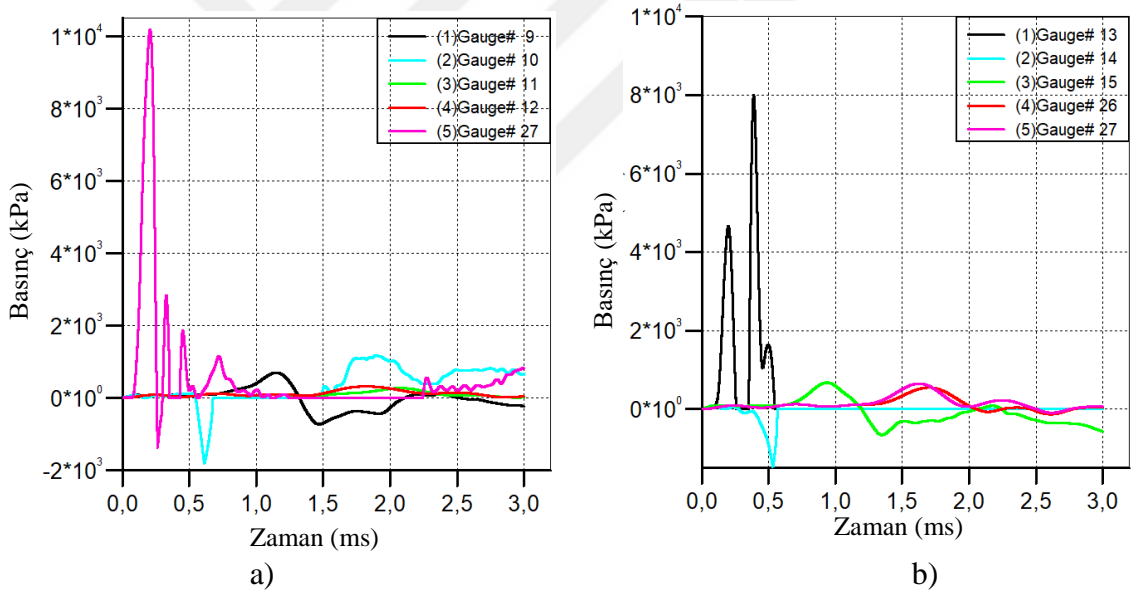
Şekil 2.113. C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT’nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.114’te verilmektedir. Model 1’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C45 betonu tarafından $1,29 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $1,62 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,65 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,59 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir. Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C45 betonu tarafından $1,30 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,33 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,65 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,59 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.

10 kg TNT ve C45 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.115’te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $3 \times 2 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1’de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 10,18 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2’de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 7,99 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



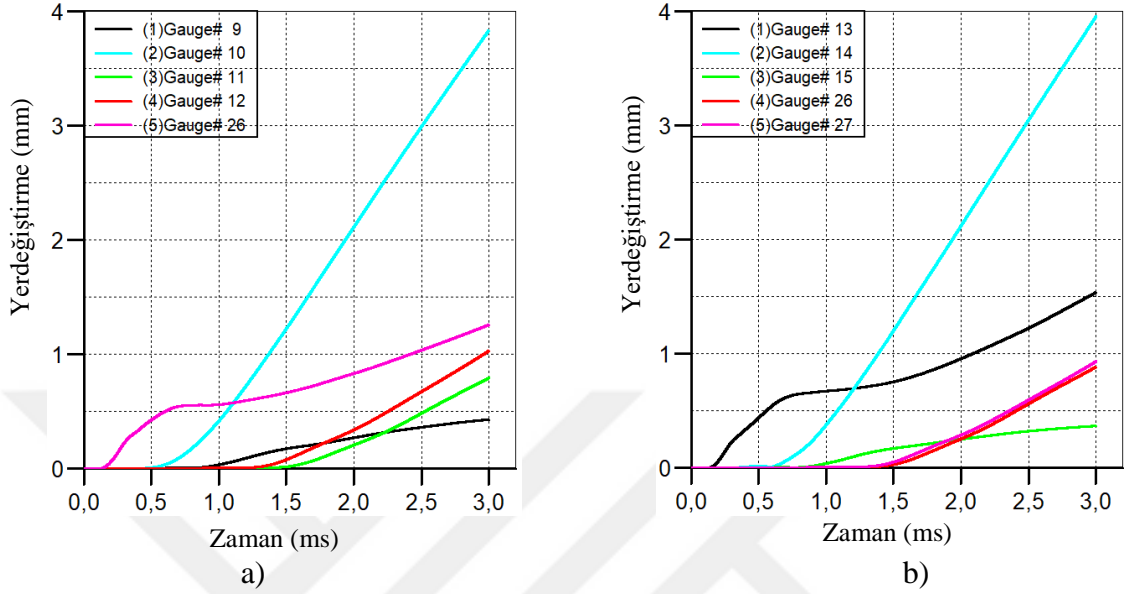
Şekil 2.114. C45 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



Şekil 2.115. C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C45 beton malzeme ve 10 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.116'da verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 3,84mm ve 1,26mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon

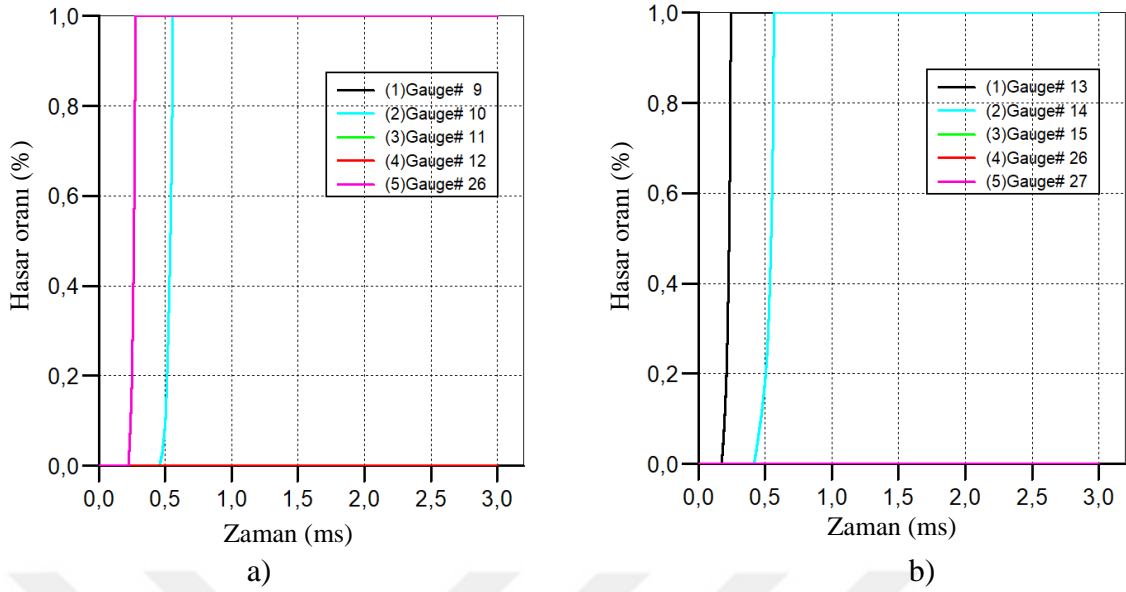
alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 1,54mm ve 3,96mm olarak okunmuştur.



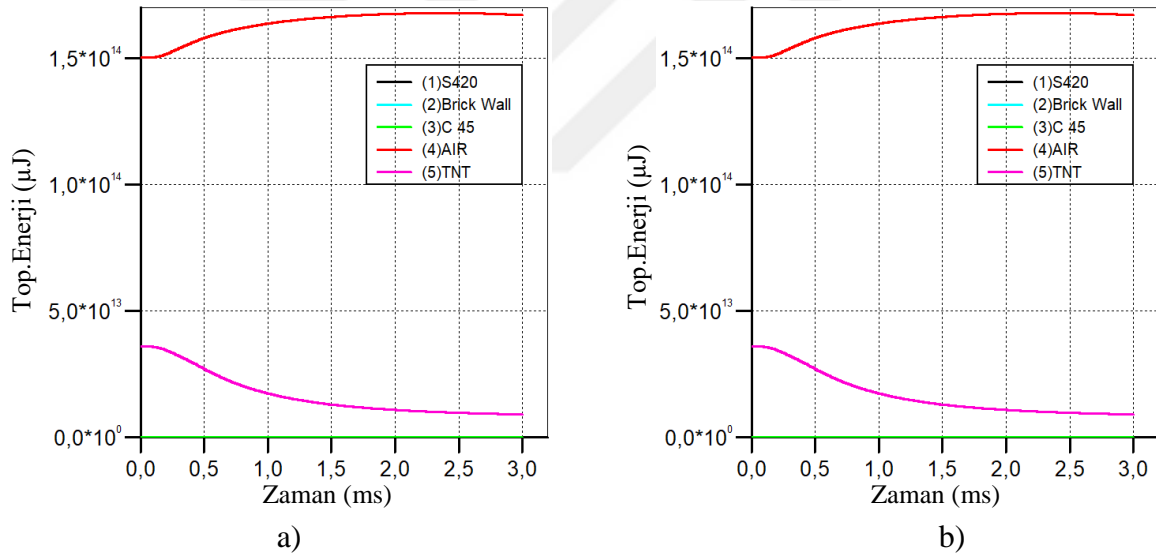
Şekil 2.116. C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,28ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,56ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,24ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,56ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C45 beton malzeme ve 10kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.117'de verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.118'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C45 betonu tarafından $2,8 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $6,14 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $8,18 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C45 betonu tarafından $2,76 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $4,57 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $8,2 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

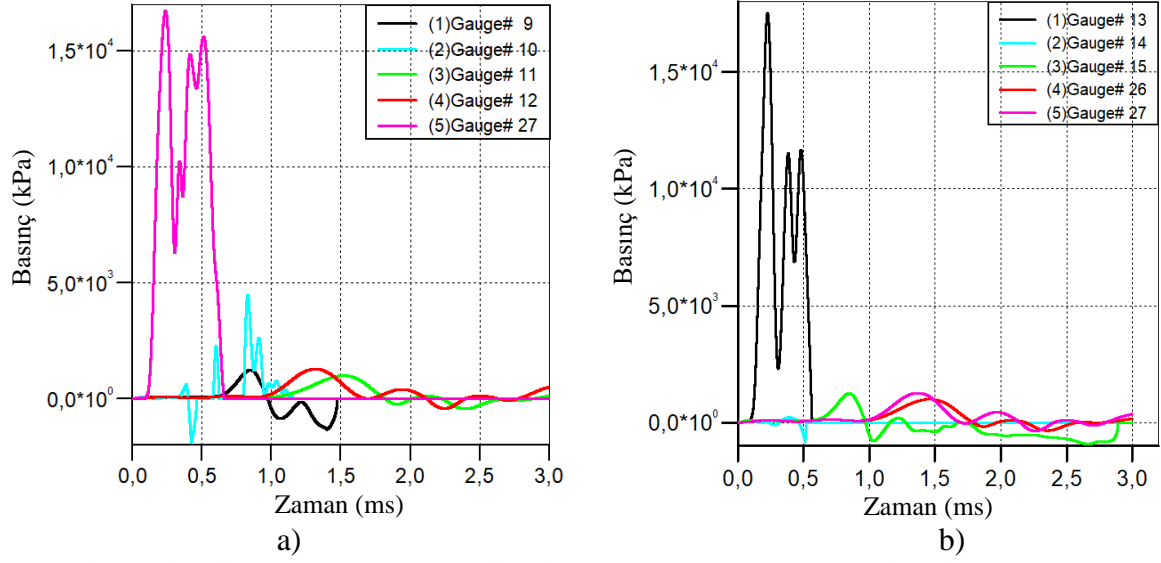


Şekil 2.117. C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.118. C45 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

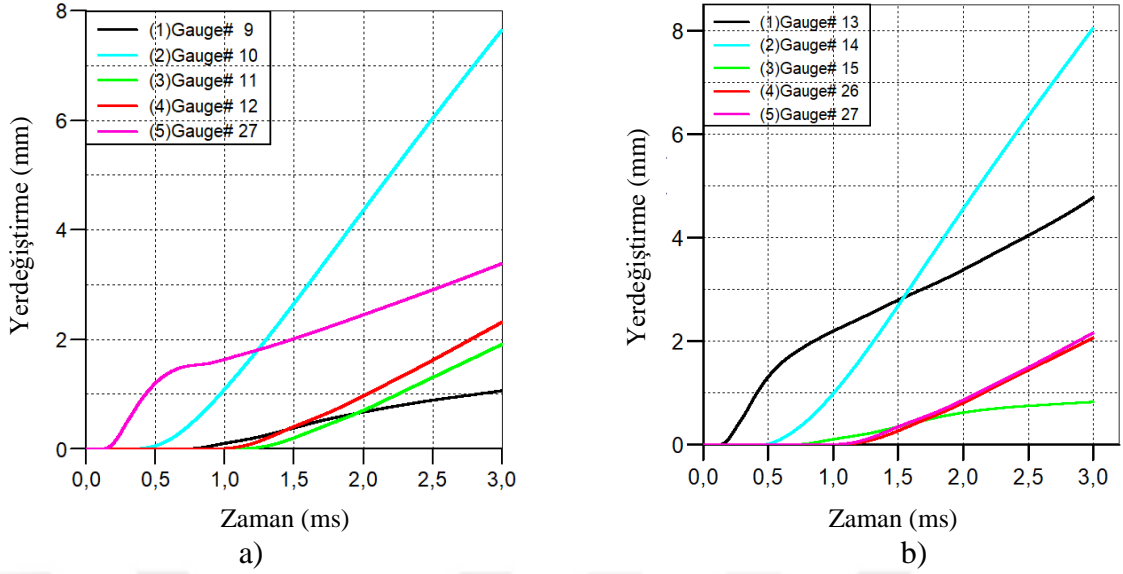
25 kg TNT ve C45 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.119'da verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 1$ br³ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 16,71 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 17,52 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



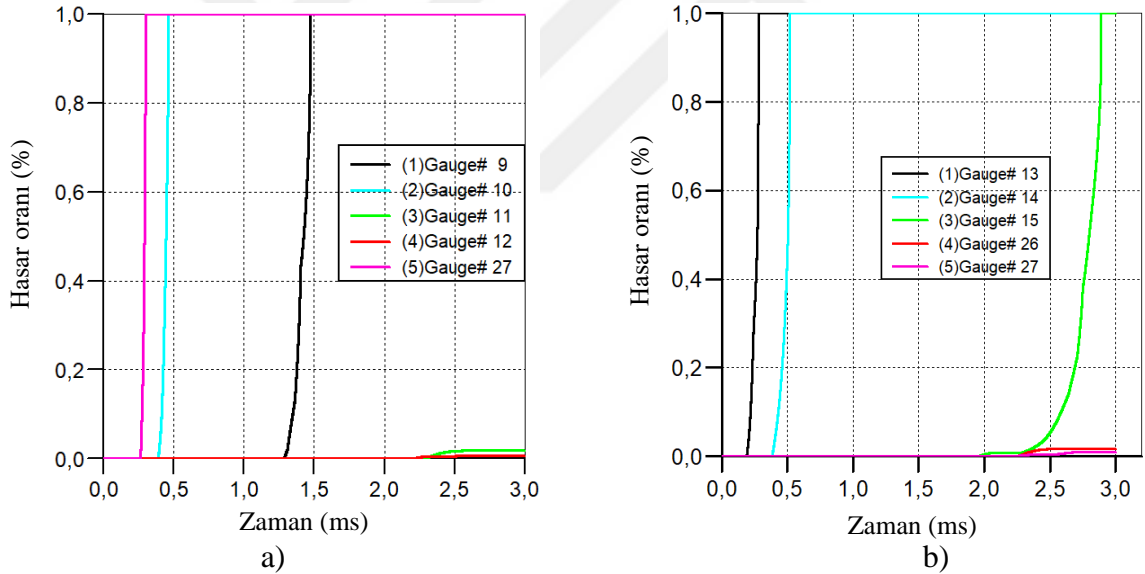
Şekil 2.119. C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C45 beton malzeme ve 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.120'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 7,66mm ve 3,39mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 4,78mm ve 8,06mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,30ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,46ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,28ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,52ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C45 beton malzeme ve 25kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.121'de verilmektedir.



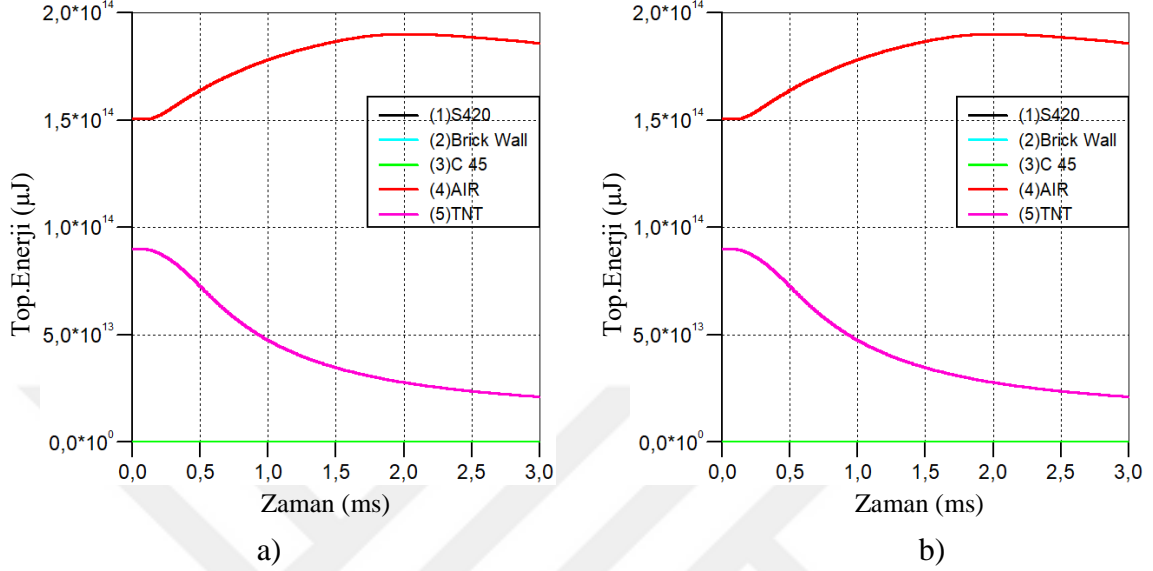
Şekil 2.120. C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.121. C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.122'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C45 betonu tarafından $1,15 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,67 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $4,25 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,90 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C45 betonu tarafından

$1,14 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,33 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $4,16 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,90 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



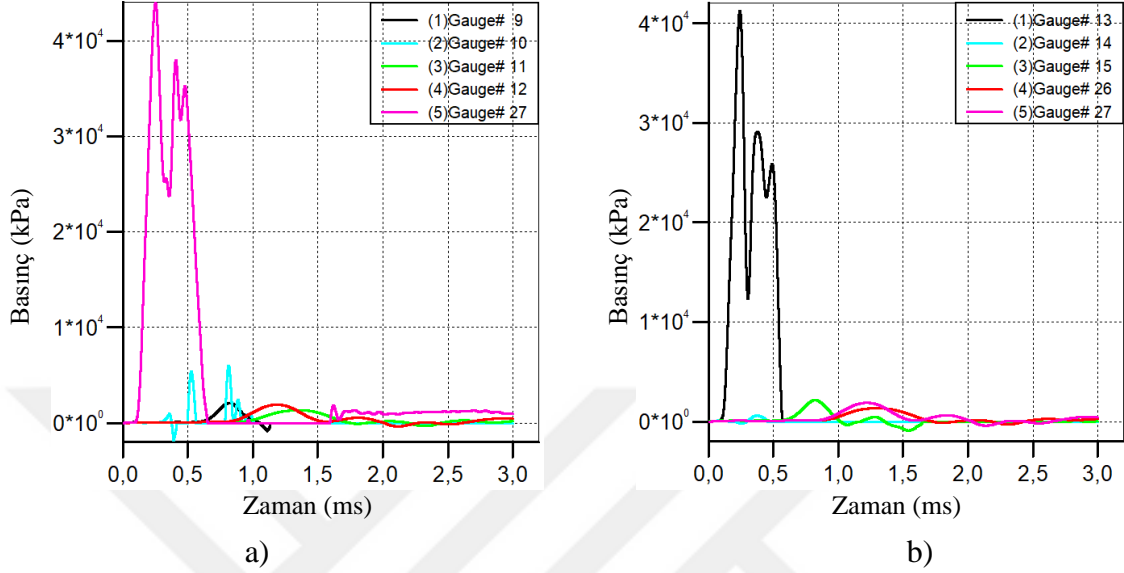
Şekil 2.122. C45 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

50 kg TNT ve C45 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.123'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 2 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 43,92 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 41,26 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

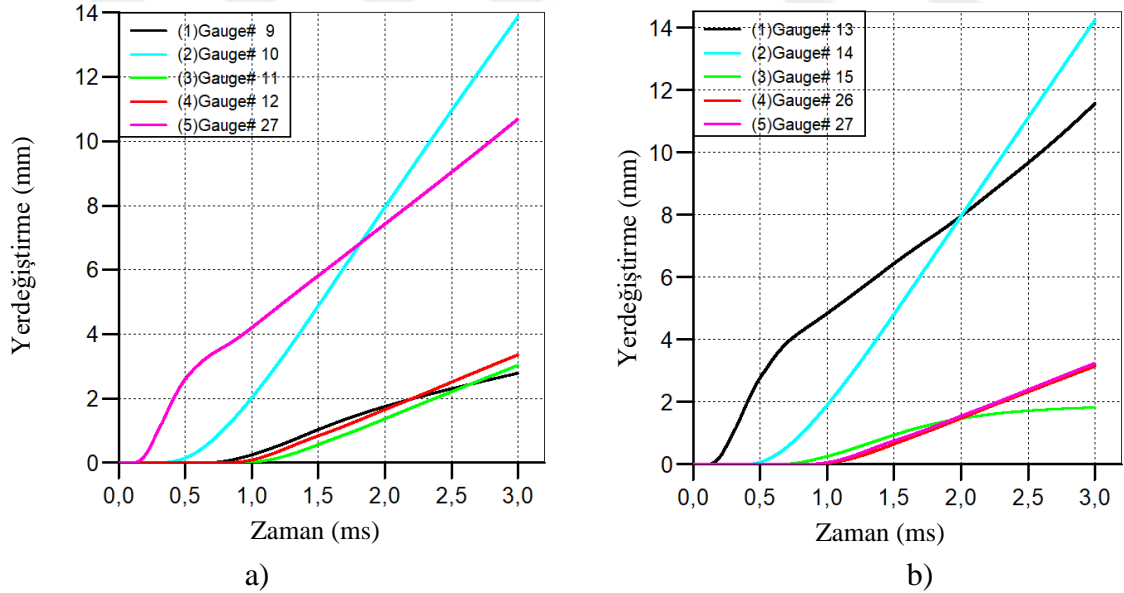
C45 beton malzeme ve 50kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.124'te verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 13,88mm ve 10,70mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 11,57mm ve 14,25mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,32ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,42ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,29ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,45ms'de %100 hasar aldığı

tespit edilmiştir. C45 beton malzeme ve 50kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.125'te verilmektedir.



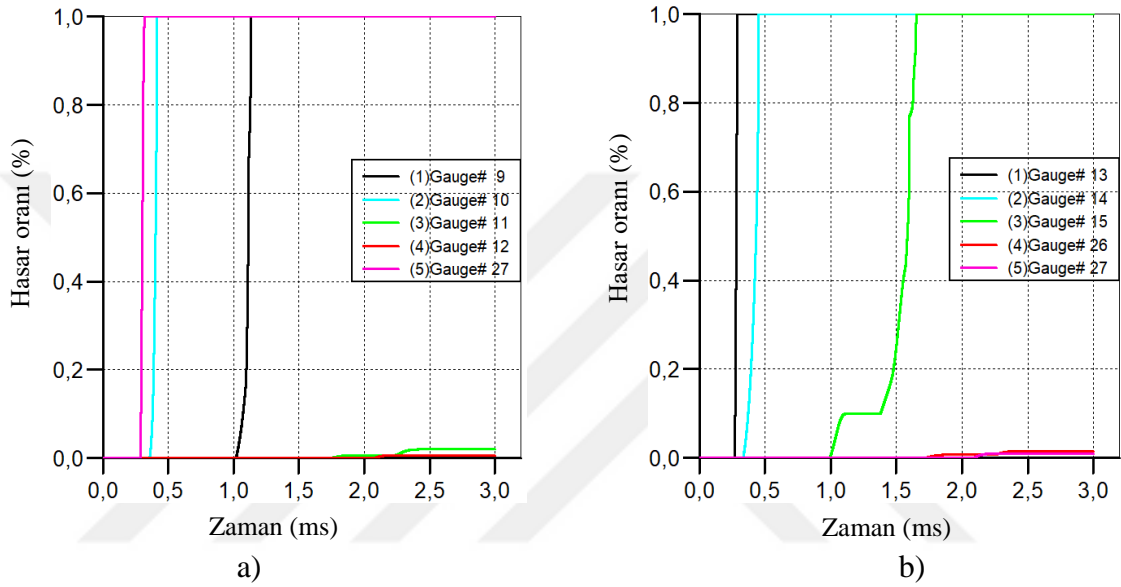
Şekil 2.123. C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



Şekil 2.124. C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

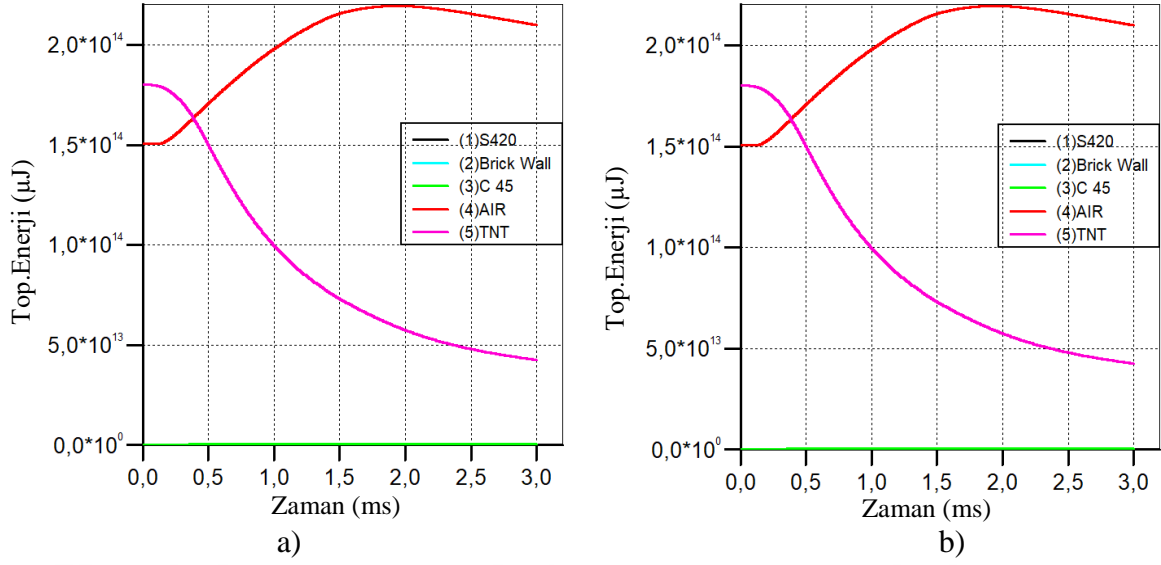
TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.126'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından

ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C45 betonu tarafından $3,89 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,30 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C45 betonu tarafından $3,99 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,55 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,64 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,19 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

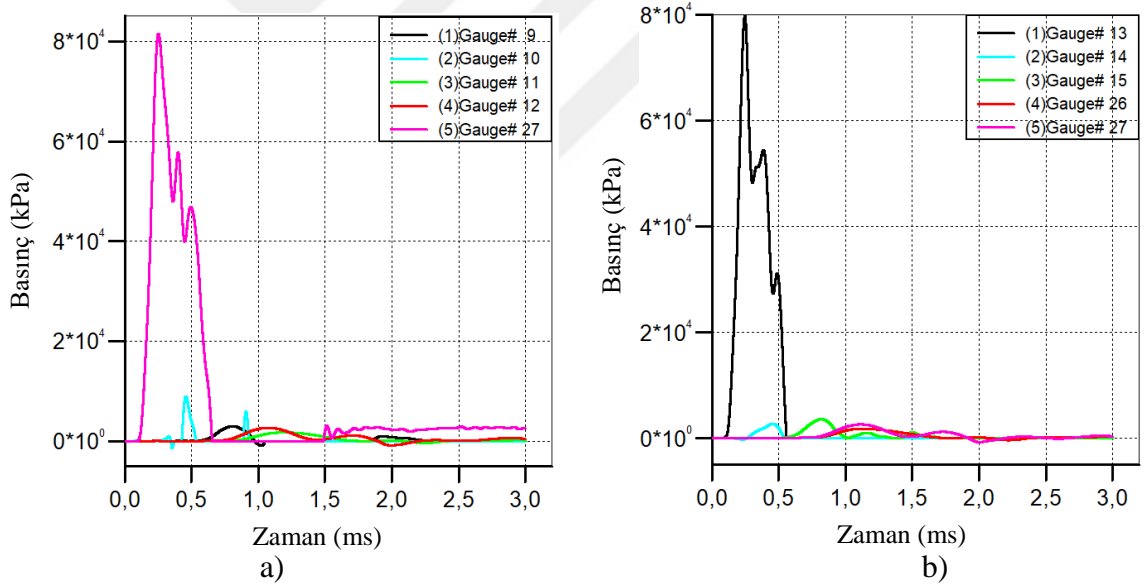


Şekil 2.125. C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

100 kg TNT ve C45 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.127'de verilmektedir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 81,49 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 79,78 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.126. C45 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



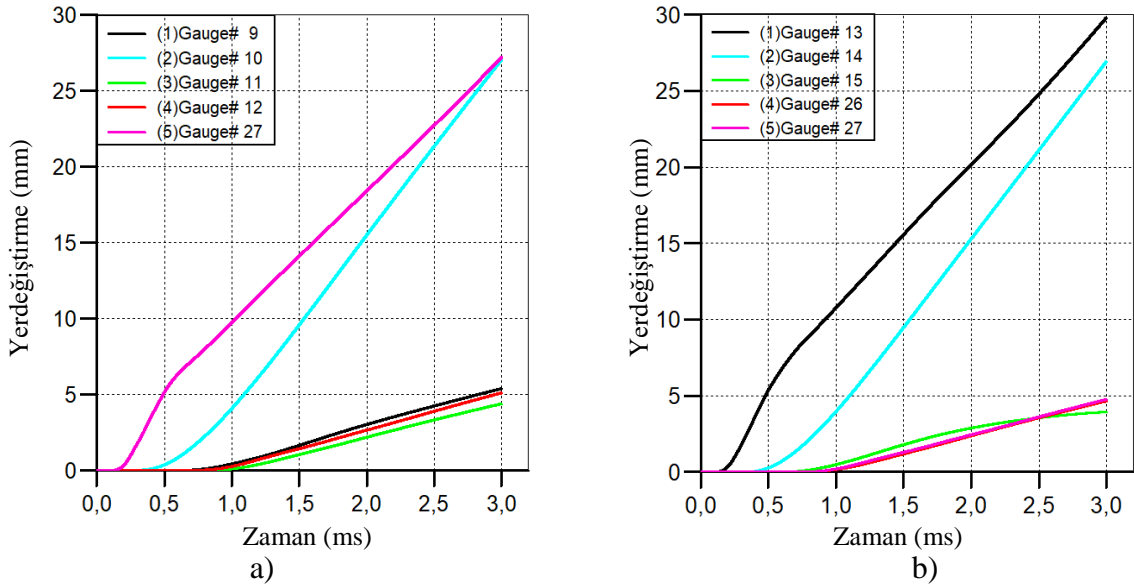
Şekil 2.127. C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C45 beton malzeme ve 100kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.128'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 27mm ve 27,20 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon

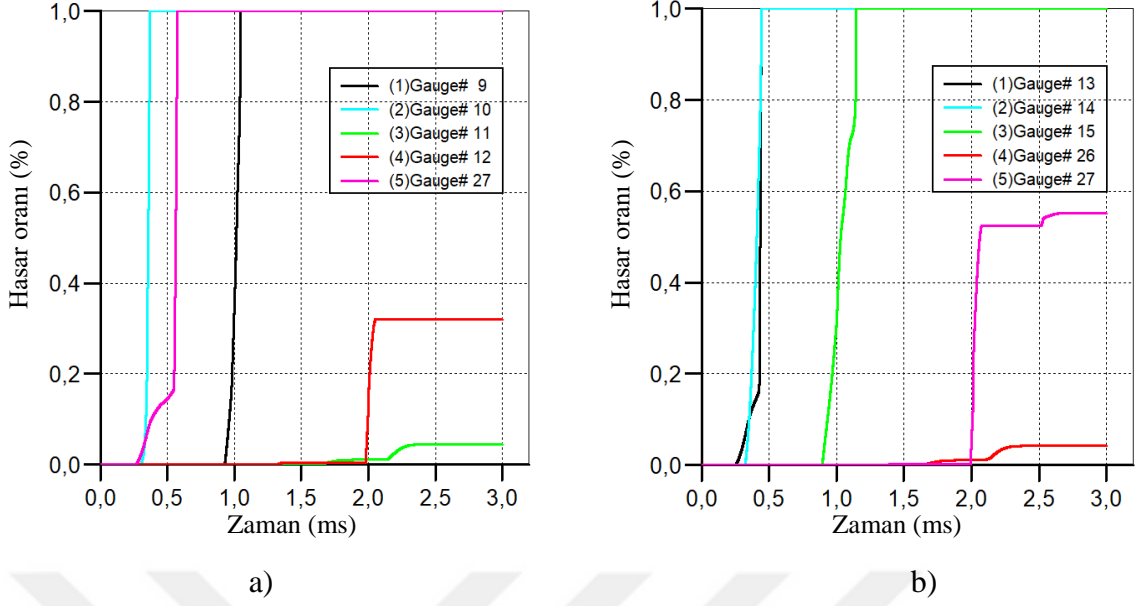
alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 29,83mm ve 26,96mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,58ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,37ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,44ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,44ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C45 beton malzeme ve 100kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.129’da verilmektedir.

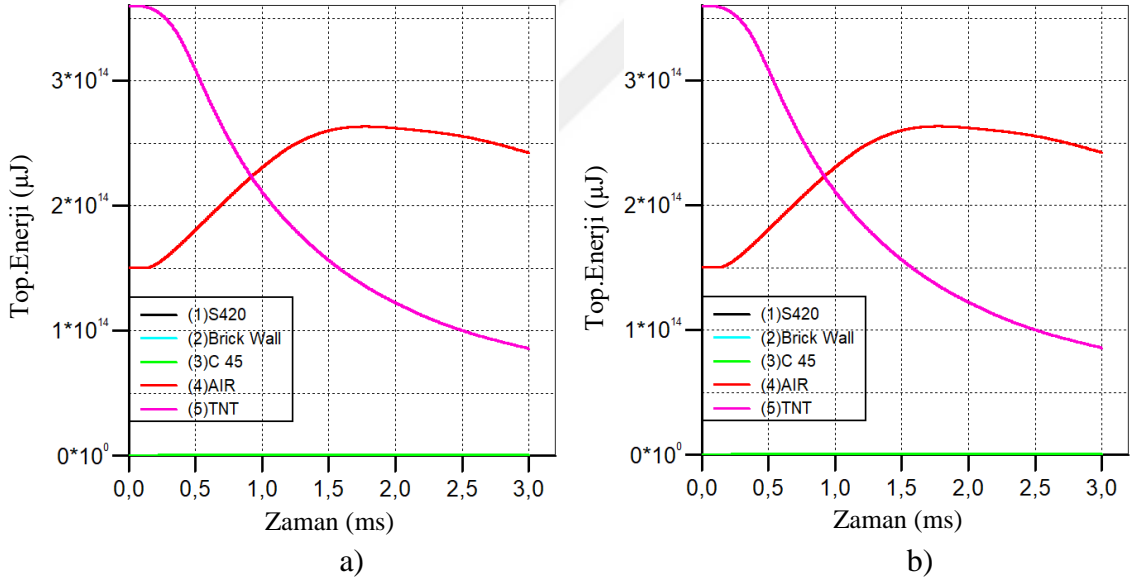
TNT’nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.130’da verilmektedir. Model 1’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C45 betonu tarafından $3,89 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,30 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir. Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C45 betonu tarafından $3,99 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,55 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,64 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,19 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



Şekil 2.128. C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.129. C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

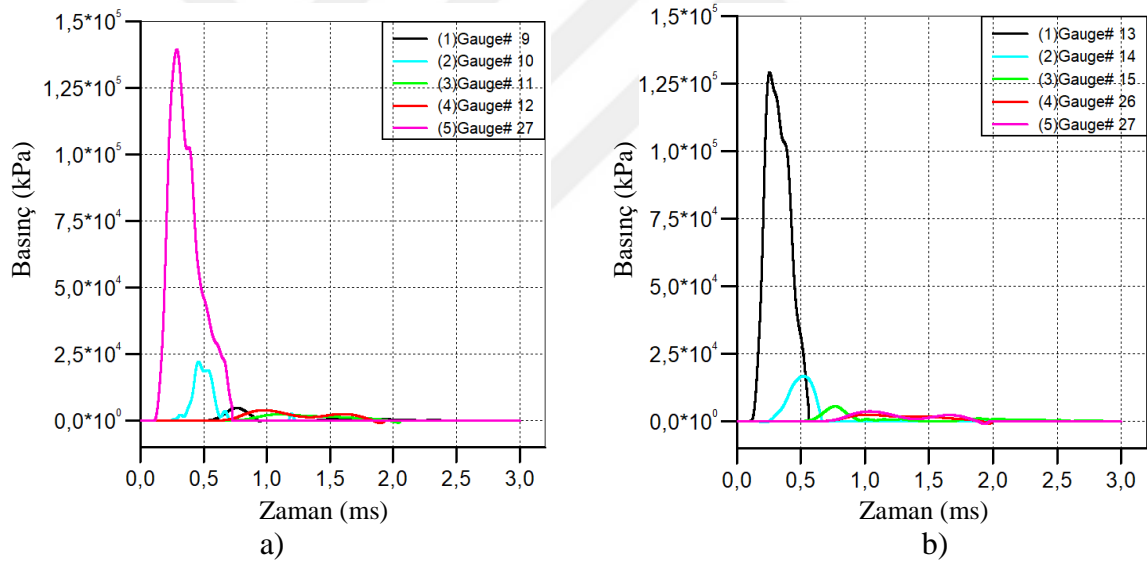


Şekil 2.130. C45 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

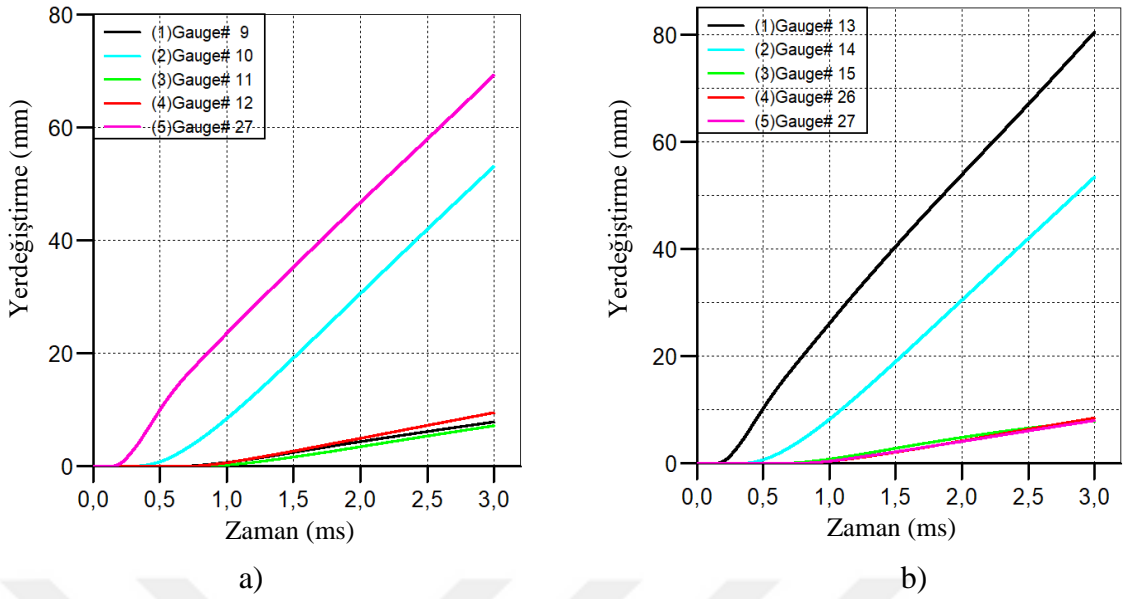
200 kg TNT ve C45 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.131'de verilmektedir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 129 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 139 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

C45 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.132’de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 53,2mm ve 69,37mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı Şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 81mm ve 53mm olarak okunmuştur.

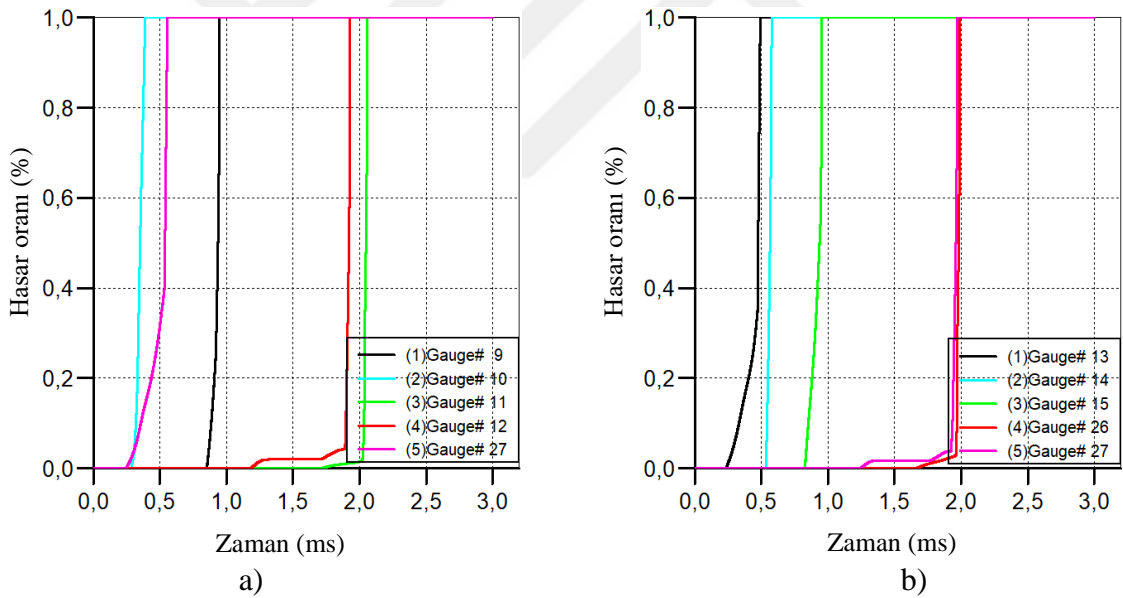
Hasar–zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,56ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,39ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,49ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,58ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C45 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.133’te verilmektedir.



Şekil 2.131. C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri



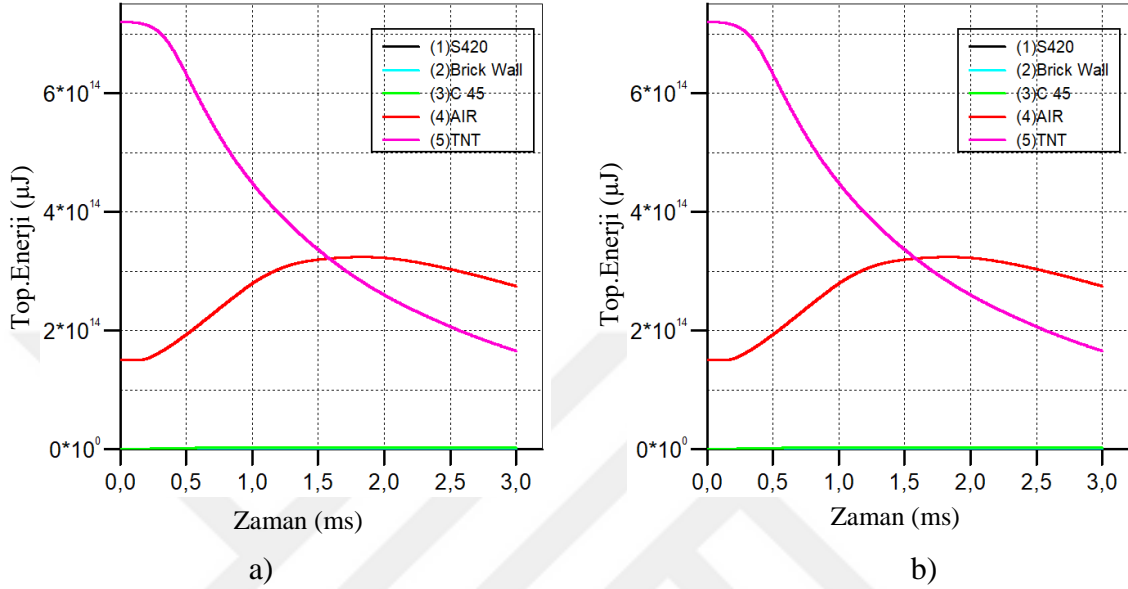
Şekil 2.132. C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.133. C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.134'te verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C45 betonu tarafından $3,89 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,30 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model

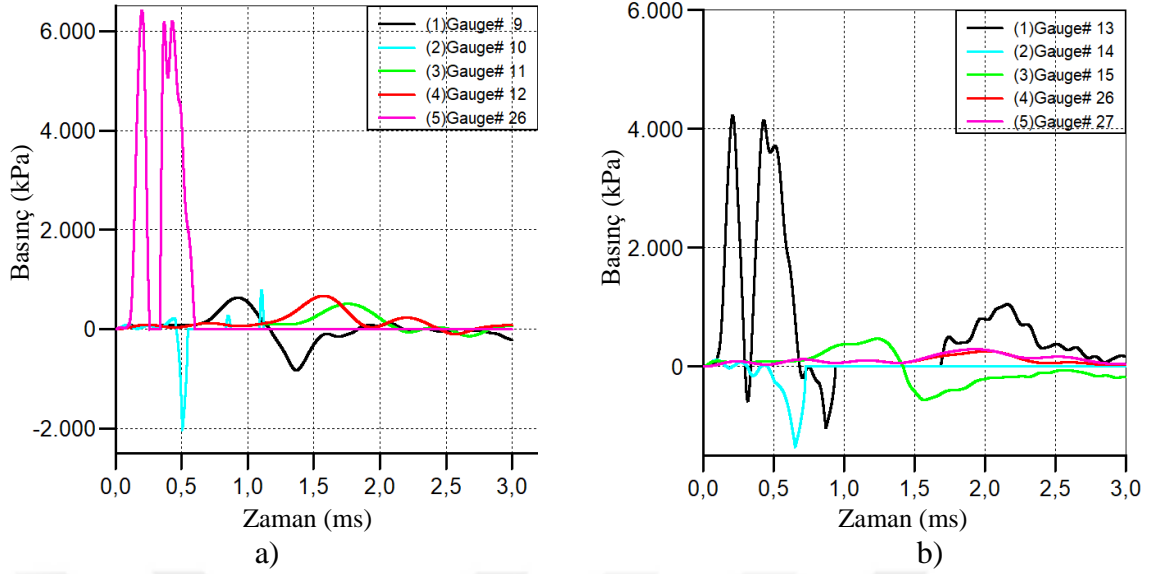
2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C45 betonu tarafından $3,99 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,55 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,64 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,19 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



Şekil 2.134. C45 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

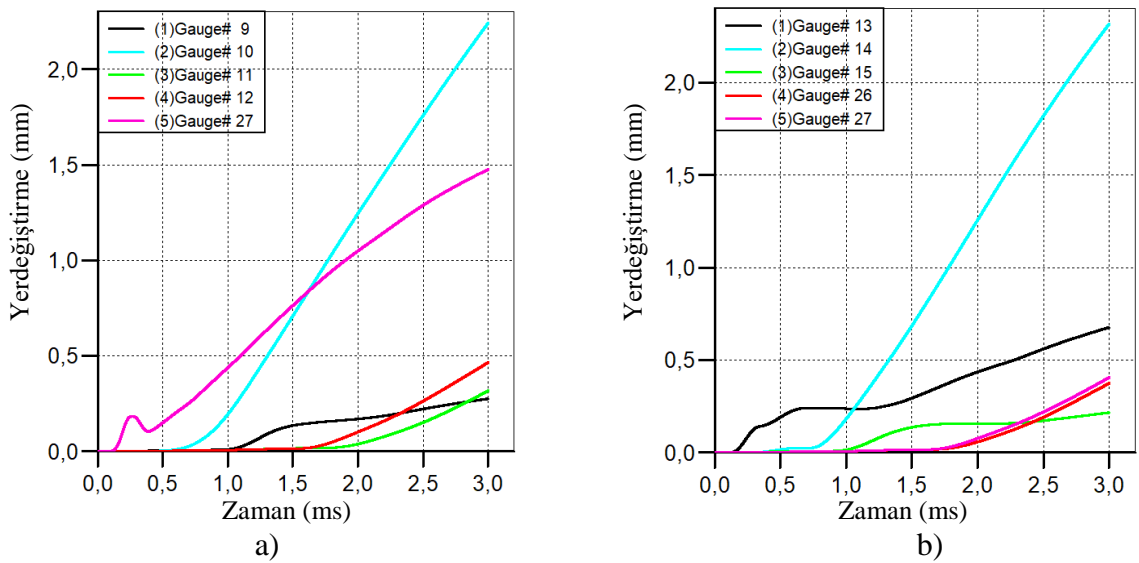
2.3.3.2.6. C50 Beton Sınıfı İçin Gerçekleştirilen Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Tez çalışmasının bir önceki kısmında yapıya 0,5m mesafede C45 beton malzeme sınıfı kullanılarak değişen patlayıcı ağırlıklarında gösterdiği tepkiler incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında C50 beton malzeme sınıfı kullanılarak yapılan analiz çalışmaları sırasıyla verilmektedir. Burada patlayıcı modellenirken Euler yöntemi ile hava hacminin içerisine x, y ve z koordinatlarında $3 \times 1 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmıştır. Her birim ise daha önce tanımlandığı üzere sayısal ayrıklaştırma yöntemi ile 100mm olarak belirlenmiştir. 5kg TNT ve C50 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.135’te verilmektedir. Model 1’de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 6,41 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2’de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 4,33 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.135. C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

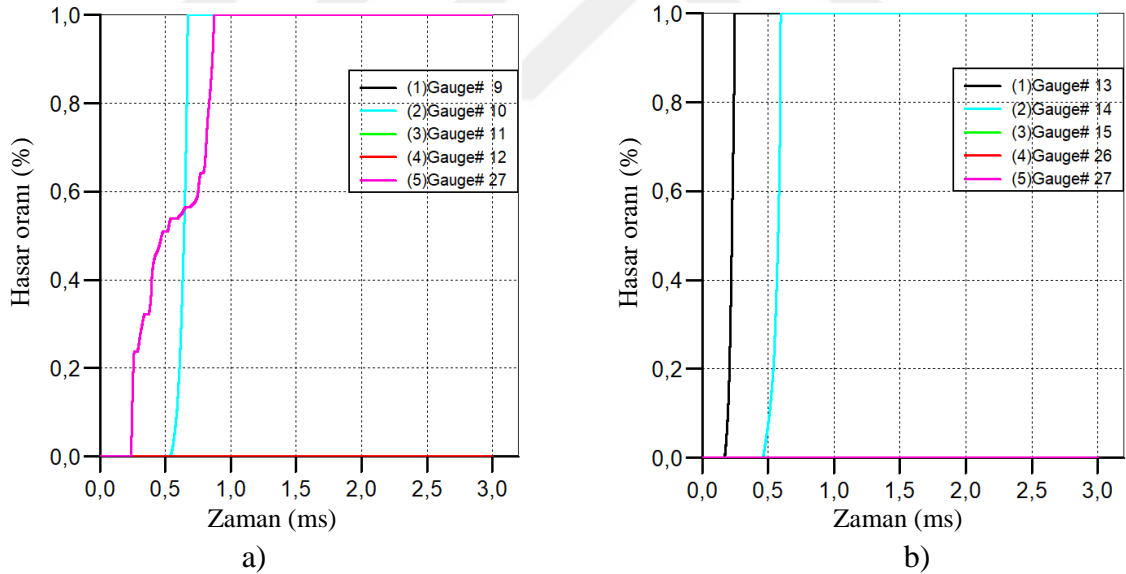
C50 beton malzeme ve 5 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.136'da verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 2.24mm ve 1.48 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 0.68mm ve 2.32mm olarak okunmuştur.



Şekil 2.136. C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,87ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,67ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,25ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,59ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C50 beton malzeme ve 5kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.137’de verilmektedir.

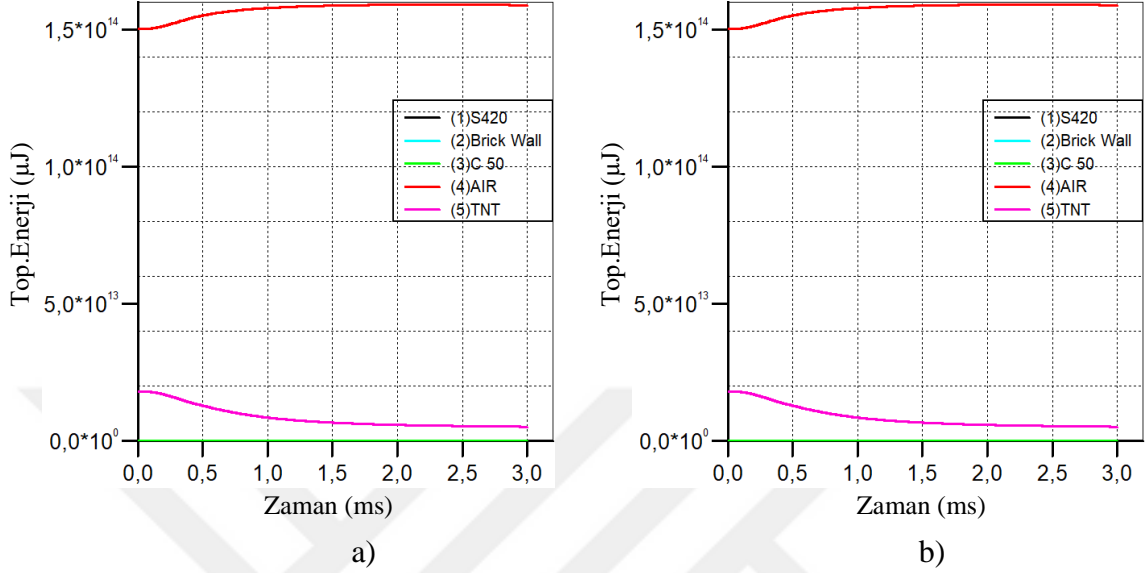
TNT’nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.138’de verilmektedir. Model 1’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C50 betonu tarafından $1,24 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,13 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,62 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,59 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir. Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C50 betonu tarafından $1,22 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $1,40 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,66 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,59 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



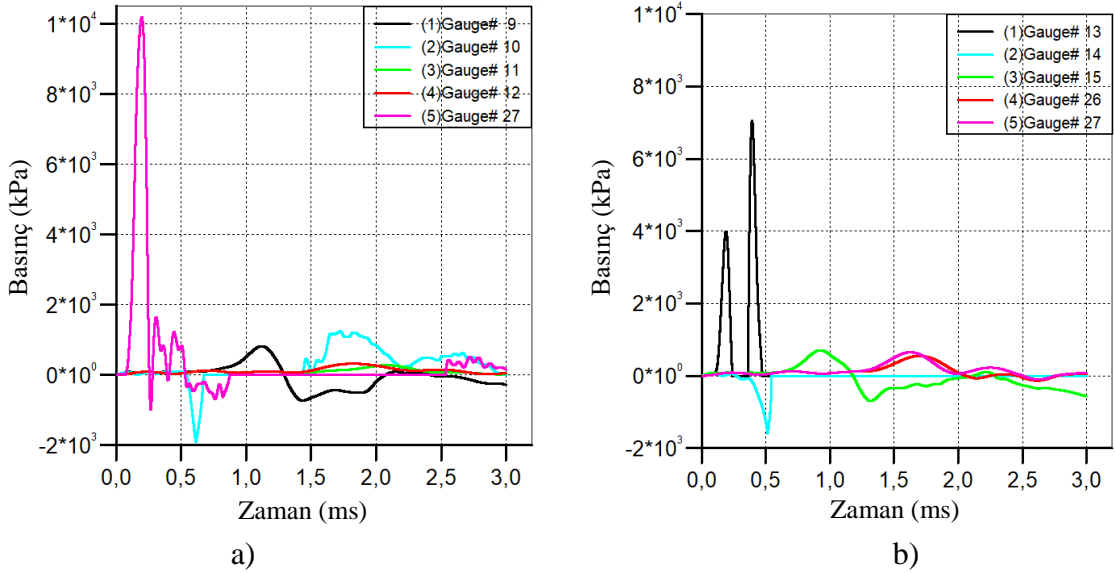
Şekil 2.137. C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

10 kg TNT ve C50 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.139’da verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $3 \times 2 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1’de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 10,19 MPa olarak

ölçülmüştür. Model 2’de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 7,10 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



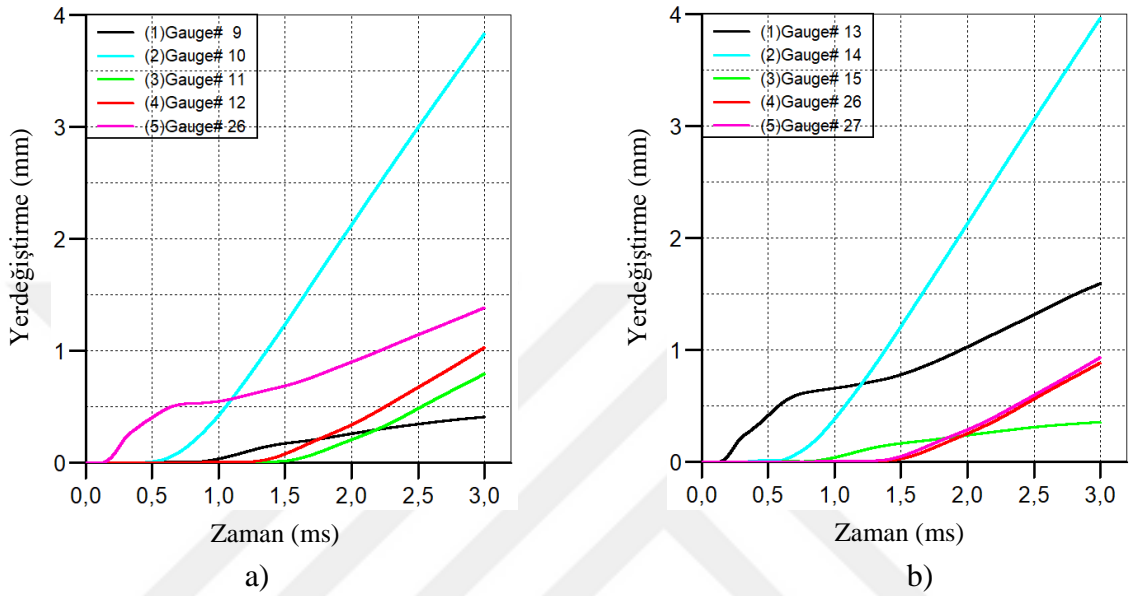
Şekil 2.138. C50 beton sınıfı 5kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



Şekil 2.139. C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C50 beton malzeme ve 10kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.140’ta verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en

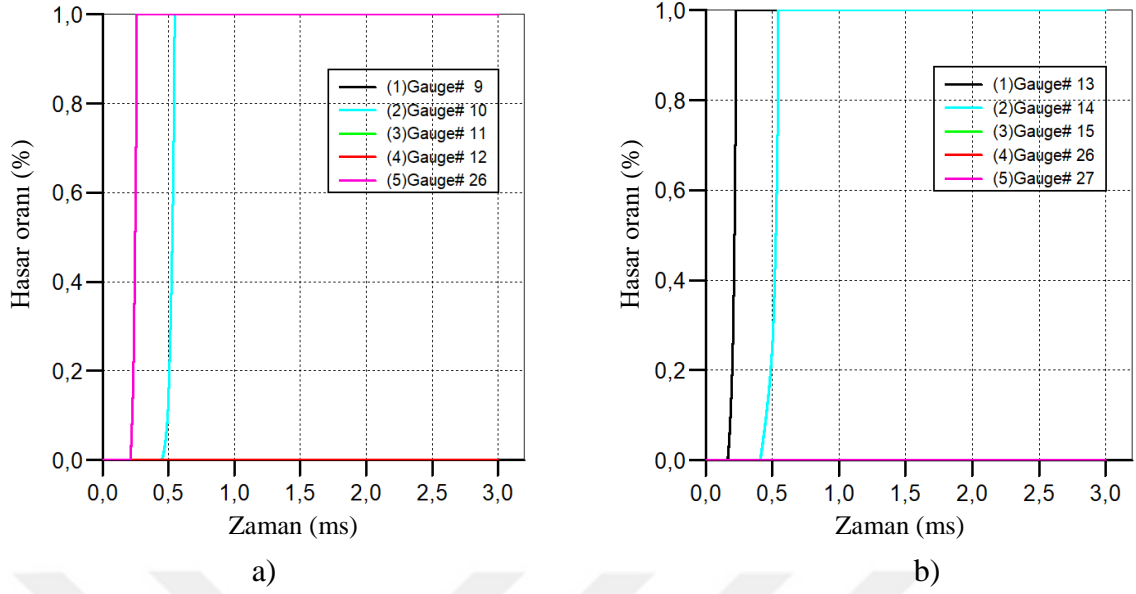
büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 3,84mm ve 1,39 mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 1,59mm ve 3,97mm olarak okunmuştur.



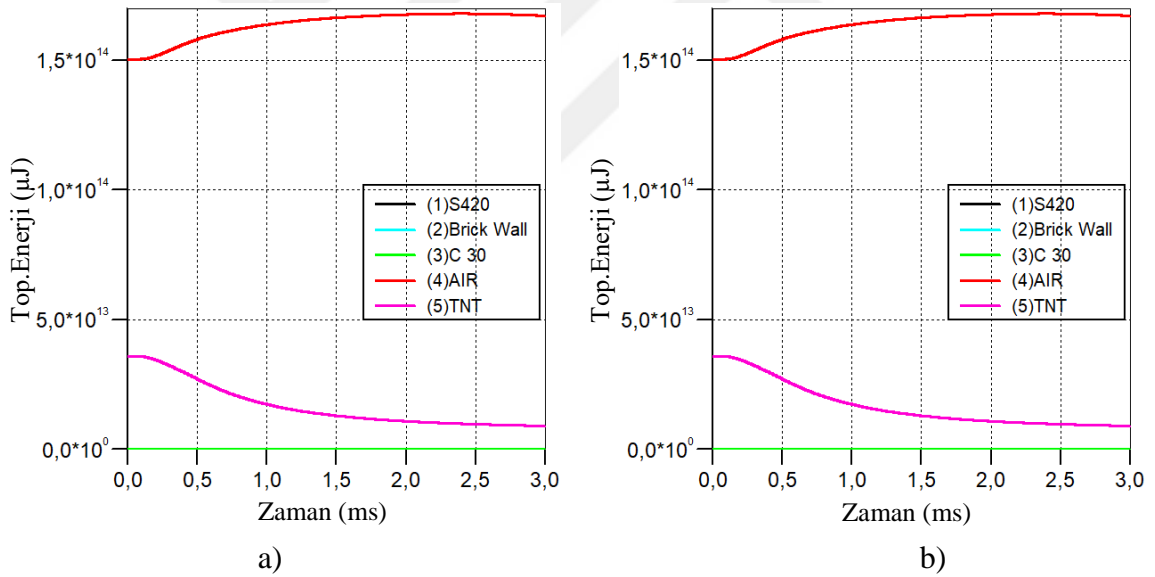
şekil 2.140. C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,26ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,55ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,23ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,54ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C50 beton malzeme ve 10kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri şekil 2.141'de verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları şekil 2.142'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C50 betonu tarafından $2,7 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $5,79 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $8,18 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C50 betonu tarafından $2,61 \times 10^{10} \mu\text{J}$, donatı tarafından $4,29 \times 10^8 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $8,13 \times 10^9 \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,68 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



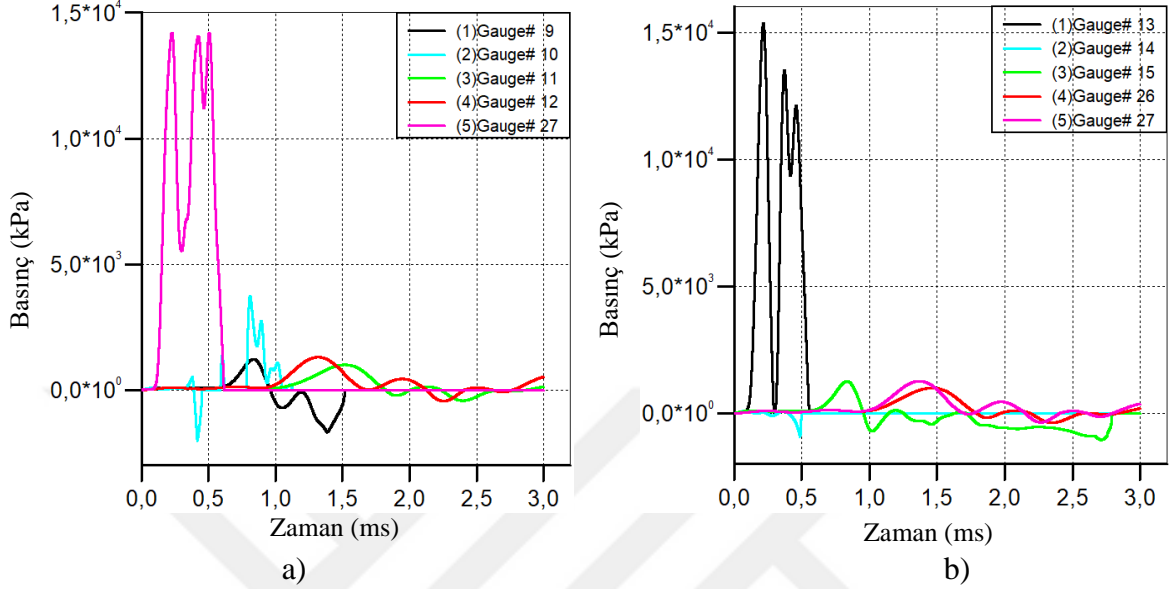
Şekil 2.141. C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.142. C50 beton sınıfı 10kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

25 kg TNT ve C50 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.143'te verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 1 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 16,71 MPa olarak

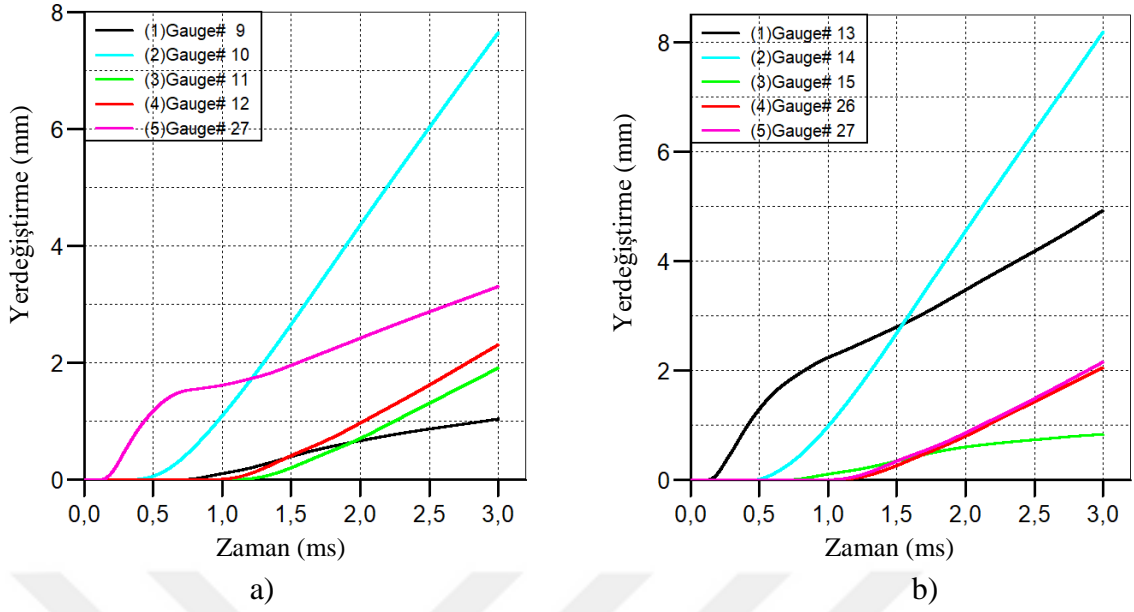
ölçülmüştür. Model 2’de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 15,35 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



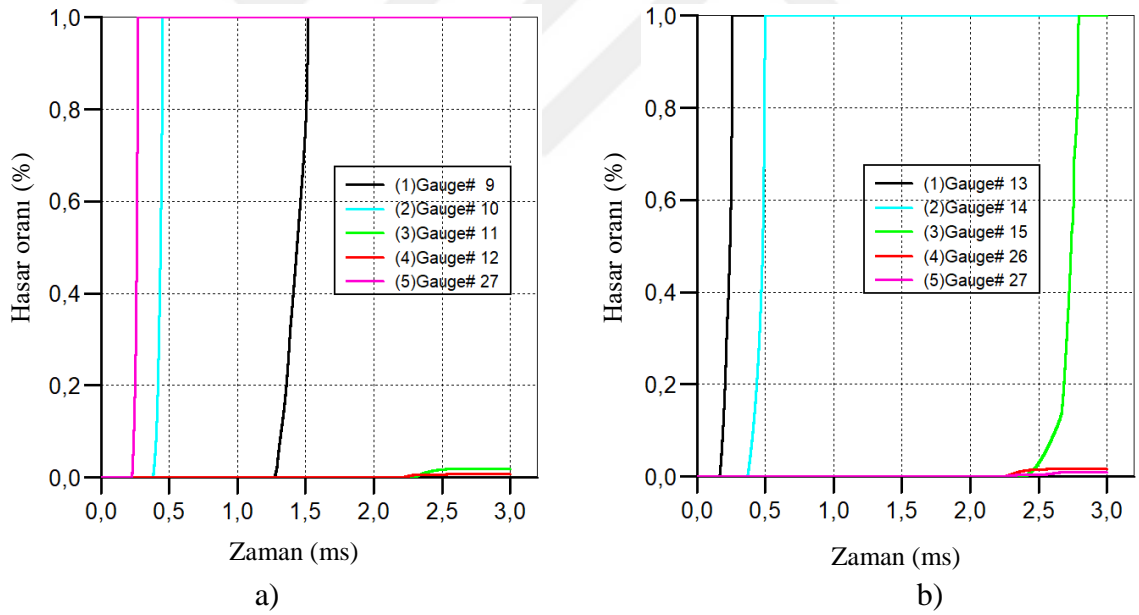
Şekil 2.143. C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C50 beton malzeme ve 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.144’te verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1’e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 7,66mm ve 3,31mm olarak okunmuştur. Model 2’ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 4.94mm ve 8.20mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,27ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,45ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,26ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,48ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C50 beton malzeme ve 25 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.145’te verilmektedir.



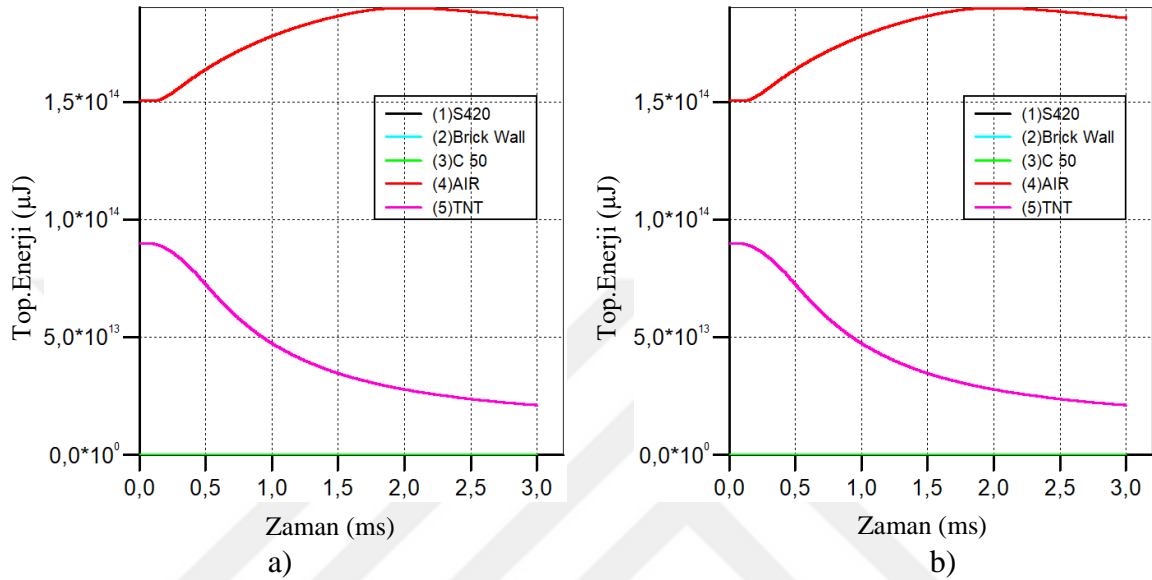
Şekil 2.144. C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.145. C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.146'da verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C50 betonu tarafından $1,09 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,69 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla

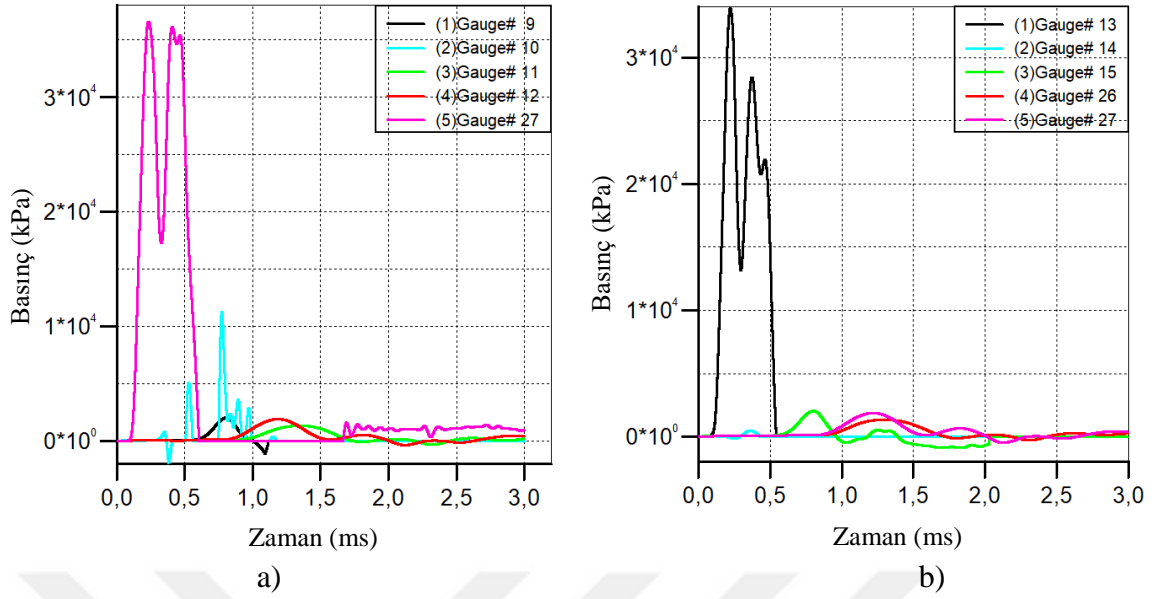
tarafından $4,24 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,90 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $9,0 \times 10^{13} \mu\text{J}$, C50 betonu tarafından $1,09 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,34 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $4,22 \times 10^{10} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $1,90 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.



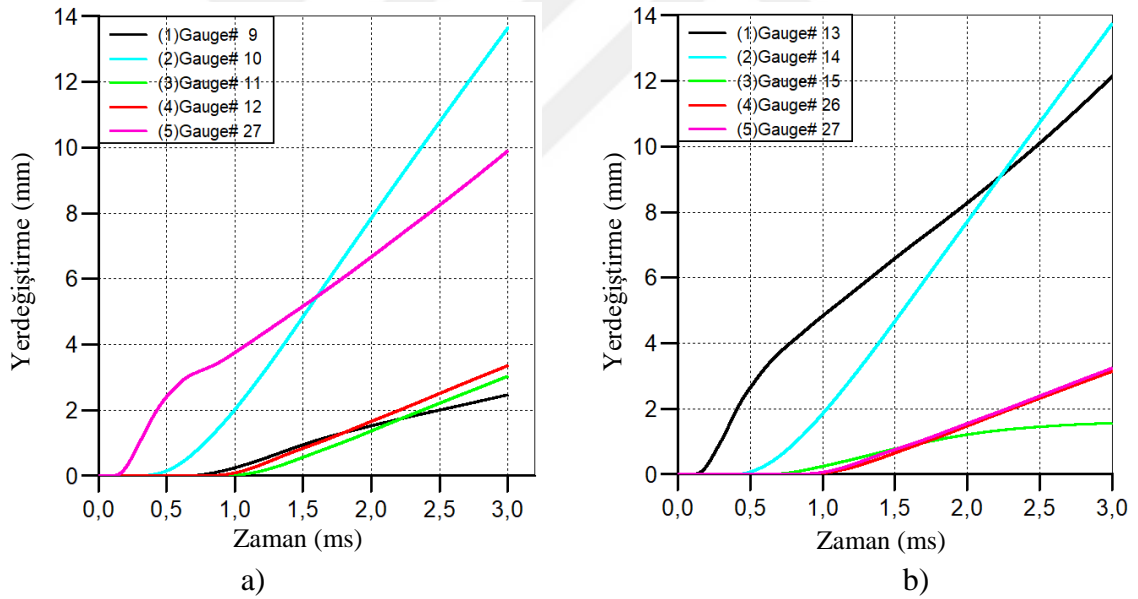
Şekil 2.146. C50 beton sınıfı 25kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

50kg TNT ve C50 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.147'de verilmektedir. Patlayıcı x, y ve z koordinatlarında sırasıyla $5 \times 3 \times 2 \text{ br}^3$ olarak tanımlanmış ve her birim 100mm olarak seçilmiştir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 36,59 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 33,89 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

C50 beton malzeme ve 50kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.148'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 13,64mm ve 9,89mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 12,15mm ve 13,77mm olarak okunmuştur.



Şekil 2.147. C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

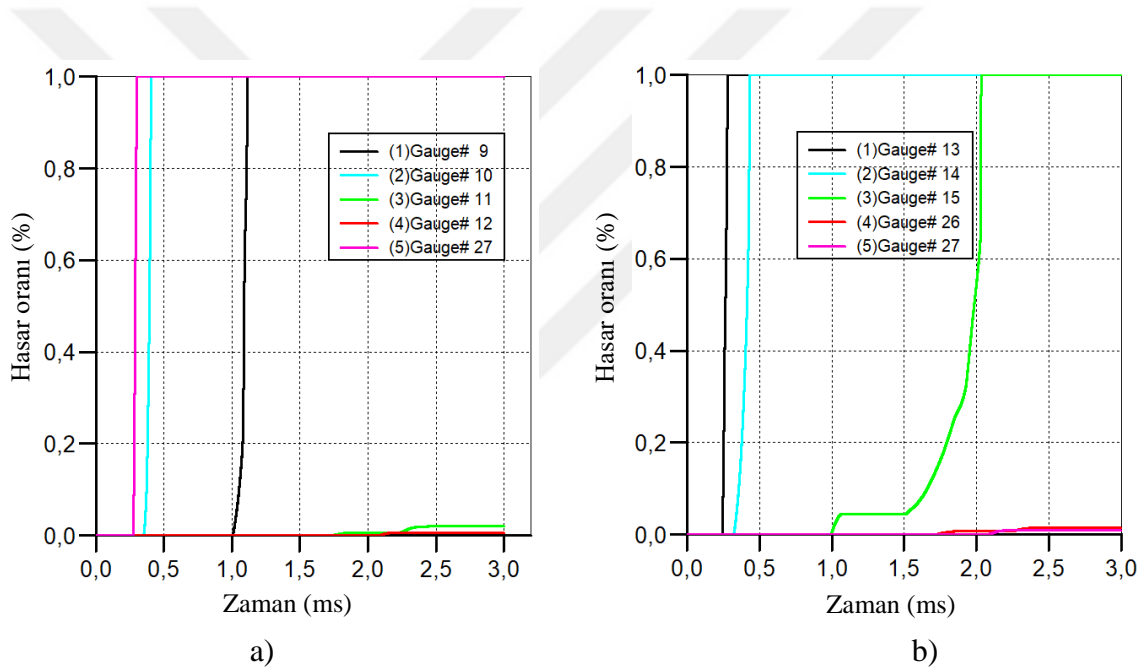


Şekil 2.148. C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,30ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,40ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,28ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,43ms'de %100 hasar aldığı

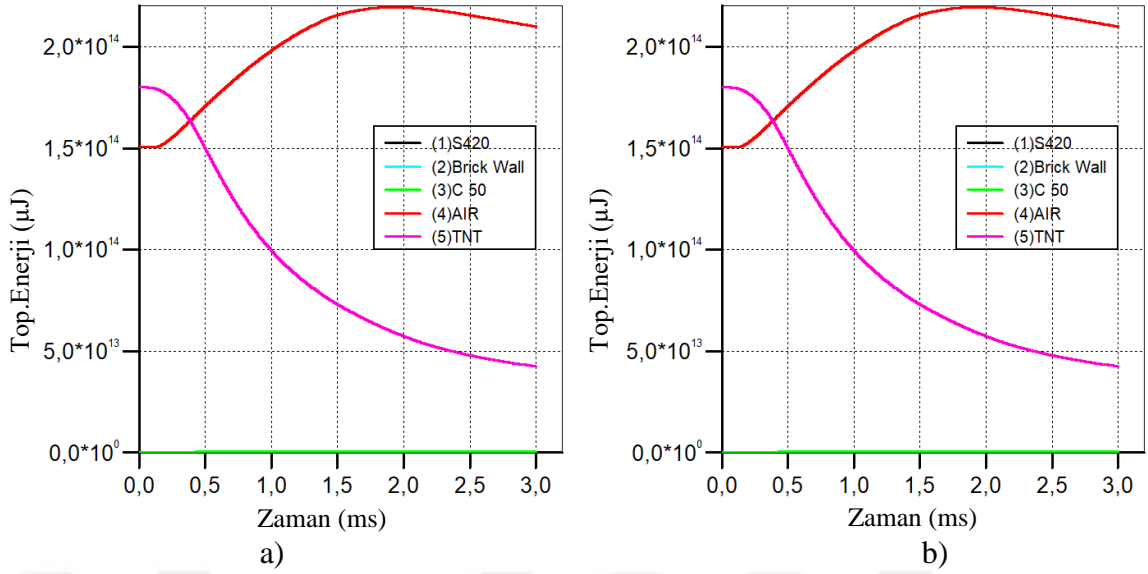
tespit edilmiştir. C50 beton malzeme ve 50 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.149'da verilmektedir.

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.150'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C50 betonu tarafından $3,71 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,42 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,65 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir. Model 2'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $1,8 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C50 betonu tarafından $3,78 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $8,65 \times 10^9 \mu\text{J}$, tuğla tarafından $1,63 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,19 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

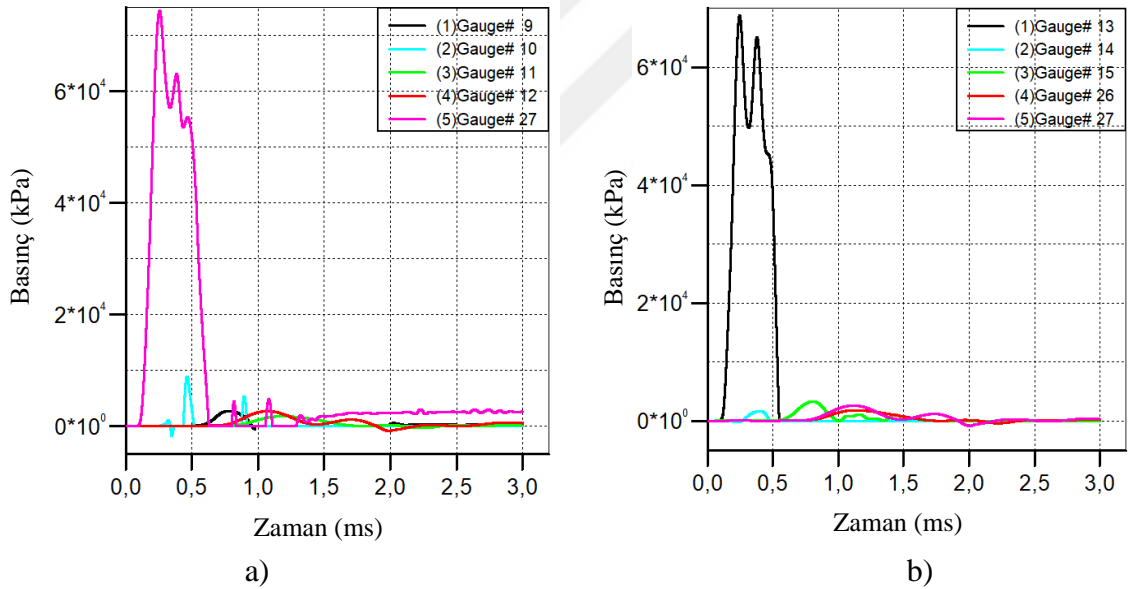


Şekil 2.149. C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

100kg TNT ve C45 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.151'de verilmektedir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 74,45 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 68,83 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



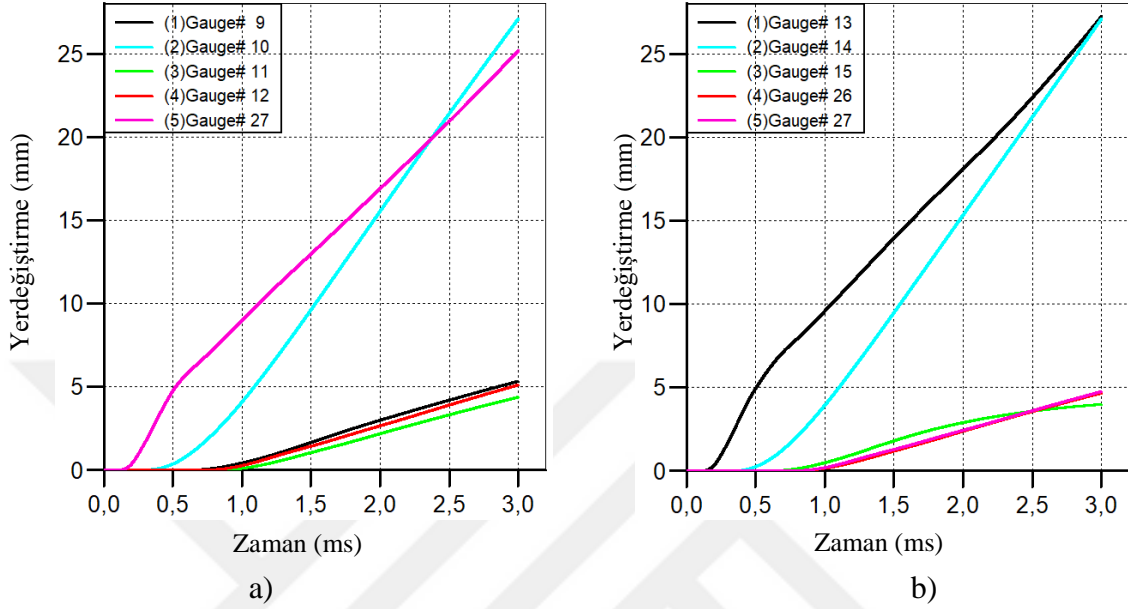
Şekil 2.150. C50 beton sınıfı 50kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri



Şekil 2.151. C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C50 beton malzeme ve 100 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.152'de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 27,10mm ve 25,2mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon

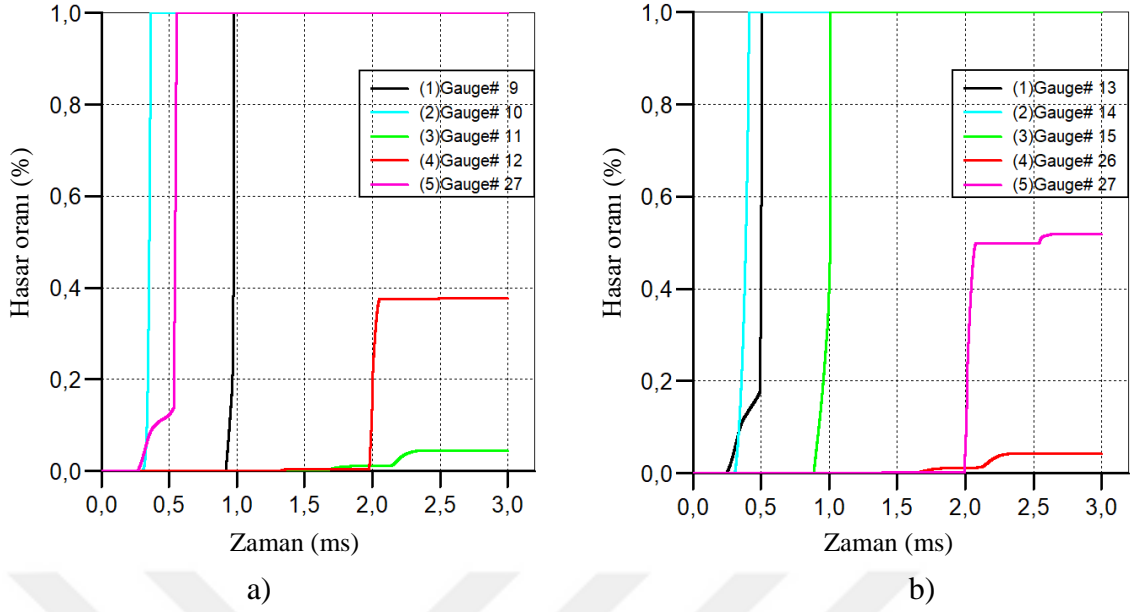
alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 27,23mm ve 27,10mm olarak okunmuştur.



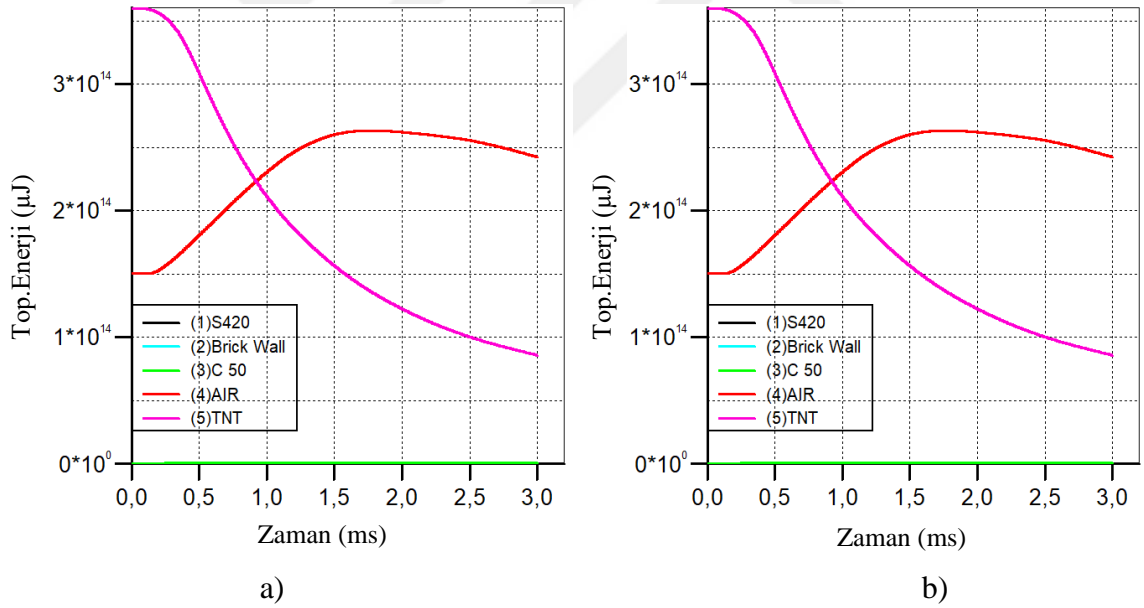
Şekil 2.152. C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri

Hasar–zaman grafikleri incelendiğinde Model 1’de 0,55ms’de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100’e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,36ms’de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2’de 0,51ms’de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100’e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,41ms’de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C50 beton malzeme ve 100 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.153’te verilmektedir.

TNT’nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.154’te verilmektedir. Model 1’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C50 betonu tarafından $9,29 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $2,27 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $5,85 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir. Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $3,6 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C50 betonu tarafından $9,67 \times 10^{11} \mu\text{J}$, donatı tarafından $3,32 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $5,88 \times 10^{11} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $2,63 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



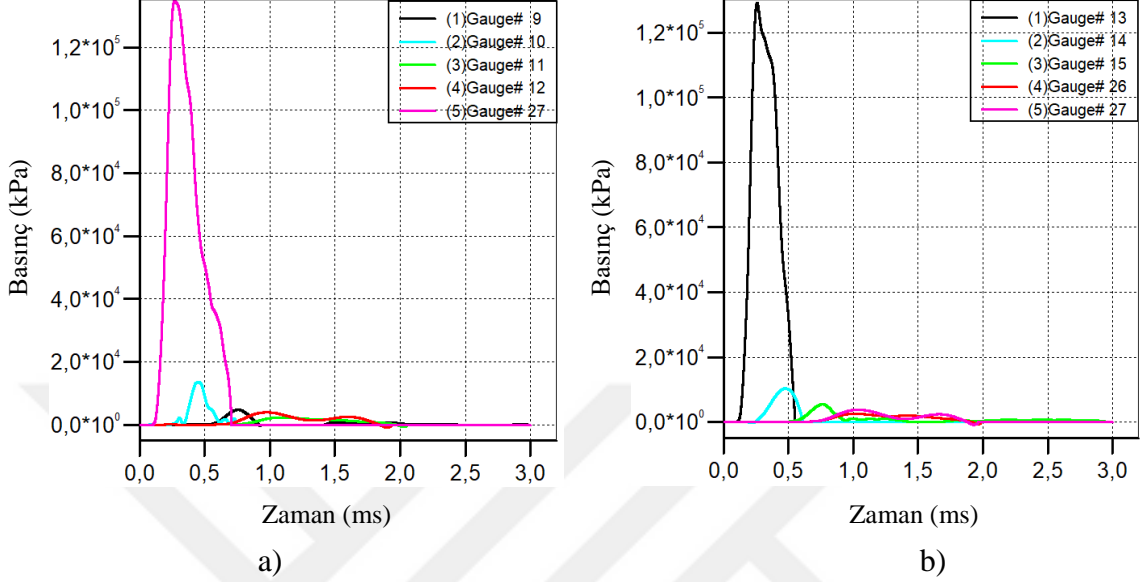
Şekil 2.153. C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri



Şekil 2.154. C50 beton sınıfı 100kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

200 kg TNT ve C50 beton malzeme kullanılarak yapılan analizlere ait basınç-zaman grafikleri Şekil 2.155'te verilmektedir. Model 1'de maksimum basıncın kolon alt uç noktasındaki G27 numaralı ölçüm noktasında 129 MPa olarak ölçülmüştür. Model 2'de

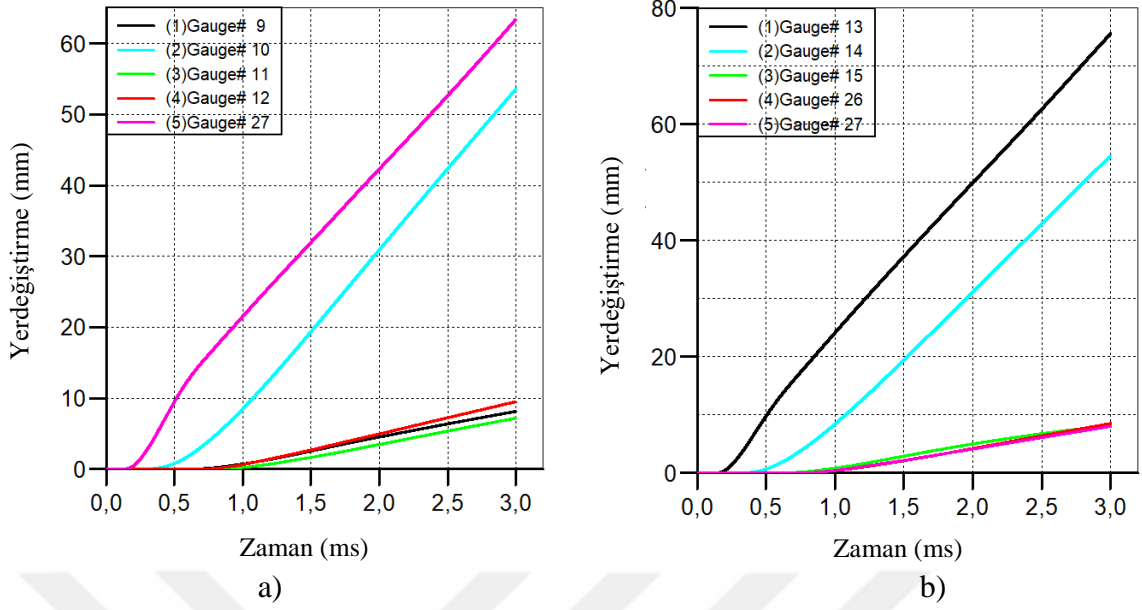
maksimum basıncın G13 numaralı ölçüm noktasında 135 MPa değerine ulaştığı gözlemlenmiştir.



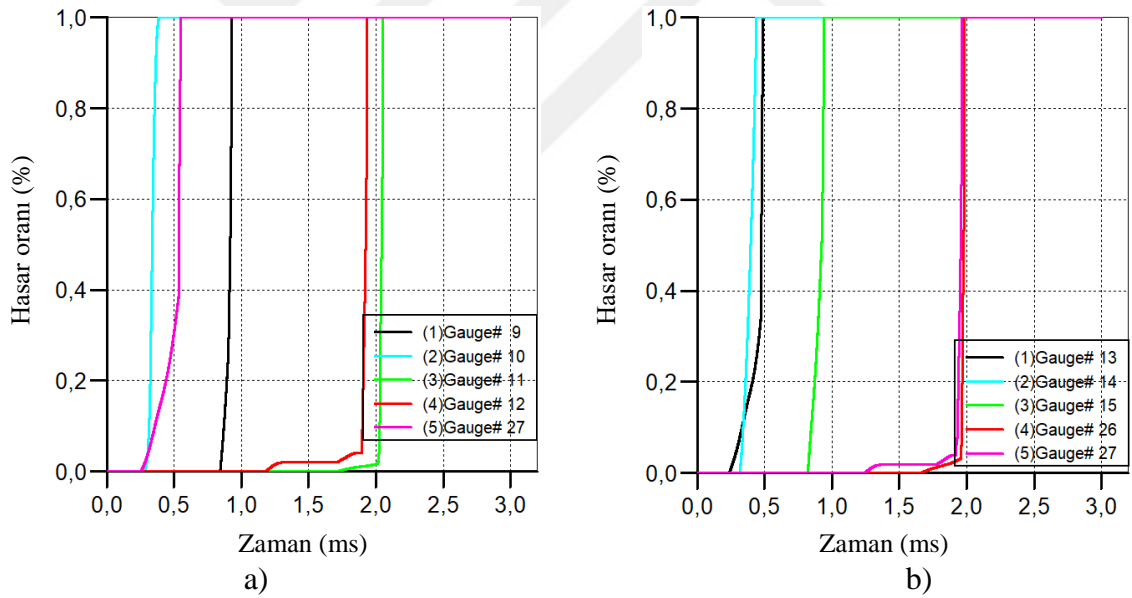
Şekil 2.155 C50 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum basınç-zaman grafikleri

C50 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait yerdeğiştirme-zaman grafikleri Şekil 2.156'da verilmektedir. Grafikler incelendiğinde Model 1'e ait en büyük yerdeğiştirmelerin G10 ve G27 ölçüm noktalarında sırasıyla 53,2mm ve 69,37mm olarak okunmuştur. Model 2'ye ait en büyük yerdeğiştirmelerin ise yine aynı şekilde kolon alt ve orta noktalarında sırasıyla G13 ve G14 ölçüm noktalarında 81mm ve 53mm olarak okunmuştur.

Hasar-zaman grafikleri incelendiğinde Model 1'de 0,5ms'de G27 ölçüm noktasında hasar oranının %100'e ulaştığı, G10 ölçüm noktasında 0,39ms'de hasar oranının %100 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Model 2'de 0,48ms'de G13 ölçüm noktasındaki hasar oranının %100'e ulaştığı, G14 numaralı ölçüm noktasında 0,44ms'de %100 hasar aldığı tespit edilmiştir. C50 beton malzeme ve 200 kg TNT kullanılarak yapılan analize ait hasar-zaman grafikleri Şekil 2.157'de verilmektedir.



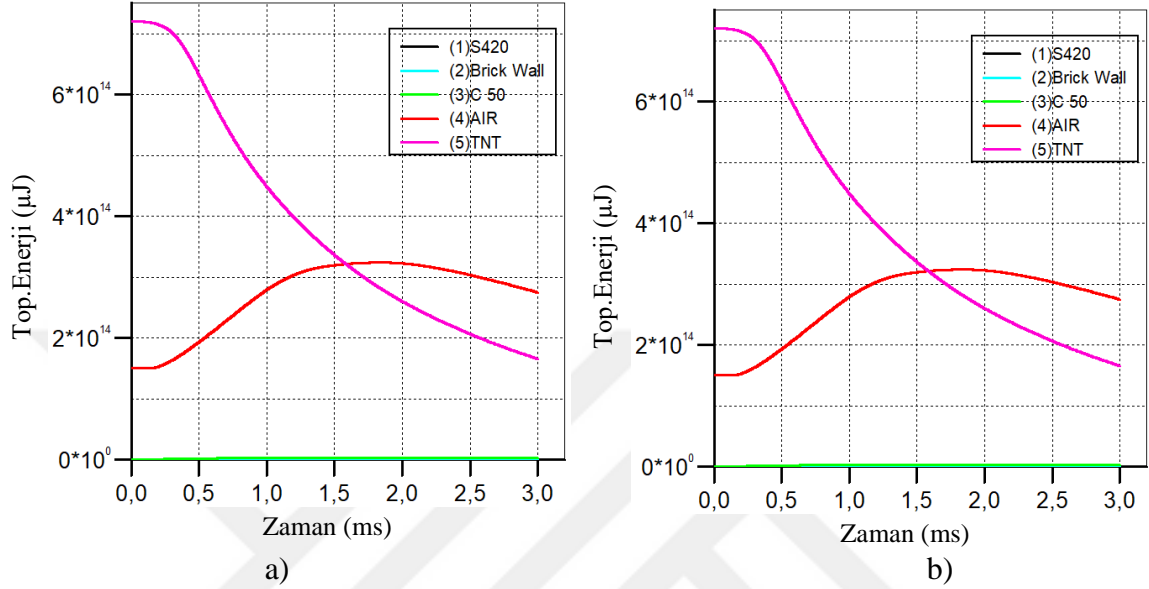
Şekil 2.156. C50 beton sınıfı 200 kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait maksimum yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 2.157. C50 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2'ye ait hasar oranı-zaman grafikleri

TNT'nin infilak etmesiyle birlikte, patlayıcıdan yayılan enerji ve yapı tarafından absorbe edilen enerji miktarları Şekil 2.158'de verilmektedir. Model 1'de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$, sırasıyla yapı elemanları tarafından absorbe edilen miktarlar ise C50 betonu tarafından $2,85 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $6,89 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,20 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14} \mu\text{J}$ 'dir.

Model 2’de TNT tarafından ortama yayılan enerji $7,2 \times 10^{14} \mu\text{J}$, C50 betonu tarafından $2,87 \times 10^{12} \mu\text{J}$, donatı tarafından $9,86 \times 10^{10} \mu\text{J}$, tuğla tarafından $2,22 \times 10^{12} \mu\text{J}$ iken hava tarafından yutulan enerji miktarı ise $3,24 \times 10^{14} \mu\text{J}$ ’dir.



Şekil 2.158. C50 beton sınıfı 200kg TNT kullanılarak yapılan analiz sonucu a) Model 1 ve b) Model 2’ye ait toplam enerji-zaman grafikleri

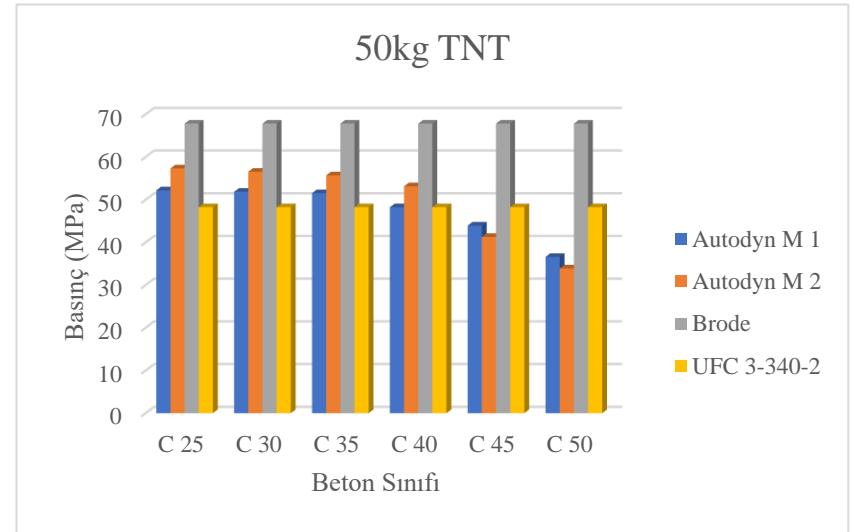
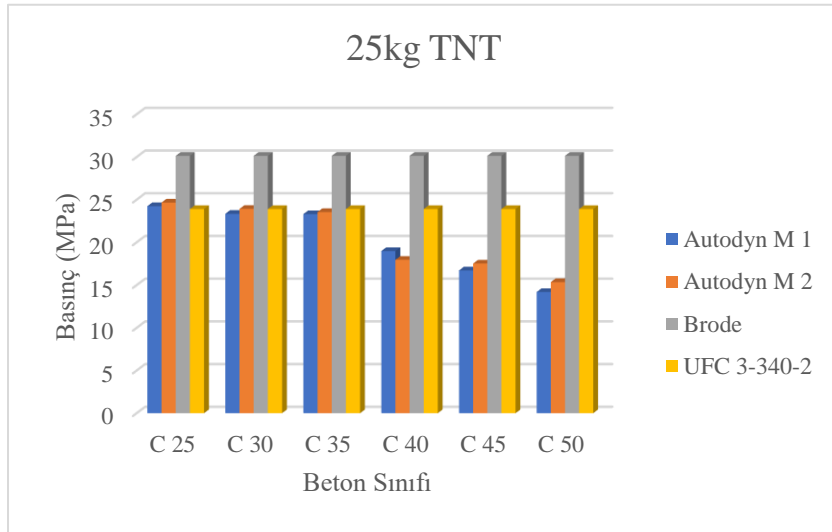
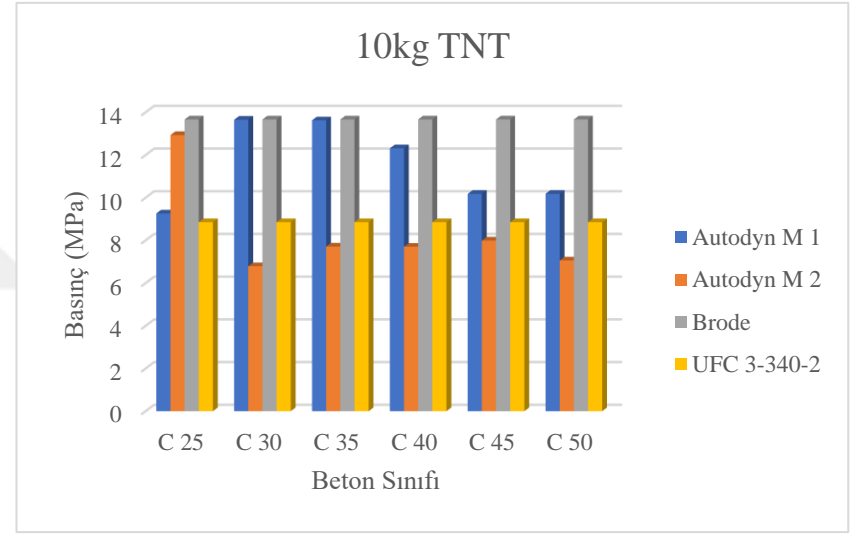
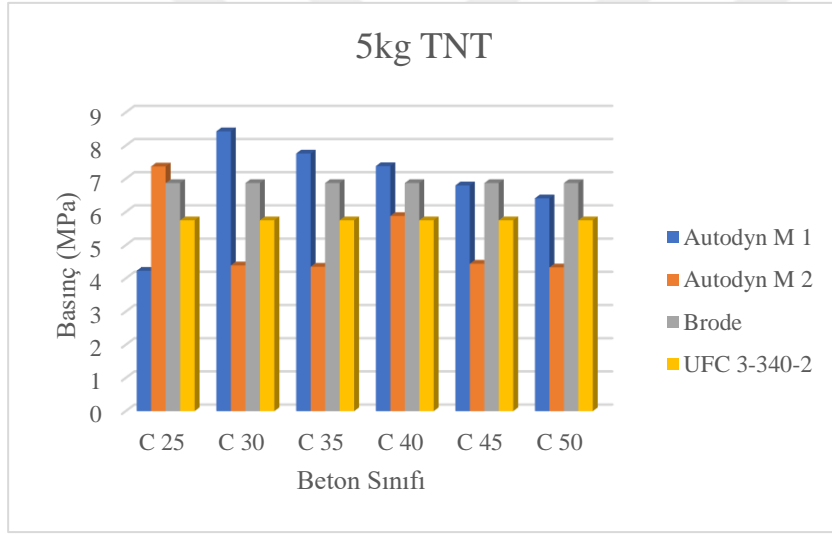
Tüm beton sınıfları (C25, C30, C35, C40, C45 ve C50) ve patlayıcı ağırlıkları (5, 10, 25, 50, 100 ve 200 kg TNT) ile yapıya 0,50m mesafede gerçekleştirilen analizlere ait genel basınç değerleri kıyas tablosu Tablo 2.13’te verilmektedir. Aynı zamanda tüm beton sınıf ve patlayıcı ağırlıklarına ait maksimum basınçların karşılaştırıldığı basınç-zaman grafikleri Şekil 2.159’da verilmektedir.

Tablo 2.13. Basınç değerleri genel kıyas tablosu

Beton Malzeme Sınıfı	Patlamanın Yapıya Mesafesi (m)	Ölçeklenmiş Mesafe	Patlayıcı Ağırlığı (kg)	Autodyn (MPa)		Brode (MPa)	Brode (%)		UFC 3-340-2 (MPa)	UFC 3-340-2 (%)	
				Model 1	Model 2		Model 1	Model 2		Model 1	Model 2
C 25	0,5	0,462	5	4,23	7,37	6,87	3,78	6,65	5,75	26,08	21,98
		0,367	10	9,26	12,93	13,66	31,60	5,15	8,85	4,42	25,80
		0,270	25	24,24	24,66	30,13	19,54	18,15	23,90	1,41	3,08
		0,215	50	52,17	57,31	67,80	23,00	15,47	48,23	7,55	15,30
		0,171	100	83,85	88,81	135,70	38,21	34,55	82,00	2,21	7,67
		0,135	200	151,42	158,65	271,20	44,17	41,50	126,00	16,55	20,25
C 30	0,5	0,462	5	8,43	4,39	6,87	18,50	36,01	5,75	31,80	18,43
		0,367	10	13,65	6,79	13,66	0,07	9,15	8,85	34,90	28,22
		0,270	25	23,34	23,92	30,13	22,53	20,61	23,90	2,30	0,08
		0,215	50	51,84	56,53	67,80	23,52	16,62	48,23	6,96	14,15
		0,171	100	83,39	86,56	135,70	38,54	36,21	82,00	1,66	5,20
		0,135	200	149,33	153,37	271,20	44,86	43,43	126,00	15,60	17,64
C 35	0,5	0,462	5	7,76	4,35	6,87	11,60	35,20	5,75	24,60	22,80
		0,367	10	13,62	7,71	13,66	0,29	38,40	8,85	34,50	12,80
		0,270	25	23,30	23,55	30,13	22,60	21,80	23,90	2,51	1,46
		0,215	50	51,51	55,68	67,80	24,00	17,80	48,23	6,36	13,30
		0,171	100	83,12	85,91	135,70	38,70	36,60	82,00	1,35	4,55
		0,135	200	143,26	147,00	271,20	47,20	45,80	126,00	12,05	14,20
C 40	0,5	0,462	5	7,38	5,88	6,87	6,91	14,41	5,75	22,08	2,21
		0,367	10	12,31	7,70	13,66	9,26	42,60	8,85	28,10	12,90
		0,270	25	18,98	17,96	30,13	37,00	40,40	23,90	20,90	24,60
		0,215	50	48,21	53,12	67,80	28,80	21,60	48,23	0,04	9,21
		0,171	100	78,88	82,58	135,70	41,80	39,01	82,00	3,80	0,72
		0,135	200	138,91	142,20	271,20	48,70	47,60	126,00	9,30	11,30

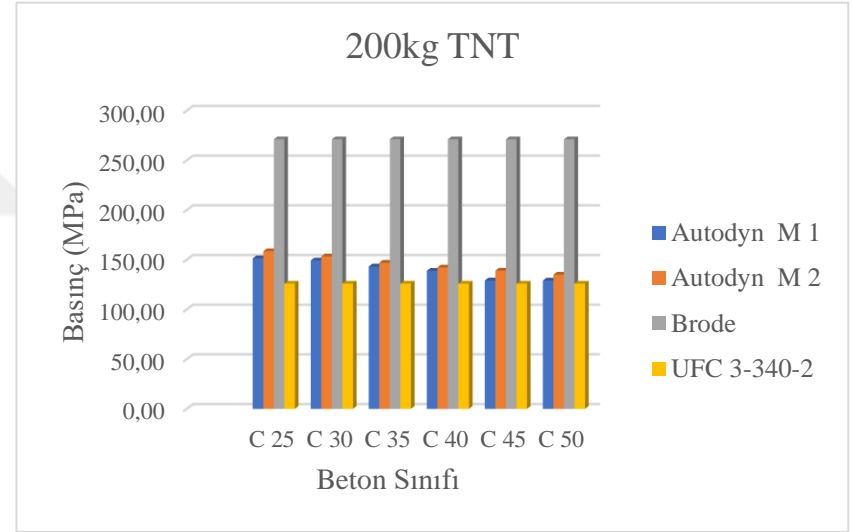
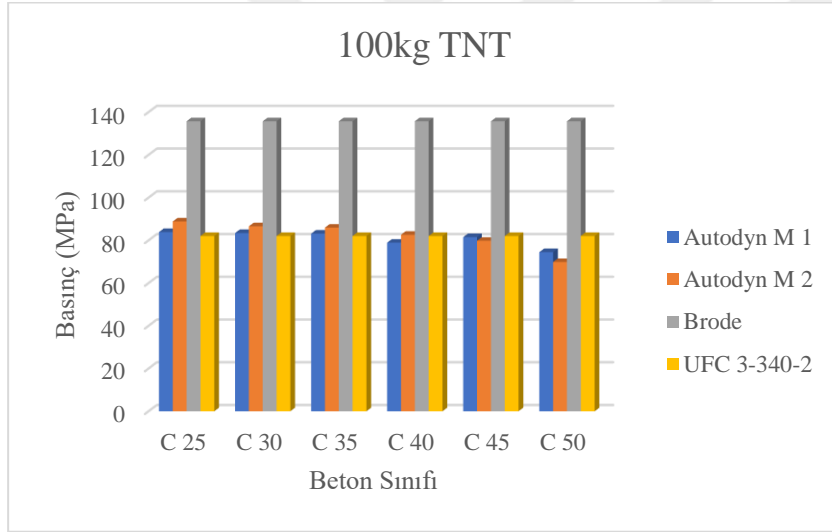
Tablo 2.13'ün devamı

C 45	0,5	0,462	5	6,80	4,44	6,87	1,02	34,70	5,75	15,40	22,80
		0,367	10	10,18	7,99	13,66	25,30	41,40	8,85	12,50	9,60
		0,270	25	16,71	17,52	30,13	44,50	41,80	23,90	28,80	26,60
		0,215	50	43,92	41,26	67,80	35,10	39,00	48,23	8,90	14,40
		0,171	100	81,49	79,78	135,70	39,50	41,00	82,00	0,61	2,70
		0,135	200	129,00	139,00	271,20	52,40	48,70	126,00	2,33	9,35
C 50	0,5	0,462	5	6,80	4,33	6,87	6,69	35,20	5,75	10,10	24,60
		0,367	10	10,18	7,06	13,66	20,60	43,40	8,85	12,70	19,30
		0,270	25	16,71	15,35	30,13	52,80	48,80	23,90	35,60	35,80
		0,215	50	43,92	33,89	67,80	45,40	49,80	48,23	23,30	29,20
		0,171	100	81,49	69,83	135,70	44,40	48,20	82,00	8,50	14,60
		0,135	200	129,00	135,00	271,20	52,00	50,10	126,00	2,32	6,67



Şekil 2.159. Farklı beton malzeme sınıfı ve patlayıcı ağırlıklarına ait karşılaştırmalı maksimum basınç-zaman grafikleri

Şekil 2.159'un devamı



3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip tek katlı farklı geometrik açıklıkları olan depreme dayanıklı olarak tasarlanmış iki adet modelin farklı patlayıcı ağırlık ve beton malzeme sınıfları kullanıldığında gösterdikleri yapısal tepkilerin ölçülmesi amaçlanmıştır. Sayısal çözümler için sonlu eleman analiz yöntemi esas alınmıştır. Patlama kaynaklı oluşan yüklerin yapı dinamik karakteristiklerine olan etkisinin belirlenebilmesi için ilk olarak dört yanı kapalı tabanı zayıf dayanımlı beton malzemeden yapılmış temele oturtulmuş üst yüzeyi tamamen atmosfere açık tuğla model belirlenmiş ve geometrik modeli ANSYS Workbench v.16 programında oluşturulmuş daha sonra ANSYS Autodyn programında üç farklı patlayıcı ağırlığı kullanılarak patlama analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu analiz sonuçlarını doğrulamak için matematiksel formülasyonlardan elde edilen basınç değerleri ile programdan elde edilen veriler karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edilmiştir. Aynı tuğla modelin 1/1 ölçekli deney modeli oluşturularak patlama deneyleri gerçekleştirilmiş ve Autodyn hasar simülasyon görüntüleri ile deneysel hasar görüntüleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ışında iki farklı geometrik özelliklere sahip tek katlı betonarme yapı modeli oluşturularak farklı patlama senaryolarında analizler yapılarak betonarme yapılarda beton malzeme sınıfının ve patlayıcı ağırlığının yapı dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır.

- 1/1 ölçekli örnek tuğla model için analizler yapılırken ilk olarak çatlak oluşturacak ağırlığın belirlenmesi amaçlanmış ve daha sonra temel-yapı bağlantısını ayıracak ağırlığın bulunması hedeflenmiştir. Bunun için tuğla malzemeler için deprem yönetmeliklerinde belirlenen sınır gerilme değerlerinden faydalanılarak sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiş ve optimum patlayıcı ağırlıkları tespit edilmiştir.

- Örnek olarak yapılan tuğla model için belirlenen patlayıcı ağırlıkları ile gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen basınç değerleri tez çalışmasının 1.5. bölümünde yer alan formülasyonlardan elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Ölçeklenmiş mesafenin azalması ile birlikte sonlu eleman analizlerinden elde edilen sonuçların, formülasyonlardan elde edilen sonuçlara daha yakın olduğu belirlenmiştir. Ölçeklenmiş mesafe küçüldükçe Kinney-Graham, Sadovsky ve Mills'e ait ampirik

bağıntılardan elde edilen sonuçların analizlerden elde edilen verilerle karşılaştırıldığında diğer bağıntılara oranla daha tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

- Örnek tuğla modeli ile yapılan bir diğer karşılaştırma ise Amerikan Savunma Ordusu'nun yayınlamış olduğu abak olan UFC 3-340-02 ile yapılmıştır. UFC 3-340-02'de yer alan abak ile formülasyonlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında abaktan okunan değerlerin özellikle azalan ölçeklenmiş mesafeler bazında daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

- Çalışmada kütle, enerji ve momentumun korunma ilkeleri esas alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

- Patlama problemleri için gelişmiş bilgisayar programları kullanılarak oluşturulan modeller üzerinde yapılan analizler sonucunda, model kesitlerinde düzgün bir basınç dağılımının elde edilmesinde katı elemanların akışkan hacimdeki elemanlardan daha büyük sayısal ayrıklaştırma ile (mesh) sonlu elemanlara ayrıştırılmasının programın doğru bir biçimde çalışmasında önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

- Sonuçlar arasındaki en düşük yüzdesel fark UFC 3-340-02'de yer alan abaklar ile en yüksek fark ise Brode ampirik bağıntısından elde edilen çözümlerle ortaya çıkmıştır. Daha sonra yapılan analizlerde en yüksek ve en düşük farkı birlikte görebilmek amacıyla abak ve Brode ampirik bağıntılarından yararlanılmıştır.

- Betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip modellerin patlama etkisinde sınırlandırılmış ve kısmen sınırlandırılmış ortamlardaki yapısal tepkilerinin gözlemlenebilmesi için karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir. Sınırlandırılmış ortamlarda gerçekleştirilen analizlerde patlayıcı ağırlığının artmasıyla eleman yüzeylerinde meydana gelen basınç değerlerinin de aynı oranda arttığı belirlenmiştir.

- Beton malzeme sınıfını sabit tutup patlayıcı ağırlıkları artırıldığında meydana gelen basınç ve yerdeğiştirmelerin aynı oranda artış gösterdiği, hasar alma sürelerinin patlayıcı ağırlığından önemli oranda etkilenmediği fakat beton malzeme sınıfı seçiminin hasar alma süresinde etkili parametre olduğu sonucu elde edilmiştir.

- Patlayıcı ağırlığının artmasıyla beraber TNT tarafından ortama yayılan enerji miktarını aynı oranda arttığı ve bu enerjinin büyük çoğunluğunun hava hacmi tarafından absorbe ettiği görülmüştür. Yapı elemanları bazında ise en büyük enerji soğurma kapasitesinin beton malzemeye ait olduğu tespit edilmiştir.

- Aynı ağırlıkta TNT kullanılarak yapılan çalışmalarda her iki yapı modeli içinde farklı beton sınıfı kullanımı ile karşılaştırıldığında, basınç değerlerinin beton elastisite

modülü artmasıyla orantılı olarak ciddi oranda azaldığı görülmüştür. Beton dayanımının artması patlama olaylarına karşı yapı dayanımında etkili bir parametre olduğu tespit edilmiştir.

- İki ayrı modelle zemin yüzeyinde meydana gelen patlamaların değişken geometrik özellik, farklı ağırlıktaki patlayıcı ve beton malzeme kullanımının etkisinin araştırıldığı bu çalışmada patlayıcı ekseninde yer alan ön cephe orta aksta bulunan kolon yüzeyinin ilk hasarı aldığı daha sonra ise yan yüzeylerde bulunan tuğla duvar ve ön cephe kirişlerinin hasar aldığı tespit edilmiştir. Literatür çalışmalarında belirtildiği gibi analizler sonucunda patlamanın yapısal elemanlar bazında ve yüzey alanları ölçeğinde değerlendirilmesinin daha doğru sonuç verdiği tespit edilmiştir.

- Betonarme elemanların yükleme hızı arttıkça, göçme mekanizmalarının eğilmeden ziyade kesmeye veya zımbalamaya doğru eğilim gösterdiği bilinmektedir. Yapılan analizlerde özellikle artan patlayıcı ağırlığının betonarme elemanlarda kesme kırılması şeklinde hasar aldığı belirlenmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapılan bazı öneriler maddeler halinde aşağıda sunulmaktadır:

- Patlama analizleri çok uzun saatler süren doğrusal olmayan dinamik analizler olması nedeniyle bu çalışma genişletilerek bir kodlama sistemi oluşturulup sonlu eleman analizleri artırılarak bir mühendislik yazılımı hazırlanabilir ve çözümleme süresi azaltılabilir.

- Ülkemizde kazara yada terör saldırıları sonucu meydana gelebilecek patlamalara yönelik yapı tasarım kriterleri ve yönetmeliği bulunmadığından konu ile ilgili uzman teknik personeller tarafından bir yönetmelik hazırlanması gerekliliği günümüz ve değişen dünya düzeninde özellikle stratejik ve hayati önem taşıyan binaların tasarım ve yapımı için elzemdir.

- Bu çalışma kapsamında 6 farklı beton malzeme sınıfı, 6 farklı patlayıcı ağırlığı ve 2 farklı geometrik özelliğe sahip betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip modeller üzerinde zemin yüzeyinde meydana gelen patlamaların yapı üzerindeki dinamik tepkileri ölçülmüştür. Benzer çalışmalar farklı taşıyıcı sisteme sahip yapılar, serbest ortamda veya zemin yüzeyinden belirli mesafe yükseklikte ve yapı içinde meydana gelen patlamalar için de kurgulanabilir.

4. KAYNAKLAR

- Alsayed, S. H., Elsanadedy, H.M., Al-Zaheri, Z. M., Al-Salloum, Y. A. ve Abbas, H., 2016. Blast response of GFRP-strengthened infill masonry walls, Construction and Building Materials, 115, 438–451.
- Altunlu, K., 2008. Safety Assessment Of R/C Columns Against Explosive Attacks By Vehicle Or Human From Exterior, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Andreou, M.P., Kotsoglou, A.N. ve Pantazopoulou S., 2016. Modelling Blast Effects on a Reinforced Concrete Bridge, Advances in Civil Engineering, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4167329>
- ANSYS, AUTODYN, 2016. Ansys Inc. USA.
- ANSYS, Workbench, 2016. Ansys Inc. USA.
- Aoude, H., Frederic, D.P.R, Burrell, P., Saatçioğlu, M., 2015. Behavior of ultra-high performance fiber reinforced concrete columns under blast loading, Impact Engineering, 85, 185-202.
- Brode H.L., 1955. Numerical solution of spherical blast waves, Journal of Applied Physics, American Institute of Physics, 26.
- Codina R., Ambrosini, D. ve Borbón, F., 2016. Experimental and numerical study of a RC member under a close-in blast loading, Engineering Structures, 127, 145-158.
- Codina R., Ambrosini, D. ve Borbón, F., 2017. Alternatives to prevent progressive collapse protecting reinforced concrete columns subjected to near field blast loading, Procedia Engineering, 199, 2445-2450.
- Coffield A. ve Adeli H., 2015. Irregular Steel Building Structures Subjected to Blast Loading, Journal Of Civil Engineering And Management, 22, 17-25.
- Comite Euro-International Du Beton, 1990. CEB-FIP Model Code 1990, Redwood Books, Wiltshire, UK.
- Cormie, D., Mays, G. Ve Smith, P., 2009. Blast effects on buildings, ICE publishing, London, UK.
- Cömert M., 2010. Performance Based Assessment Of Reinforced Concrete Structures Against Blast Loading, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Draganić, H. ve Sigmund, V., 2012. Blast loading on structures, Ehnički Vjesnik, 3, 643-652.
- Dusenbery, D.O., 2010. Handbook For Blast-Resistant Design Of Buildings, John Wiley & Sons, USA.
- Erdolu Ö., 2016. Patlama yükünün köprü tipi yapılar üzerinde oluşturduğu hasarın hesaplanması ve değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- FEMA, 2003. Federal Emergency Management Agency, Risk Management Series Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks, USA.
- Forni, D., Chiaia, B. ve Cadoni, E., 2017. Blast Effect on Steel Columns under Fire Conditions, Journal of Constructional Steel Research, 136, 1-10.
- Gevrek M.I., 2016. Çelik kiriş-kolon elemanların patlama yükü altında dinamik davranışlarının irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Hacıfendioğlu, K., 2017. Stochastic dynamic response of short-span highway bridges to spatial variation of blasting ground vibration, Applied Mathematics and Computation, 292, 194-209.
- Hacıfendioğlu, K. ve Koç, V., 2016. Dynamic assessment of partially damaged historic masonry bridges under blast-induced ground motion using multi-point shock spectrum method, Applied Mathematical Modelling, 40, 10088–10104.
- Hao, H. ve Tang, E.K.C., 2010. Numerical simulation of a cable-stayed bridge response to blast loads, Part I: Model development and response calculations, Engineering Structures, 32, 3180-3192.
- Hao, H. ve Tang E.K.C., 2010. Numerical simulation of a cable-stayed bridge response to blast loads, Part II: Damage prediction and FRP strengthening, Engineering Structures, 32, 3193-3205.
- Hashemi, S.K., Bradford, M.A. ve Valipour, H.R., 2016. Dynamic response of cable-stayed bridge under blast load, Engineering Structures, 127, 719-736.
- Henrych, J., 1979. The Dynamics of Explosion and Its Use, Developments in Atmospheric Science, Elsevier Scientific, Amsterdam.
- Hussein, A.T., 2010. Non-Linear Analysis of SDOF System under Blast Load, European Journal of Scientific Research, 45, 430-437.
- Jayasooriya, R., Thambiratnam, D.P., Perera, N.J. ve Kosse V., 2011. Blast and residual capacity analysis of reinforced concrete framed buildings, Engineering Structures, 33, 3483–3495.

- Karapınar, S., 2004. Analysis of reinforced concrete structures subjected to blast loading, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kelliher, D. ve Sutton-Swaby, K., 2012. Stochastic representation of blast load damage in a reinforced concrete building, Structural Safety, 34, 407-417.
- Kingery, C. N. ve Bulmash G., 1984. Technical report ARBL – TR – 02555: Air blast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical burst, U.S Army Ballistic Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD.
- Kinney, G.F ve Graham, K.J., 1985. Explosive Shocks in Air, Springer, Berlin.
- Koccaz, Z., Sütçü, F. Ve Torunbalcı, N., 2008. Architectural And Structural Design For Blast Resistant Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, China.
- Köksal O., 2013. Patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su depolarının dinamik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye.
- Krauthammer, T., 2008. Modern protective structures, CRC Press, New York, USA.
- Kyei, C. ve Braimah A., 2017. Effects of transverse reinforcement spacing on the response of reinforced concrete columns subjected to blast loading, Engineering Structure, 142, 148-164.
- Li, Y. ve Aoude H., 2019. Blast Response of beams built with high- strength concrete and high-strength ASTM A1035 bars, International Journal of Impact Engineering, 130, 41-67.
- Li, Z., Chen, L., Fang, Q, Hao, H., Zhang, Y., Xiang, H., Chen, W., Yang, S. ve Baoc, Q., 2017. Experimental and numerical study of unreinforced clay brick masonry walls subjected to vented gas explosions, International Journal of Impact Engineering, 104, 107-126.
- Luccioni, B.M., Ambrosini, R.D. ve Danesi, R.F., 2003. Analysis of building collapse under blast loads, Engineering Structures, 26, 63-71.
- Mao, L., Barnett, S.J., Tyas, A., Warren, J., Schleyer, G.K. ve Zaini S.S., 2015. Response of small scale ultra high performance fibre reinforced concrete slabs to blast loading, Construction and Building Materials, 93, 822–830.
- Mazurkiewicz, L., Malachowski, J. ve Baranowski, P., 2015. Blast loading influence on load carrying capacity of I-column, Engineering Structures, 104, 107-115.
- Mendis, P., Gupta, A. Ve Ramsay, J., 2007. Blast loading and blast effects on structures, E-Journal of Science and Engineering, Special issue, 76-91.
- Mills C.A., 1987. The design of concrete structures to resist explosions and weapon effects, Proceedings of the 1st Int. Conference on concrete for hazard protections, Edinburgh, UK.

- Nagata, M., Beppu, M., Ichino, H. Ve Takashi J., 2018. Method for evaluating the displacement response of RC beams subjected to close-in explosion using modified SDOF model, Engineering Structures, 157, 105-118.
- Ngo, T., Mendis, P., Gupta, A. ve Ramsay J., 2007. Blast loading and blast effects on structures, EJSE, Special Issue.
- Nourzadeh, D., Humar, J. ve Braimah, A., 2017. Response of roof beams in buildings subject to blast loading: Analytical treatment, Engineering Structures, 138, 50-62.
- Omran, M.E. ve Mollaei, S., 2017. Development of Analytical Models for RC Columns Under Blast Loading Considering Strain Rate Effects, International Journal of Integrated Engineering, 9, 44-53.
- Öker, Y., 1998. Betonarme Binaların Kontrollü Patlamalarla Yıkılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Özcan, D.M., 2010. Yapıların Patlatma Kaynaklı Doğrusal Olmayan Davranışlarının Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Özel, M., 2016. Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısının Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Özmen, H., 2006. Patlatma kaynaklı yer hareketinin modellenmesi ve yapı üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Sadovskiy, M.A., 2004. Mechanical effects of air shockwaves from explosions according to Experiments, Nauka Press, Moscow.
- Salvado, F.C., 2017. Confined explosion: The effect of compartment geometry, Journal of loss Prevention in the Pocess Industries, 48, 126-144.
- Smith, P.D. ve Hetherington, J.G., 1994. Blast and Ballistic Loading of Structures, Butterworth-Heinemann Ltd., Great Britain.
- Shi, Y. ve Stewart, M.G., 2015. Spatial reliability analysis of explosive blast load damage to reinforced concrete columns, Structural Safety, 53, 13-25.
- Shin, J., Whittaker, A.S., Cormie, D. ve Wilkinson, W., 2014. Numerical modeling of close-in detonations of high explosives, Engineering Structures, 81, 88-97.
- Son, J. ve Lee, H.J., 2011. Performance of cable-stayed bridge pylons subjected to blast loading, Engineering Structures, 33, 1133-1148.
- Syed, Z.I., Mohamed, O.A., Murad, K. ve Kewalramani, M., 2017. Performance of earthquake-resistant RCC frame structures under blast explosions, Procedia Engineering, 180, 82-90.

- Tahmilci, F., 2007. Analysis Of Blast Loading Effect On Regular Steel Building Structures, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Tan, K.H. ve Patoary, M.K.H., 2009. Blast resistance of FRP-strengthened masonry walls.I: approximate analysis and field explosion tests, Journal of Composites for Construction, 13, 422–430.
- TM 5-1300, 1990. Structures To Resist The Effects of Accidental Explosions, Department of Defence, USA.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Resmî Gazete, Başbakanlık Basımevi, Ankara, Türkiye.
- Tokgöz, M.N., 2015. Betonarme kolonların çarpışma yüklemesi altındaki davranışının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Turcan, U.C., 2012. Kapalı hacimlerde oluşan patlamaların ve darbe basıncı yükleri altındaki yapıların davranışlarının çözümlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- UFC 3-340-02, 2008. Unified Facilities Criteria: Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, Dept of Defense, Washington, USA.
- US Army Corps of Engineers, 2008. Engineering Guidance Design Manual, Engineering and Support Center, Huntsville, Alabama.
- URL-1, <https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/2193>
- Vaighan, B.S., 2012. Dynamic Behaviours Of Steel Panels Subjected To Blast Load, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Wijesundara, M.G.L. ve Clublely, S.K., 2016. Damage state identification for reinforced concrete columns in uplift due to internal building detonations, Engineering Structures, 127, 804–823.
- Wu, C., Hao, H., Lu, Y. ve Sun, S., 2004. Numerical simulation of structural responses on a sand layer to blast induced ground excitations, Computers & Structures, 82, 799-814.
- Wu, C. ve Hao, H., 2005. Modeling of simultaneous ground shock and airblast pressure on nearby structures from surface explosions, International Journal of Impact Engineering, 31, 699–717.
- Wu, C., Hao, H. ve Lu, Y., 2005. Dynamic response and damage analysis of masonry structures and masonry infilled RC frames to blast ground motion, Engineering Structures, 27, 323-333.

- Yalçiner, H., 2014. Structural Response to Blast Loading: The Effects of Corrosion on Reinforced Concrete Structures, Hindawi Publishing Corporation Shock and Vibration, 2014, Article ID 529892.
- Yang, G. ve Lok, T-S., 2007. Analysis of RC structures subjected to air-blast loading accounting for strain rate effect of steel reinforcement, International Journal of Impact Engineering, 34, 1924–1935.
- Yusof, M.A., Rosdi, R.N., Nor, N.M., Ismail, A., Yahya, M.A. ve Peng, N.C., 2014. Simulation of Reinforced Concrete Blast Wall Subjected to Air Blast Loading, Journal of Asian Scientific Research, 4, 522-533.
- Zhang, R. ve Philips B.M., 2015. Performance and Protection of Base-Isolated Structures under Blast Loading, Journal of Engineering Mechanics, 142(1): 04015063.
- Zhang, F., Wu, C., Li, Z. ve Zhao, X., 2015. Residual axial capacity of CFDST columns infilled with UHPFRC after close-range blast loading, Thin-Walled Structures, 96, 314-327.

ÖZGEÇMİŞ

Fatma ÖNALAN, 1989 yılında Malatya’da doğdu. 2010 yılında girdiği Öğrenci Seçme Sınavı’nda gösterdiği başarı sonucu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde “Lisans” eğitimi almaya hak kazandı. Bir yıl İngilizce Hazırlık eğitimi de alarak 2015 yılında İnşaat Mühendisliği lisans eğitimini onur öğrencisi olarak tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda “Yüksek Lisans” eğitimine başladı. Bir yıl süre ile özel sektörde kontrol mühendisi olarak çalıştıktan sonra 2017 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi’ne araştırma görevlisi olarak atanan yazar burada bir yıl görevine devam etmiş ve 2018 yılında Ankara Aski Genel Müdürlüğü’ne mühendis olarak atanmıştır. Burada 31.12.2018-08.04.2019 tarih aralığında Genel Müdür Yardımcısı danışmanlık görevi ile birlikte Ankara için 2050 hedef yılı Master Plan çalışmasında proje koordinatörü olarak görev almıştır. Halen Ankara için 2050 hedef yılı Master Plan çalışmasında proje koordinatörü olarak ve kontrol mühendisi olarak görevine devam etmekte olan ÖNALAN İngilizce bilmekte olup bugüne kadar yapmış olduğu akademik çalışmalara ait yayın listesi aşağıda sunulmaktadır.

- Önalın, F. ve Altunışık, A.C., 2019. Structural Behavior of Reinforced Concrete Buildings under Explosion Effects, International Civil Engineering and Architecture Conference, Trabzon, Türkiye.