



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÜÇ KATLI BETONARME BİR YAPININ
ÇEŞİTLİ DEĞİŞKENLERE BAĞLI OLARAK
PATLAMA ETKİSİ ALTINDA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Enes Barış YAŞAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır.

TEZ KABUL VE ONAYI

Enes Barış YAŞAR tarafından hazırlanan “Üç Katlı Betonarme Bir Yapının Çeşitli Değişkenlere Bağlı Olarak Patlama Etkisi Altında Davranışının İncelenmesi.” adlı tez çalışması 06/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. MURAT ÖZTÜRK

.....

Danışman

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

.....

Üye

Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi ALİ SERDAR ECEMİŞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Enes Barış YAŞAR

Tarih: 06.07.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÜÇ KATLI BETONARME BİR YAPININ ÇEŞİTLİ DEĞİŞKENLERE BAĞLI OLARAK PATLAMA ETKİSİ ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

ENES BARIŞ YAŞAR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

2023, 123 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ**

Yapıların tasarımı mimari ve statik projelerin tamamlanmasından sonra saha imalatlarıyla devam eder. Mimarisi tamamlanan projelerin statik tasarımı aşamasında ölü yük, hareketli yük, deprem yükü, rüzgâr yükü, sıcaklık etkisi, fiktif yük ve endüstriyel yapılarda kren yükü olarak yükler tanımlanmakta ve hesaplar bu yükler dikkate alınarak yapılmaktadır. Son yıllarda yaşanan patlayıcı depolarındaki patlamalar, terör faaliyetleri ve doğal kaynaklı patlamalardan kaynaklı yaşanan maddi ve manevi kayıplar özellikle bazı yapılarda patlama yüklerinin statik hesaplara dahil edilmesi gerektiğini gözler önüne sermiştir.

Bu tez çalışmasında; farklı miktarlardaki ve konumlardaki patlama yüklerinin üç katlı betonarme bir yapı üzerinde oluşturduğu etkiler araştırılmıştır. Bu kapsamda; patlama analizlerini yapabilen bir sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Üç katlı betonarme bir yapı içerisinde farklı miktar ve konumlarda infilak eden patlayıcının oluşturduğu yüklerin yapının taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapıların patlama yüklerine karşı dayanıklı tasarımının yapılması üretim alanında ilave maliyetlere sebep olacağı kaçınılmaz olsa da hastane, kamu binaları, askeri yapılar vb. kritik öneme sahip yapıların tasarımında dikkate alınmasının yaşanacak maddi kayıp açısından birçok zararın önüne geçeceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: ANSYS Workbench, AUTODYN, Explicit Dynamics, Patlayıcı, TNT

ABSTRACT

MS/THESIS

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF A THREE-STOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING UNDER EXPLOSION DEPENDING ON VARIOUS VARIABLES

Enes Barış YAŞAR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

2023, 123 Pages

Jury

**Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ**

The design of the buildings continues with the field productions after the architectural and static projects are completed. During the static design phase of the projects whose architecture has been completed, dead load, live load, earthquake load, wind load, temperature effect, fictitious load and crane load in industrial buildings are defined and calculations are made by taking these loads into account. The material and moral losses caused by explosions in explosive warehouses, terrorist activities and natural origin explosions in recent years have revealed that explosion loads should be included in static calculations, especially in some buildings.

In this thesis study; The effects of explosion loads of different amounts and locations on a three-storey reinforced concrete structure were investigated. In this context; A finite element software capable of performing explosion analysis was used. The effect of the loads created by the explosive detonating at different amounts and locations in a three-storey reinforced concrete structure on the carrier and non-bearing elements of the structure was investigated. Although it is inevitable that the design of buildings resistant to explosion loads will cause additional costs in the production area, it is inevitable that hospitals, public buildings, military buildings, etc. It is thought that taking this into account in the design of critically important structures will prevent many damages in terms of material and loss of life.

Keywords: ANSYS Workbench, AUTODYN, Explicit Dynamics, Explosion, TNT

ÖNSÖZ

İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans çalışmalarım süresince yardım, destek, hoşgörü, bilgi ve desteklerinden dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat Öztürk'e teşekkürlerimi sunarım.

Sadece bu çalışma süresince değil, tüm hayatım boyunca karşılaştığım zorlukları aşmamda bana daima destek olan, desteklerini asla esirgemeyen maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan annem, babam ve kardeşlerime sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mesleki ve sosyal hayatımda desteklerini esirgemeyen Uçak Mühendisi Mustafa Tuğberk ÇAKIR'a teşekkür ederim.

Son olarak, tez süresince bilgilerini çekinmeden benimle paylaşan bana destek olan Dr. Ahmet Tuğrul TOY, Prof Dr. Barış Sevim ve Prof. Dr. Hasan Hüsnü Korkmaz hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Sadece bu çalışma aşamasında değil, her anımda yanımda olan herkese saygı ve sevgilerimle.

Enes Barış YAŞAR
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	5
1.2. Tezin Önemi	6
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
3.MATERYAL VE METOT.....	12
3.1. Patlama Kavramı	12
3.2.Emniyet Mesafesi.....	12
3.3. Patlayıcı Madde Çeşitleri ve Özellikleri	13
3.4. TNT Eş Değeri	13
3.5. Patlamanın Oluşum Şekilleri ve Etkileri.....	15
3.5.1. Açık (Sınırlandırılmamış) Ortamda Meydana Gelen Patlamalar.....	16
3.5.2. Kapalı (Sınırlandırılmış) Ortamda Meydana Gelen Patlamalar.....	22
3.5.3. Patlama Sonucunda Oluşan Yer Hareketlerinin Yapıya Etkileri	24
3.6. Patlama Yüklerin Tespitine İlişkin Analitik Çalışmalar	24
3.6.1. Brode Modeli	24
3.6.2. Newmark ve Hansen Modeli.....	25
3.6.3. Mills Modeli.....	25
3.6.4. Mays ve Smith Modeli	25
3.6.5. Henrych Modeli	26
3.6.6. Kingery ve Bulmash Modeli	26
3.6.7. Kinney ve Graham Modeli.....	27
3.6.8. Sadovsky Modeli.....	27
3.7. UFC 3-340-02 Standartları.....	28
3.8. ANSYS.....	28
3.8.1. Dolaylı Yöntem (Implicit Method)	28
3.8.2. Açık Yöntem (Explicit Method)	29
3.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY).....	29
3.10. Lagrangian ve Eulerian Denklemleri	30
3.10.1. Lagrangian Denklemleri	30
3.10.2. Eulerian Denklemleri	32
3.10.3. Keyfi Lagranian – Eulerian Analizi (ALE).....	33
4. ANALİZ MODELİ, BULGULAR ve İRDELEMELER.....	34

4.1. Üç Katlı Betonarme Bina ve Sonlu Elemanlar Modeli	34
4.1.1. Okuma Noktaları	39
4.2. Patlama Modelleri	40
4.2.1. P1-470D Patlama Senaryosu	40
4.2.2. P1-235D Patlama Senaryosu	46
4.2.3. P1-52D Patlama Senaryosu	51
4.2.4. PZ-470D Patlama Senaryosu	57
4.2.5. PZ-235D Patlama Senaryosu	63
4.2.6. PZ-52D Patlama Senaryosu	69
4.2.7. P1-470AO Patlama Senaryosu	74
4.2.8. P1-235D Patlama Senaryosu	80
4.2.9. P1-52AO Patlama Senaryosu	85
4.2.10. PZ-470AO Patlama Senaryosu	90
4.2.11. PZ-235AO Patlama Senaryosu	96
4.2.12. PZ-52AO Patlama Senaryosu	101
4.3. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	107
4.3.1. Tüm Patlama Senaryolarında Patlama Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması.....	107
4.3.2. Tüm Patlama Senaryolarında Patlama Yerdeğiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması.....	110
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	115
5.1 Sonuçlar	115
5.2 Öneriler	117
KAYNAKLAR	119
ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

P	Basınç (MPa)
br ²	Birim kare
q _s	Dinamik basınç değeri (MPa)
C _D	Direnç katsayısı
Ø	Donatı çapı (mm)
E	Elastisite Modülü
C _{E-}	Eşdeğer negatif yük faktörü
C _E	Eşdeğer pozitif yük faktörü
t _{rf}	Fiktif zaman (ms)
g	Gram
İ _s	İmpuls (ms)
I	İtme (momentum)
kN	Kilonewton
KPa	Kilopascal (kN/m ²)
H ^d _{exp}	Kullanılan patlayıcının birim kg'da ki ısı enerjisini
MPa	Megapascal (N/mm ²)
m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
ms	Milisaniye
m.sec	Milisaniye
uJ	Mikro joule
t _{rf-}	Negatif faz (ms)
t _{o-}	Negatif faz süreci (ms)
İ _{s-}	Negatif fazın impuls değeri
P _{so-}	Negatif pik basıncı ifade eder (MPa)
P _o	Ortam basıncı (MPa)
Z	Ölçeklendirilmiş uzaklık (m/kg ^{1/3})
Pa	Pascal (N/m ²)
L _w	Patlama dalga boyu (m)

R	Patlayıcının yapıya olan uzaklığı (m)
t_A	Patlamanın oluşma anı (ms)
P_{so}	Pik basınç (MPa)
F_m	Pik kuvvet
U_s	Patlama anında ilk çıkan dalganın hızı
W	Patlayıcı kütlesi (kg)
$\dot{I}_s$	Pozitif fazın implus değeri
t_d	Pozitif faz süresi (ms)
t_o	Pozitif faz süreci (ms)
cm^2	Santimetrekare
cm^3	Santimetreküp
C_r	Ses hızı
α_o	Ses hızı, (m/s)
R	S/G oranı
t_c	Şeffaflaştırma süresi (ms)
U	Şok dalgası hızı (m/ms)
W_e	TNT eşdeğer kütlesi (kg)
P_r	Yansıyan basınç (MPa)
i_r	Yansıyan implus (ms)
S	Yapı yüzeyinin en kısa uzunluğu
T	Yapı titreşiminin doğal periyodu
ω	Yapı titreşiminin doğal açısal frekansı

Kısaltmalar

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANFO	Ammoniumnitrate-fueloil
ASCE	American Society of Civil Engineers
ANSYS	Analysis System
AUTODYN	Autodyn System
FEMA	Federal Emergency Management Agency (ABD, Acil Durum Yönetim Kurumu)
W	Patlayıcı kütlesi
R	Patlayıcı ile yapı arasındaki uzaklık
ESLTR	Protective Construction Design Manual
SDOF	Tek Serbestlik Dereceli Sistem
NCHRP	The National Cooperative Highway Research Program
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TNT	Trinitrotoluen
TS	Türk Standartları
UFC	Unified Facilities Criteria

1.GİRİŞ

Yüksek riskli binalarda, uzun açıklıklı köprülerde ve tünellerde mühendislik tasarım kriterleri büyük gelişim göstermiştir. Birçok ülke deprem, rüzgâr, ölü ve hareketli yükler, sıcaklık vb. dış etkilere karşı standartlar geliştirmiş (Toy ve Sevim 2020). Çağımızda artan terör faaliyetleri ve özellikle patlayıcı depolama alanlarında meydana gelen patlamalar, insanlara ve çevreye telafi edilemeyecek kadar büyük zararlar vermektedir. Patlatma yükü, bir yapının tasarım ömrü boyunca maruz kalabileceği en zararlı ve yıkıcı yüklerden biridir. Sıradan bir yapının ömrü boyunca bu durumun meydana gelme olasılığı çok düşük olsa da bu tehlikenin çok ciddi sonuçlar doğurması, tasarımcıların kritik kabul edilen veya maruz kalma olasılığı yüksek olan yapıların analiz ve tasarımında bunu dikkate almalarını gerektirmektedir.

Patlamaya karşı güçlü yapı tasarımı, üretim esnasında ilave maliyetlere sebep olduğu düşünülüp, birçok tasarımcı tarafından hesaplamalarda ihmal edilmektedir. Günümüzde yapılmış olan yapılar patlama sonucu oluşan ani yüklemelere karşı dayanıksızdır, bu sebepten dolayı daha önce örneklerini gördüğümüz birçok can ve mal kayıpları yaşanmıştır.

Patlama esnasında yapıların davranışlarını, hasar durumlarını, dinamiklerini ve tepkilerini belirlemek için deneysel çalışmalar gözlemsel olarak inceleme imkanı ve doğrulama açısından gerekli olmakla birlikte, patlama deneylerinin yapılması için gerekli resmi izinlerin alınması, deney düzeneğinin maliyeti, patlamaya uygun alanlar vb. nedenlerden dolayı, yapıların patlamaya karşı davranışları deneysel sonuçlara göre önerilmiş ampirik formüller veya sonlu elemanlar analiz programlarıyla belirlenmektedir.

Terörizm sözcüğü günümüzdeki anlamıyla ilk olarak 1789 Fransız Devrimi sırasında bir grup hareketiyle bağdaştırılmıştır (Campbell, 2001). Son yüz yılda terörizm I. Dünya savaşına katılan ülkelerin ulusal amaçlarına, II. Dünya savaşı ve soğuk savaş döneminde büyük güçlerin amaçlarına hizmet etmiştir. Savaş döneminin bitmesiyle radikal dinci ve etnik oluşumların insanlığa korku salmasına hizmet eder hale gelmiştir (Salem, 2007). Bu tehlikeli oluşumlar geçtiğimiz 50 yılda yaptıkları faaliyetlerle insanları birinci dereceden etkiler hale gelmiştir. Terör saldırıları dışında, patlayıcı madde üretilen ve depolanan tesislerdeki patlamalar da belirli yapılar için risk oluşturmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili koşulların, yönetmeliklerin ve denetimlerin geliştirilmesi ile kaza riski azaltılabilirse de bu tür yapılarda riski tamamen ortadan kaldırmanın zor olduğu

yaşanılan kazalardan açıkça görülmektedir. Aşağıda bazı terör saldırıları ve kazalardan örnekler verilmiştir.

Şekil 1.1.'de 20 Kasım 2003 tarihinde İstanbul HSBC Genel Müdürlük ve Konsolosluk binasına toplam 2350 kg'lık karışım patlayıcıyla düzenlenen terör saldırısı sonrasında yapının hasar durumu görülmektedir. Patlama sonucu 17 kişi hayatını kaybetmiş ve 205 kişi yaralanmıştır.



Şekil 1.1. HSBC Bank ve Konsolosluk binası (Url-1)

11 Eylül 2001 tarihinde, Dünya Ticaret Merkezine 2 adet uçakla yapılan saldırıda 2977 kişi hayatını kaybetmiş ve 6000'den fazla kişi yaralanmıştır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. 2001 Dünya Ticaret Merkezi bombalı araç saldırısı (Url-1)

3 Temmuz 2020’de Sakarya’nın Hendek ilçesinde yer alan havai fişek fabrikasında meydana gelen patlama sonucu 7 kişi hayatını kaybetmiş, 127 kişide yaralanmıştır (Şekil 1.3.). Sakarya’nın Hendek ilçesinde meydana gelen bu patlamanın ardından hazırlanan bilirkişi raporunda usule aykırı olarak üretilen ve depolanan barutun ateş, kıvılcım, statik elektrik, sürtünme, darbe, sıcak yüzeyler vb. etkenlerden dolayı infilak ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 1.3. Sakarya Hendek havai fişek fabrikası patlaması (Url-2)

10 Haziran 2023’de Ankara’nın Elmadağ ilçesindeki Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu Roket ve Patlayıcı Madde Fabrikası’nda dinamit lokumu hazırlama bölümünde meydana gelen patlamada 5 kişi hayatını kaybetmiştir.



Şekil 1.4. MKE Roket ve Patlayıcı Madde fabrikası patlaması (Url-3)

Dünyada patlamalar üzerine araştırmalar 1940’lı yıllarda başlamıştır (Cömert ve İlki, 2009). II. Dünya Savaşı yıllarında yaşanan kayıplar devletlerin savunma sanayisini patlama araştırmaları yapmaya yöneltmiştir. Son 20 yıl içerisinde özellikle sivil ortamlarda yaşanan patlama ve saldırı olaylarına istinaden bu etkilere maruz kalabilecek sivil binaların da patlama etkisi düşünülerek dizayn edilmesi fikri ortaya çıkmıştır (Cömert, 2010).

Patlayıcı infilakı sonucu yapıda meydana gelen hasarlar birçok değişkene bağlıdır. Bu etkiler kabaca sıralanacak olursa;

- Patlayıcı türü ve miktarı,
- Patlama merkezini ile yapısal elemanlar arasındaki mesafe,
- Yapı içerisinde yaşanan bir patlamada, patlama noktası (zemin kat, 1. Kat vb.)
- Yapının taşıyıcı sistemi,
- Yapı tipi

olarak sıralanabilir (Salem ve ark., 2007).

Patlama ölçeği olarak bilinen patlayıcı madde miktarı ve mesafe arasındaki fonksiyonel ilişki ‘Hopkinson-Cranz’ ölçeği olarak adlandırılmıştır (Cömert, 2010). Amerika Birleşik Devletleri Federal Acil Durum Yönetim Kurumunun patlama basıncının yapılar üzerine etkilerine yönelik hazırladığı rapor Çizelge 1.1.’de verilen.

Çizelge 1.1. Patlama basıncının binalarda oluşturacağı tahmini hasarlar (Fema, 427, 2003)

Basınç Değeri (kPa)	Binada Meydana Gelen Hasar
1.03 – 1.52	Camların kırılması
3.45 – 7.58	Bina dış yüzeylerinde ufak hasarlar
7.58 – 12.41	Metal panel ve kaplamalarda bükülmeler
12.41 – 20	Beton bloklarda ve duvarlarda yıkılmalar
34.48 +	Ahşap çerçeveli binalar çökmesi
27.58 – 48.26	Çelik çerçeveli binalarda ciddi hasar
41.37 – 62.06	Güçlendirilmiş beton yapılarda ciddi hasar
68.95 – 82.74	Yapıların tamamen yıkılması

Patlama dinamikleri ve yapı için oluşturduğu tehditler yukarıda belirtildiği gibi etkilediği yönden kaynaklanmaktadır. Bina dışında meydana gelen bir patlama sonucunda yapıya yatay yükler ilave bir rüzgâr yükü gibi etkimektedir. Yapı tasarımında dikkate alınmayan bu yükler iki aşamada analiz edilebilmektedir. İlk durumda patlama etkisiyle oluşan patlama dalgasının yapının taşıyıcı sisteminde oluşturacağı hasar dikkate alınmalı, sonrasında ise yapının kendi ağırlığının hasar görmüş taşıyıcı sistem üzerindeki etkisi değerlendirilmelidir. Patlama dinamik yüklerinin tesir zamanları milisaniye mertebesinde bir dır. Bir diğer durum ise yapı içerisinde meydana gelen patlamalardır. Yapı içerisinde meydana gelen patlamalar birçok yüzeye çarparak yansıma oluşturur. Bu yansımalarla kaynaklı olarak yapı üzerindeki etkiler büyümektedir.

Sonuç olarak araştırmacılar, patlama esnasında ortaya çıkan ani ve büyük yüklerin hesabı, patlamaların yarattığı tahribat etkilerinin belirlenmesi ve doğru şekilde modellemelere yansıtılabilmesi için deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu deneysel çalışmalar ışığında geliştirilen mikro analiz tabanlı bilgisayar programlarıyla (AUTODYN, LS DYNA vb.) patlama analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada da ülkemiz yapı yönetmeliklerine (TS500, TBDY2018) göre dizayn edilmiş üç katlı betonarme patlayıcı depo yapısının, farklı konumlarda ve miktarda TNT

patlayıcısının Ansys programında toplam da 12 analizi gerçekleştirilmiş, analiz sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar yapılacak yapıların tasarımları aşamasında patlama yüklerinin dikkate alınması konusunda bir farkındalık oluşturmaya amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Önemi

II. Dünya Savaşı yıllarında yaşanan kayıplar devletlerin savunması sanayisini patlama araştırmaları yapmaya yöneltmiştir. Günümüzde de halka açık alanlarda yaşanan kaza patlamaları ve terör saldırısı olaylarına istinaden birçok ülke tarafından yapıların tasarımında patlama etkilerinin dahil edilmesi gerektiği öne sürülmüştür. Bu tez sayesinde ülkemizde patlayıcı depolama amaçlı kullanılan endüstriyel tesislerin tasarımı esnasında patlama etkileri göz önünde bulundurularak, yapılması muhtemel bir yapı üzerinde oluşturabileceği hasarlar okuma noktaları kullanılarak tespit edilecektir. Okuma noktalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanacaktır. Bu sayede patlayıcı depolama amaçlı kullanılan yapılarda patlama etkisiyle oluşabilecek can ve maddi kayıpların önüne geçilebilecektir.

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

T. Ngo. ve ark. (2007), tarafından yapılan çalışmada patlayıcılar, patlayıcıların davranışı, özellikleri ,binanın patlama yüküne tepkisi, farklı mesafelerdeki patlamanın etkisi gibi durumları ampirik formüller ve bilgisayar ortamında model ile taşıyıcı elemanların davranışlarını incelemiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

Toy (2022), doktora tezinde patlamaların mühendislik yapıları üzerinde yapısal ve yapısal olmayan elemanları dikkate alarak araştırmalar yapmıştır. Bilgisayar programında modellediği çalışmaları deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır.

Sevim, Toy (2020), terörist saldırıların yapılar üzerinde yaptığı hasarlar ve ekonomik kayıplara değinerek Ansys Workbench programında iki katlı bir yapı üzerinde üç farklı ağırlıkta patlayıcı kullanarak modelleme yapmış, bu model içerisine TNT patlayıcısı yerleştirerek Ansys Autodyn programında patlama analizi yapmıştır. Analiz sonuçlarında yapısal olmayan elemanlar çökerken, yapısal elemanlar hasar almıştır.

Toplu ve Kırtel (2020), çalışmasında yığma türü bir yapının patlama etkileri altında zaman tanım alanında analizini gerçekleştirmiştir. Yapılan nümerik analiz sonrasında maksimum gerilmelerin en alt katlarda olduğu, üst katlara gidilirken gerilmelerin azaldığı tespit edilmiştir. Patlama analizi öncesi tahminleriyle analiz sonuçları örtüşmüştür. Analizlerinden elde etmiş olduğu bilgilere göre yığma yapılar, betonarme yapılara göre daha fazla hasar almıştır. Bu durumun nedeni yığma yapılarda duvarların taşıyıcı eleman olarak çalışmasıdır.

Balcı (2018), Abaqus sonlu elemanlar analiz programını kullanarak, artan terör saldırısı tehditleri ve patlama kazalarını konu alarak birinci bölümde patlamaya dayanıklı çelik modüler binanın 3 boyutlu doğrusal olmayan analiziyle patlama performansını incelemiştir. Temel tiplerinin binaya ve yapısal elemanlara etkilerini anlamak için farklı temel durumlarının, yapı patlama performansına etkilerini incelemiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde yatay ivme, hız ve kayma değerlerinin, sabit olmayan temelli binalarda, rijit cisim hareket formülleri kullanarak doğrulamasını yapmıştır. Çalışmanın son bölümün de tek serbestlik dereceli patlama analizi yöntemi kullanılarak birbirine bağlı üçlü giriş sistemi patlama yükleri altında hem elastik hem de elastik-tam plastik malzeme özellikleri kullanarak incelenmiştir.

Demirtaş ve ark., (2018), Abaqus sonlu elemanlar programını kullanarak Ultra yüksek performanslı lifli betonarme elemanların modellemiş ve nümerik modelin davranışı incelenmiştir. Analiz esnasında kullanılacak malzemelerin parametreleri basınç

ve çekme deneylerinden elde edilmiş ve program kütüphanesine tanımlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre tek seferlik çarpma yüklemesine maruz kalan kirişlerin davranışlarında etriye aralığındaki değişimin etkisinin az olduğu, boyuna donatı dayanımının düşmesiyle kalıcı yer değiştirmelerde ve maksimum yer değiştirmelerde belirgin artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Yapısal elemanın deformasyonunda en etkili parametrenin çarpma hızının değişimi olduğu gözlemlenmiştir.

Avrupa Beton Komitesi (CEB) (1993), yüksek hızlı şekil değiştirmeler altında betonun dayanımını belirleyecek bir model önermiştir. Bu modelle şekil değiştirme hızına bağlı olarak betondaki basınç dayanımı artış oranı hesaplanabilmektedir.

Cömert (2010), Yapılan bu çalışmada betonarme yapıların patlama etkisi altında değerlendirilmesi anlatılmıştır. İlk olarak patlama çeşitleri ve yapılara etkileri incelenmiş, bir sonraki aşamada yapıların modellenerek kapasiteleri incelenmiş ve son olarak yapıların patlama yükleri karşısında çözümleme yöntemleri incelenmiştir. Yapısal analiz tez içerisinde verilen abaklar ve algoritmalarla hesaplanmıştır. Analiz sonucunda olası patlama yüklerinin tasarım aşamasında dikkate alınmaması ve az donatı miktarının sonucu olarak yeterli seviyenin altında kaldığı saptanmıştır.

Mlaka ve ark. (1998), Oklohama şehrindeki Federal Murrah binasına yapılan terörist saldırıda yapıda meydana gelen hasarı incelemiş, patlama yüklerini tahmin ederek davranışı açıklamaya çalışmıştır.

Jayasooriya (2010), önemli yapılara yapılan saldırıları göz önünde bulundurarak çalışmada betonarme çerçeveli yapıların patlamalara karşı tepkisini ve hasarını araştırmıştır. Çalışmada Sap2000 ve Ls Dyna kodları kullanarak hasar değerlendirmesi yapmıştır. Bunlar FEM (sonlu elemanlar) teknikleri, materyal performansı, yüksek gerilim oranı ve doğrusal olmayan dinamik yapısal analiz olarak ifade edilmiştir. Patlamada iki boyutlu betonarme bir çerçeve için etki bölgesi farklı yükler kullanılarak, her bir yükleme durumu için kritik bölge belirlenmiştir.

Hacıfendioğlu ve Köksal (2013), patlama kaynaklı yer hareketi etkisindeki ayaklı çelik su depolarının dinamik analizini yapabilmek için BlastGM adlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde patlama merkezine olan dik uzaklığı ve patlayıcı kütesine bağlı olarak yapay ivme değerleri oluşturulabilmesine imkan sağlanmıştır. Bu çalışma sayesinde çelik ayaklı su depolarının yakınında meydana gelen patlamaların, zemin etkilerinde ve yapı elemanlarında gerilme ve yer değiştirmelerinde artış oluşturduğu saptanmıştır.

Hopkinson-Cranz (1915), tarafından yapılan çalışmada belirtildiği üzere patlama yükü hesabı patlayıcı kütlesi ve uzaklığına bağlıdır. Bu parametreler birleştirilerek ‘‘Üçüncü Kök Ölçeklendirme Kuramı ‘’ teoremi oluşturulmuştur. Mevcut araştırmaların çoğu Üçüncü kök ölçeklendirme kuramından elde edilen Z (ölçeklendirilmiş uzaklık) değeri temel alınarak oluşturulmuştur.

Brode (1955), patlamadan dolayı oluşan, yaklaşık pik basınç (P_{so}) değerinin ölçeklenmiş uzaklığa bağlı olduğunu çalışmasında belirtmiştir. P_{so} değerinin 10 bar’dan (1 MPa) büyük ve 10 bar’dan (1 MPa) küçük olmak üzere 2 ayrı denklem düzenlemiştir.

Henrych (1979), yapmış olduğu çalışmada Pik basınç hesabı Brode tarafından önerilen bağlantıyla benzerlik göstermesine rağmen, sonuçların AUTODYN bilgisayar programı ve UFC 3-340-02 sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği görülmüştür. LS-DYNA Ansys yazılımının bir modülü olan karmaşık dünya problemlerini simüle edebilen genel amaçlı bir sonlu eleman programıdır. Kapalı (Implicit) ve açık (Explicit) sonlu elemanlar metodu yazılımıdır.

Draganic (2012), çalışmasında yapının üzerine gelen patlama yüklerini tespit etmek için Sap2000 programında bir analiz yapmıştır. Materyal doğrusalsızlığını dahil ederek beton modeli için Mander modelini (Takeda Hysteresis type) ve basit çelik model için (Kinematic Hysteresis Type) kullanmıştır. Unified Facilities Criteria (UFC) önerildiği gibi materyallerin dayanımını DIF (Dynamic Increase Factor) 1,25 katsayısıyla arttırmıştır. Analiz sonucunda yapıya yakın yerlerde gerçekleşen patlamalarda geleneksel donatılarda sıklaştırma gerekse de yapı uzak patlamalarda geleneksel donatıların yeterli süneklik sağladığını tespit etmiştir.

Abbas ve Basma (2017), çalışmasında tek serbestlik dereceli elastik olmayan yapıların patlama esnasında aldığı hasarları incelemiştir. 6 Ağustos 1945 de Hiroşima’ya atılan atom bombasının 16×10^3 ton TNT ve 64 kg Uranyum içerdiğini ve bu patlamanın Richter ölçeğinde 6 şiddetinde depreme eşit olduğundan bahsetmiştir. Benzer şekilde 9 Ağustos 1945 de Nagasaki’ye atılan atom bombasının 21×10^3 ton TNT içerdiğini Richter ölçeği olarak 6.1 şiddetinde depreme eşit olduğundan bahsetmiştir. Analiz sonuçlarında patlamanın yapıya yakınlığı durumlarında hasar artmış, patlamanın yapıdan uzaklaştığı durumlarda hasar azalmıştır. Hasar seviyesinin malzeme özellikleriyle (akma dayanımı, sönümlleme, gerilme vb.) bağlı olduğunu tespit etmiştir. Elastik olmayan yapıya akma ve sönümlleme yoluyla enerji dağıtılır. Malzeme akmasını tamamladıktan sonra denge pozisyonunu koruyamadığını ve kalıcı deformasyona uğradığını tespit etmiştir.

Mennatullah ve ark. (2022), makalelerinde farklı TNT ağırlıkları ve iki farklı model (düz döşeme sistemi ve katı döşeme sistemi) kullanarak Abaqus programında analiz yapmışlar, beton davranış modeli olarak Johnson -Cook modelini kullanmışlardır. İki farklı modelden elde edilen sonuçlar Von-misses gerilmeleri, sapma ve beton hasarları açısından değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarında düz döşemenin aynı patlama yükü altında katı döşemeden daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak düz döşeme sisteminde hasar kolonlarda oluşmuştur.

Luccioni ve ark. (2003), çalışmalarında Arjantin-İsrail karşılıklı toplum binasına 1994 yılında yapılan saldırı sonucu uğradığı yapısal hasarı irdelemişlerdir. Analizlerinde 400kg patlayıcının binanın zemin kotundan 1m yükseklikte, yapının 1m içerisinde ve yapının sağ cephesinde olmak üzere üç farklı durumda analizler yapmışlardır. Gerçek binadan alınan numuneler sayesinde elde ettikleri bilgileri analiz programının kütüphanesine tanımlamışlardır. Sonuçlara göre cephe kolonlarında kesme ve eğilme kaynaklı kırılmalar ve alt ile üst kirişlerde oluşan gerilmelerden ötürü birleşimlerin koptuğu, zemin katta bulunan kolonların hasar aldığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçları ve gerçek patlama sonuçları karşılaştırıldığında çok büyük benzerlikler tespit edilmiştir.

Tahmilci (2007), çalışmasında çelik binaların patlama yükü altında dinamik davranışlarını incelemiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007), hükümlerine uygun olarak tasarlanmış bir çelik yapının yavaş yavaş çökme direncinin tespitine ilişkin sonuçlara ulaşmıştır.

Tan ve Patoary. (2009), çalışmasında patlama dinamik yüklerine maruz kalmış FRP ile güçlendirilmiş yığma duvarların direncini belirlemek için yaklaşık bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Saha deneylerinde FRP ile güçlendirilen yığma duvarların patlama yüklerine karşı dirençli olduğunu ve belirgin bir hasar almadıklarını gözlemlemişlerdir.

Zhang ve Phipps (2015), çalışmasında zeminden izole edilen yapıların patlama yükü altında performansını incelemişlerdir. Zeminden izole edilen yapılarda katlar arası ötelenme ve her kata etki eden ivmede azalma gözlemlenmiştir. Zemin izolasyonunun bir diğer avantajı da büyük kuvvetler altında zemin yer değiştirmesinin azaldığı, küçük kuvvetler altında nominal zemin izolasyon performansının korunduğu gözlemlenmiştir.

Syed ve ark. (2017) Çalışmalarında depreme dayanıklı olarak tasarlanmış betonarme bir yapının farklı mesafe ve ağırlıklarda patlayıcılara maruz kalması durumunda verdikleri tepkileri incelemiştir. Bu çalışmada önemli nokta depreme dayanıklı yapı tasarımında patlama etkilerini göz önünde bulundurarak yapının minimum hasar alması için gerekli güvenli mesafeyi sağlaması için tasarımcılara seçenekler

sunulmasıdır. Ayrıca depreme dayanıklı olarak tasarlanmamış binalar içinde aynı şartları sağlayarak incelemeler yapmıştır. Depreme dayanıklı olarak tasarlanmış binanın, depreme dayanıklı olarak tasarlanmamış binaya göre güvenli mesafesinin daha küçük değerler aldığı gözlemlenmiştir.

Toy ve Sevim (2017), çalışmalarında betonarme istinat duvarına 4 ve 5,5 m mesafelerde 410kg TNT türü patlayıcı kullanarak, ampirik formülasyonlar ve Autodyn programında sonlu elemanlar analizi yaparak kıyaslamalar yapmışlardır. Analizler sonucunda patlama gibi karmaşık problemlerin çözümünde bilgisayar programlarının hızlı ve gerçekçi çözümler sunduğu ilaveten patlama olaylarında mesafenin yapılar üzerinde etkili bir parametre olduğu anlaşılmıştır.



3.MATERYAL VE METOT

3.1. Patlama Kavramı

Patlama, kısa süre içerisinde yüksek ses, enerji ve hacim artışı olan kimyasal bir olaydır. Patlama olayı çok fazla hızlarda gerçekleşmektedir. Katı ve sıvı haldeki patlayıcılar basıncı yüksek ve yoğun bir gaz haline gelir. Gaz haline gelen madde patlamadan dolayı oluşan dalganın kaynağıdır (Al-Juneed, 2020).

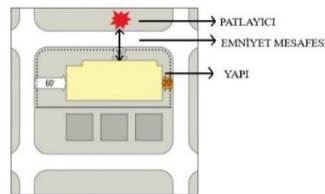
Patlamalar doğada kimyasal, fiziksel ve nükleer patlamalar olarak sınıflandırılabilir. Kimyasal patlamalar karbon (C) ve hidrojen (H) reaksiyona girmesiyle bir enerji salınımı gerçekleşir. Fiziksel patlamalar ise volkanik patlamalar ve farklı ısıdaki iki farklı sıvının karıştırılmasıyla meydana gelen patlamalardır. Nükleer patlamalar, nükleer bir reaksiyonun sonucunda atomdaki çekirdeğin parçalara bölünüp farklı atom çekirdeklerinin oluşmasıyla ortaya çıkan patlamalardır.

Patlamanın etkileri, patlayıcı maddenin yüzeyinden itibaren havaya yayılan bir şok dalgası şeklindedir. Dalga büyürken, basıncı ve hızı azalmakta, süresi de uzamaktadır.

3.2.Emniyet Mesafesi

Tüm patlama parametreleri, patlama sonucu oluşan enerji miktarına (veya yük kütesine) ve patlama noktasının uzaklığına bağlıdır. Bu sebepten dolayı patlamalarda mesafe önemlidir. Patlamalarda güvenli uzaklık, emniyet mesafesi olarak adlandırılır (Toy, 2022).

Emniyet mesafesi (standoff distance), Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi patlama anında patlama noktasından tehlikenin hiç olmadığı noktaya kadar olan mesafedir. Emniyet mesafesi patlama esnasında oluşan enerji miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.1. Emniyet Mesafesi (FEMA-426, 2011)

3.3. Patlayıcı Madde Çeşitleri ve Özellikleri

Yakıldığında hızla genleşen gazlar oluşturan ve çevreye ani yüksek basınç yükleyen kimyasal maddelere patlayıcı denir (Al-Juneed, 2020). Genellikle karbon, oksijen, hidrojen, nitrojen ve sülfürün çeşitli kombinasyonlarıyla oluşmaktadır (Koçmaz, 2004). Tipik ayrışma denklemleri, Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’de verilmiştir.

Tipik bir ayrışma denklemi;



olarak yazılabilir. Yanma denkleminde Q ile ifade edilen değer yanma sonucu açığa çıkan enerjidir (Cömert, 2010).

Günümüzde en çok kullanılan patlayıcılar barut, dinamit, TNT ve C4 dür. Her patlayıcı yanma sonucunda farklı enerji açığa çıkartmaktadır. Yanma sonucunda farklı enerjilerin oluşmasından dolayı patlayıcıların TNT türünden denklikleri vardır. Bu denklikle patlayıcının ağırlıkça TNT denkliği hesaplanmaktadır (Cömert, 2010).

Çizelge 3.1. Çeşitli patlayıcıların karakteristik özellikleri (Al-Juneed, 2020)

Patlayıcı	Maksimum yoğunluk (gr/cm ³)	Maksimum yoğunluktaki yayılma hızı (km/sn)	Yanma enerjisi (MJ/kg)
Amonyum Nitrat	1.73	8.51	1.59
C-4 Karışım	1.59	8.04	5.86
Nitrogliserin	1.6	7.58	6.3
Nitrosetülöz	1.66	7.3	10.6
Pentolit	1.7	7.53	5.86
RDX	1.76-1.80	8.70-8.75	5.13-6.19
TNT	1.64	6.95	4.10-4.55

3.4. TNT Eş Değeri

Trinitrotoluen (TNT) olarak adlandırılan C₆H₂(NO₂)₃CH₃ formülüne sahip bir kimyasal bileşiktir. TNT bazen kimyasal sentezlerde bir reaktif olarak kullanılsa da genellikle patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır.

1863 yılında Alman kimyager Joseph Wilbrand tarafından sentezlenen, üretildiğinde patlayıcı özelliği bilinmediği için boyar madde olarak kullanılmıştır. Patlayıcı özelliğinin keşfedilmesiyle birlikte 1902 yılında Almanlar, 1907 yılında İngilizler tarafından patlayıcı olarak kullanılmıştır.

Patlama yüklerinin hesabında uzaklık ve patlayıcı kütlesi temel parametrelerdir. Hopkinson (1915) ve Cranz (1926) tarafından uzaklık ve patlayıcı kütleleri birleştirilerek ‘‘Üçüncü Kök Ölçekleme Yasası’’ teoremi bulunmuştur ve Denklem 3.3 ile gösterilir.

$$Z = R / \sqrt[3]{W} \quad (3.3)$$

Z : Ölçeklendirilmiş uzaklık (m/kg^{1/3})

R : Yapı ile patlayıcı arasındaki mesafe (m)

W : Patlayıcı kütlesi (TNT;kg)

Patlama analizlerinde TNT standart patlayıcı türüdür ve her patlayıcının bir TNT eşleğini vardır. Farklı patlayıcılarla yapılacak analizlerde patlayıcılar TNT eşleğine dönüştürülerek analizler yapılmaktadır. Bu hesaba ilişkin Denklem 3.4’de verilmiştir.

$$W_e = W_{exp} \frac{H_{exp}^d}{H_{TNT}^d} \quad (3.4)$$

W_e : TNT eşdeğer kütlesi (kg)

H_{exp}^d : Kullanılan patlayıcının birim kg’da ısı enerjisi (MJ/kg)

H_{TNT}^d : TNT birim kg’da ısı enerjisi (MJ/kg)

Sık kullanılan bazı TNT eşleniği değerleri Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

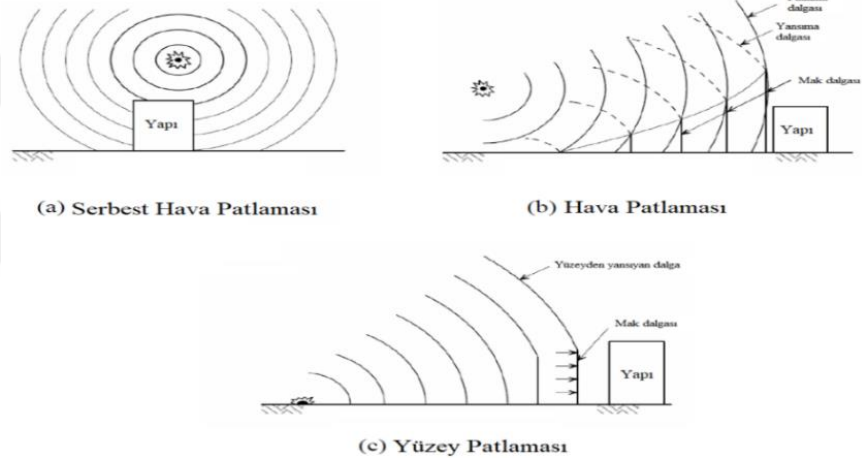
Çizelge 3.2. Sık kullanılan patlayıcıların eşdeğer TNT Dönüşümleri (Toy, 2022)

Patlayıcı	Spesifik Enerji	TNT Eşleniği
	Q _x / kJ/ kg	Q _x / Q _{TNT}
Compound B	5190	1,148
RDX	5360	1,185
HMX	5680	1,256
Nitrogliserin (sıvı)	6700	1,481
TNT	4520	1,000
Patlayıcı Gelatin	4520	1,000
60 % Nitrogliserin Dinamit	2710	0,600
Semteks	5660	1,250
C4	6057	1,340

3.5. Patlamanın Oluşum Şekilleri ve Etkileri

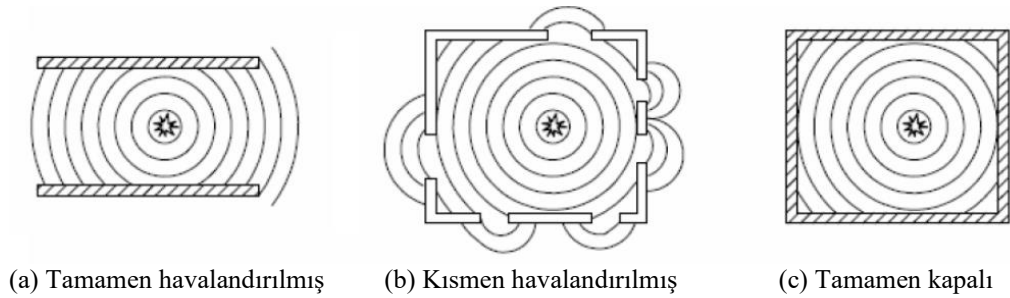
İç patlamalar, sınırlandırılmış (duvarlar, eşyalar vb.) alanlarda meydana gelirken, dış patlamalar açık ortamlarda sınırlandırılmamış alanlarda meydana gelir (Toy, 2022). Harici patlamalar ise 3 ana başlık altında sınıflandırılabilir; serbest patlama, sınırlandırılmış patlama ve bir yapıya bağlanmış patlama (Yandzio ve ark., 1999).

Serbest hava patlaması, yer seviyesinden yüksek ve serbest havada meydana gelen patlamalardır (Şekil 3.2.-a). Hava patlaması, zeminden yüksekte gerçekleşmesine rağmen serbest hava patlamasından farkı yer yüzeyinden yansıyan patlama dalgalarıdır (Şekil 3.2.-b). Yüzey patlaması, patlamaların zeminde veya zemine yakın olarak gerçekleştiği (Şekil 3.2.-c) patlamalardır (Yandzio ve Gough., 1999).



Şekil 3.2. Harici patlamalar (Toy, 2022)

Bir yapı içerisinde meydana gelen patlamalar; tamamen havalandırılmış (Şekil 3.3.-a), kısmen havalandırılmış (Şekil 3.3.-b) ve tamamen kapalı (Şekil 3.3.-c) olarak meydana gelebilir (Toy, 2022).

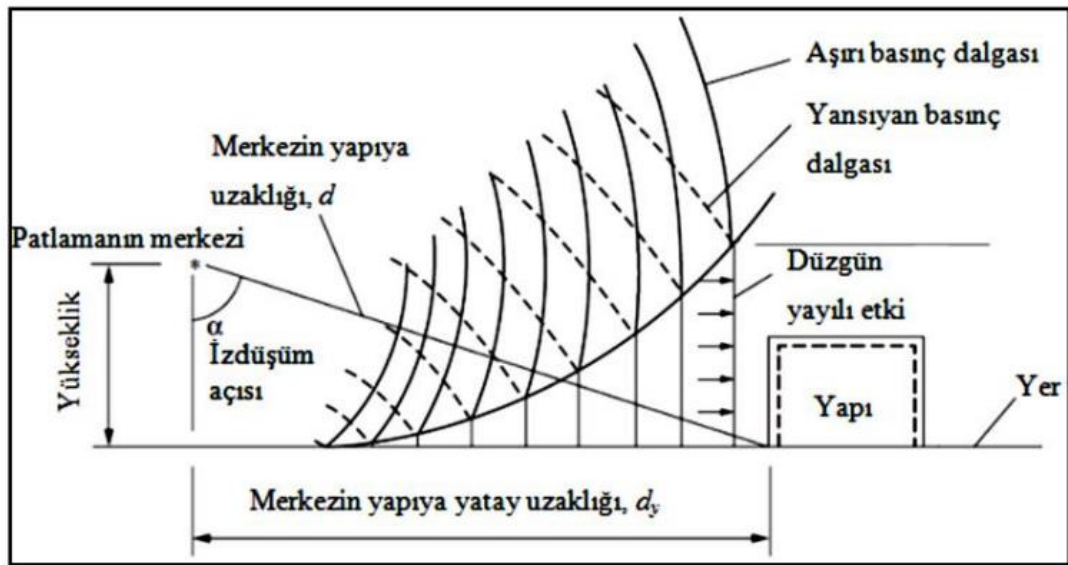


Şekil 3.3. Dahili patlama sınıflandırılması (Toy, 2022)

3.5.1. Açık (Sınırlandırılmamış) Ortamda Meydana Gelen Patlamalar

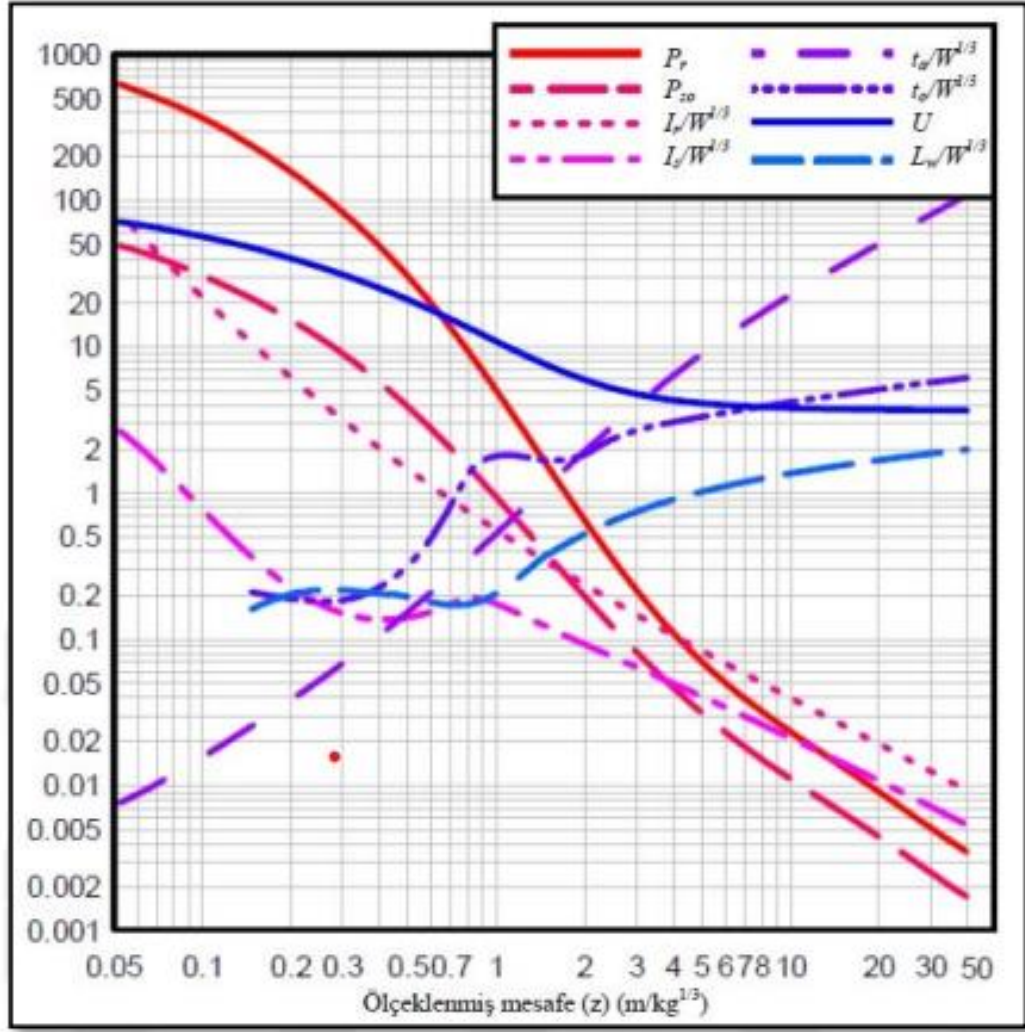
3.5.1.1. Yerden Belirli Bir Yükseklikte Yaşanan Patlamalar

Patlayıcı, yapının yer yüzeyinden belirli bir mesafe yüksekte olduğu zaman başlangıçta ortaya çıkan şok dalgaları yapıya ulaşmadan ilk olarak zemine çarpmasından dolayı yapıya ulaşana kadar basıncı artarak ilerler. Çıkan ilk dalgalar ve yansıyan dalgalar birleşerek ilerlediği için ilk dalgadan daha büyük dalgalar yapıya etki eder ve serbest hava patlamasına göre daha büyük tehlikeler oluşturur (Al-Juneed, 2020). Bu patlama tipinde Şekil 3.4.'de verildiği gibi yapıya ulaşan basınç dalgalarının düzgün yayılı yük şeklinde yapıya etki ettiği düşünülür (Önalın, 2019). Patlama dalgası ve yapının karmaşık etkileşimi, yapının çeşitli bileşenleri üzerinde değişen etkilere yol açar. Örneğin, ön yüzdeki elemanlar, yüke olan mesafenin daha kısa olması ve dalganın yansıması nedeniyle çatı, yan yüzler ve arka yüzlerdeki elemanların maruz kaldığı basınçlarına kıyasla daha büyük olan yansıyan basınçlara maruz kalır. Binaların ön yüzündeki elemanlar ile diğer cephelerdeki elemanlar arasındaki diğer bir fark, uzak alan patlamalarının neden olduğu patlama dalgalarından, ön yüzdeki bileşenlerin hemen hemen aynı anda ve açıklıkları boyunca üniform bir yük seviyesi ile yüklenmesidir. Öte yandan, patlama dalgası yapının kenarlarında ve çatısında yer alan bileşenlerin açıklıklarını kat eder ve bu hareket sırasında yükün özellikleri değişir.



Şekil 3.4. Yerden belirli bir yükseklikte yaşanan patlama ve çevreye etkileri (Önalın, 2019)

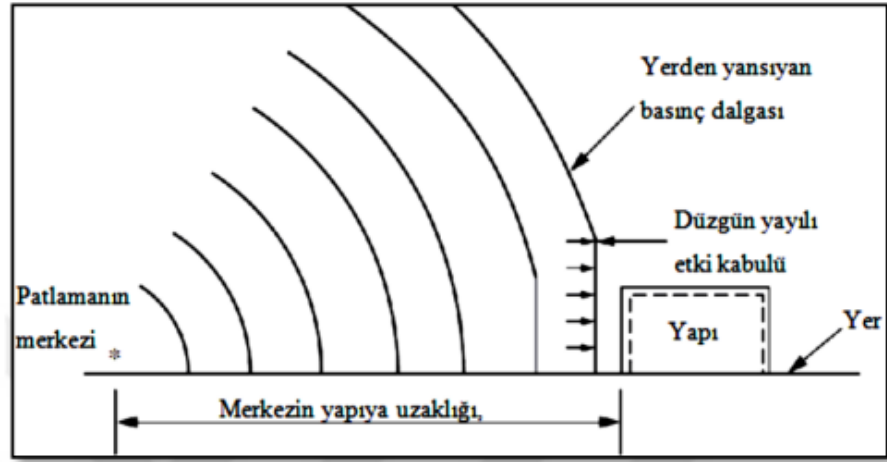
UFC 3-340-02’ de verilen abak kullanılarak patlama parametreleri Şekil 3.5. den okunabilir.



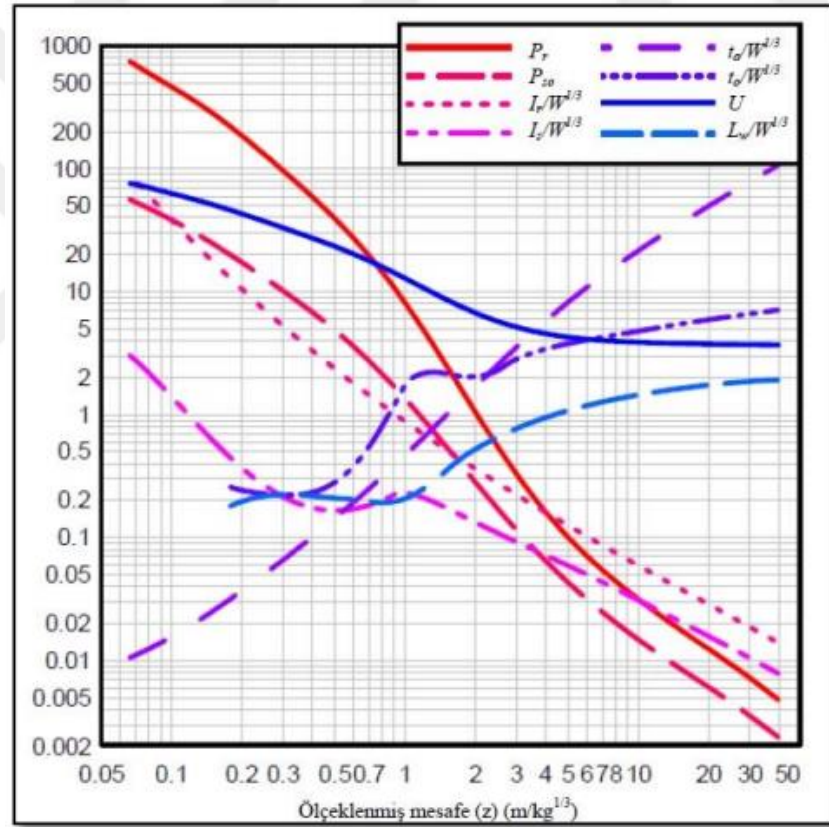
Şekil 3.5. Yerden belirli bir mesafe yüksekte yaşanan patlama parametreleri (UFC 3-340-02, 2008)

3.5.1.2. Yerin Yüzeyinde Yaşanan Patlamalar

Zeminin tam üzerinde ya da zemine çok yakın mesafede meydana gelen patlamalardır. Bu tür patlamalarda patlama dalgası kaynaktan çıktıktan hemen sonra yer yüzeyine çarparak ilerler. Hava patlamasından farklı olarak zeminden yansıyan dalgalar patlama noktasındaki şok dalgası ile birleşerek tek bir dalga şeklinde hareket eder. Bu patlama türünde oluşan dalgalar yarı küresel olarak Şekil 3.6.’da verildiği gibi yayılır (Önalın, 2019; Cömert, 2010). Zemin yüzeyinde yaşanan patlama parametrelerini içeren abak Şekil 3.7.’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Zeminin yüzeyinde yaşanan patlama ve çevreye etkileri (Önalın, 2019)

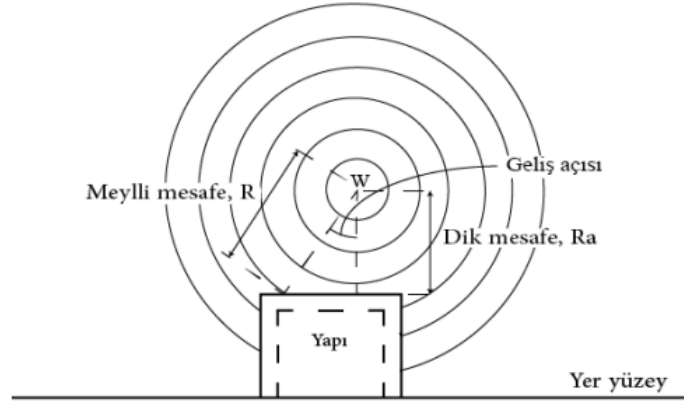


Şekil 3.7. Zeminin yüzeyinde yaşanan patlama parametreleri (UFC 3-340-02, 2008)

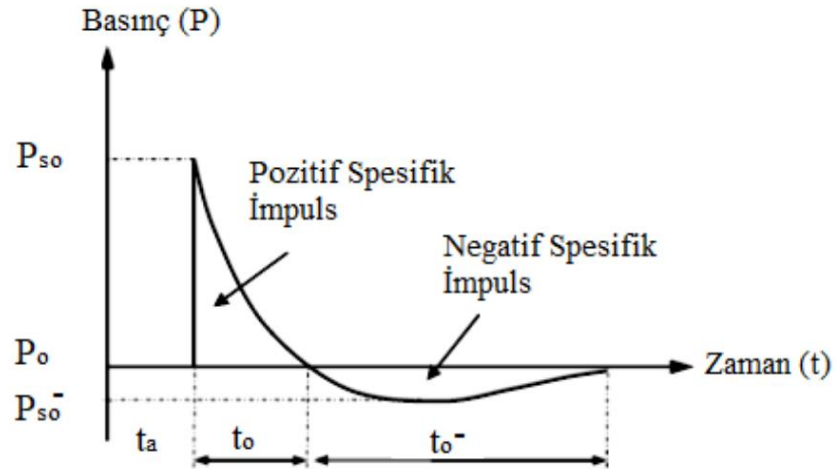
3.5.1.3. Yapının Üzerinde Yaşanan Patlamalar

Bu tür patlamalarda patlayıcı yapının üstünde ya da bitişiğinde konumlanmıştır. Meydana gelen patlama dalgası yapıya ulaşana dek küresel bir şekilde yayılmaktadır. Diğer patlama türlerinden farklı olarak patlama dalgası herhangi bir yansımaya uğramadan yapıya çarpar (Önalın, 2019).

Yüksek kütle ve yoğunluktaki patlayıcıların infilak etmesiyle yüksek basınç ve sıcaklıkta gaz oluşur. Meydana gelen patlama basıncı birkaç milisaniye gibi kısa sürede pik noktasına ulaşır ve patlama kaynağından dışarıya doğru ilerleyerek hareketine devam eder. Açık havalarda yaşanan patlamalarda, patlama merkezinden açığa çıkan şok dalgası ortamda serbest hareket edebilir. Harekete başlayan şok dalgasının önüne çıkan noktada yarattığı basınç Şekil 3.8.'de verilmiştir. Patlama sonucunda açık havada oluşan şok etkileri: maksimum pozitif aşırı basınç (P_{so}) ve maksimum negatif aşırı basınçtır (P_{so-}). Burada t_a süresi şok dalgasının basınç ölçülen noktaya ulaşma süresi, t_o pozitif basınç etkisinin süresi, t_{o-} negatif kısmının süresi ve P_o atmosfer basıncıdır. Basınç değişiminin negatif kısmı şok dalgasının geçtiği bölgedeki atmosfer basıncın altına düşüp vakum etkisi oluşturduğunu göstermektedir (Cömert, 2010). Şekil 3.9.'da serbest ortamda yaşanan patlamanın tipik basınç zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 3.8. Serbest havada yaşanan patlamanın şok dalgası yayılımı (Al-Juneed, 2020)



Şekil 3.9. Serbest ortamda yaşanan patlamanın tipik basınç zaman grafiği (Toy, 2022).

Patlama tarafından oluşturulan şok basıncı, olay pik basınç-zaman davranışıyla açıklanır. Dinamik basınç olarak adlandırılan bu basıncın ardından gelen başka bir şok dalgası vardır. İlk dalganın arkasındaki gaz parçacıkları düşük hızlarda hareket ederken, arkasındaki hava akışı bir rüzgâr meydana getirir. Oluşan bu rüzgâr doğrudan dinamik basınçla ilgilidir (Toy, 2022).

İmpuls, yapıya etkiyen basıncın ölçüsü ve basınç zaman eğrisinin altında kalan alan ile hesaplanmaktadır. İmpulsun matematiksel denklemi, Denklem 3.5’de verilmiştir.

$$I_s = \int P(t)dt \quad (3.5)$$

I_s , İmpuls (MPa-ms), $P(t)$, Basıncın fonksiyonu t , zaman olarak ifade edilmektedir.

Yansıyan basıncın spesifik impulsunun hesaplanabilmesi için benzer bir tanımlama yapılabilir. Önemli husus yansıyan basınç ile şok dalgası süresinin aynı olması hususudur. Bilim insanları tarafından basınç-zaman eğrisinin doğrusal azalım yaptığı kabulüyle implusun denklemi tekrar yazıldığında Denklem 3.6 numaralı ifade elde edilmiş olur.

$$I_s = \frac{1}{2} t_o P_{so} \quad (3.6)$$

Patlama merkezinden yayılmaya başlayan şok dalgası bir yüzeye karşılaşması durumunda yansır ve şok dalgasıyla çarpışarak sıkışır. Çarpışmaya bağlı olarak ortamda ani basınç yükselir ve maksimum yansıyan basınç (P_r) meydana gelir, Denklem 3.7’yle ifade edilir. Maksimum yansıyan basınç ile maksimum basınç arasındaki oran (C_r) olarak tanımlanır, bu oran maksimum aşırı basınç ve şok dalgasının çaptığı yüzey ile şok dalgasının yaptığı iz düşüm açısına (α) bağlıdır (Cömert, 2010; Önalın, 2019).

$$P_r = C_r P_{so} \quad (3.7)$$

Basınç dalgasının yüzeye ulaşma süresinin (t_a) belirlenmesinde kullanılan Friedlander denklemi ile basınç zaman ilişkisi Denklem 3.8’de verilmiştir (Önalın, 2019).

$$P(t) = P_o + P_{so} \left(\frac{t-t_a}{t_o} \right) e^{-b \left[\frac{t-t_a}{t_o} \right]} \quad (3.8)$$

Denklemdaki b çarpışma sonunda oluşan enerji kaybını ifade eder, Denklem 3.9 ile ifade edilir. Azalım yapan yöndeki eğrinin eğiminden bulunur (Önalan, 2019).

$$b=5.2777X Z^{-1.1975} \quad (3.9)$$

Pozitif faz süresi (t_o) tespiti için ölçeklenmiş mesafe ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak yazılan Denklem 3.10'dan yararlanılmaktadır (Önalan, 2019).

$$\frac{t_o}{W^{1/3}} = \frac{980 \left[1 + \left(\frac{Z}{0.54} \right)^{10} \right]}{\left[1 + \left(\frac{Z}{0.02} \right)^3 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0.74} \right)^6 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{6.9} \right)^2 \right]} \quad (3.10)$$

Pozitif faz süresinin belirlenmesinde 3.3 numaralı denklemden pozitif faz süresi ifadesi çekildiğinde Denklem 3.11'den elde edilir (Önalan, 2019).

$$t_o = \frac{2I_s}{P_{so}} \quad (3.11)$$

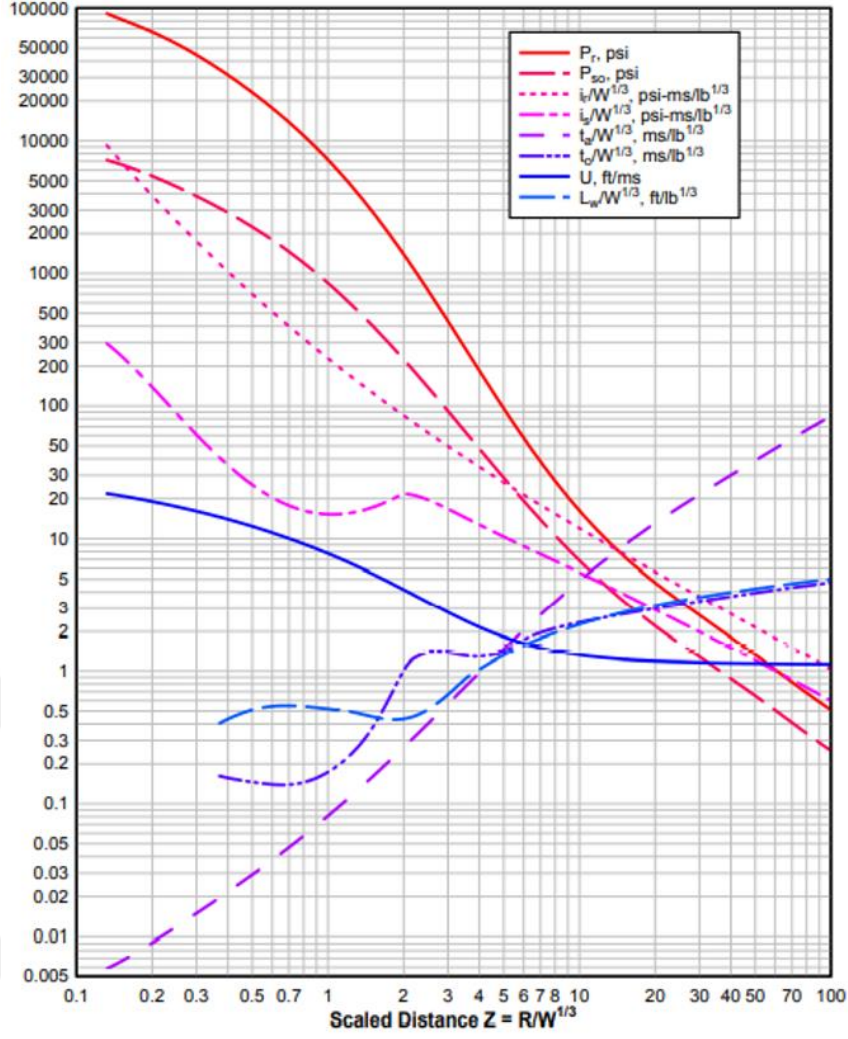
Patlama dalgasının negatif fazının hesaplanmasının gerekli olduğu durumlarda negatif pik basınç değeri Brode'un önerdiği Denklem 3.12'de verilen denklemden Bar cinsinden hesaplanmaktadır (Önalan, 2019).

$$P_{so} = -\frac{0.35}{Z} \quad (3.12)$$

Negatif faza ait impuls değeri Denklem 3.13 ile ifade edilir.

$$I_s^- \gg I_s \left[1 - \frac{1}{2Z} \right] \quad (3.13)$$

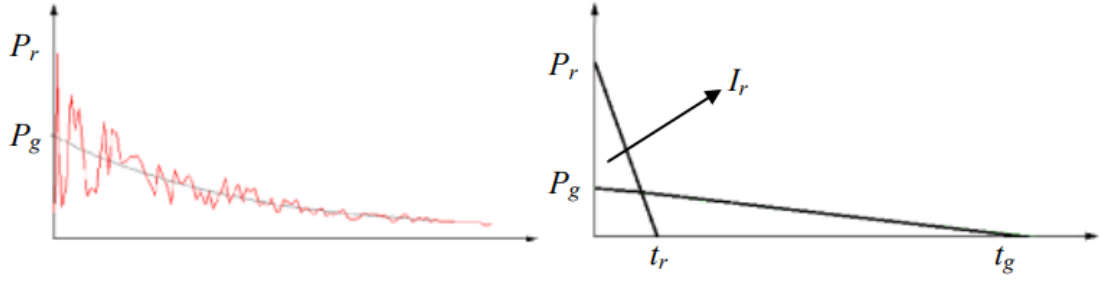
Amerika Savunma Sanayi Departmanı tarafından hazırlanan UFC 3-340-02 (2008)'de ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak formülüze elde edilen pik basınç, yansıyan basınç, impuls süre vb. değerler hazırlanan abaklar, Şekil 3.10. üzerinden okunmaktadır (Önalan, 2019).



Şekil 3.10. Serbest ortamda yaşanan patlama sonucu oluşan pozitif faz şok dalgası parametreleri (UFC 3-340-02, 2008)

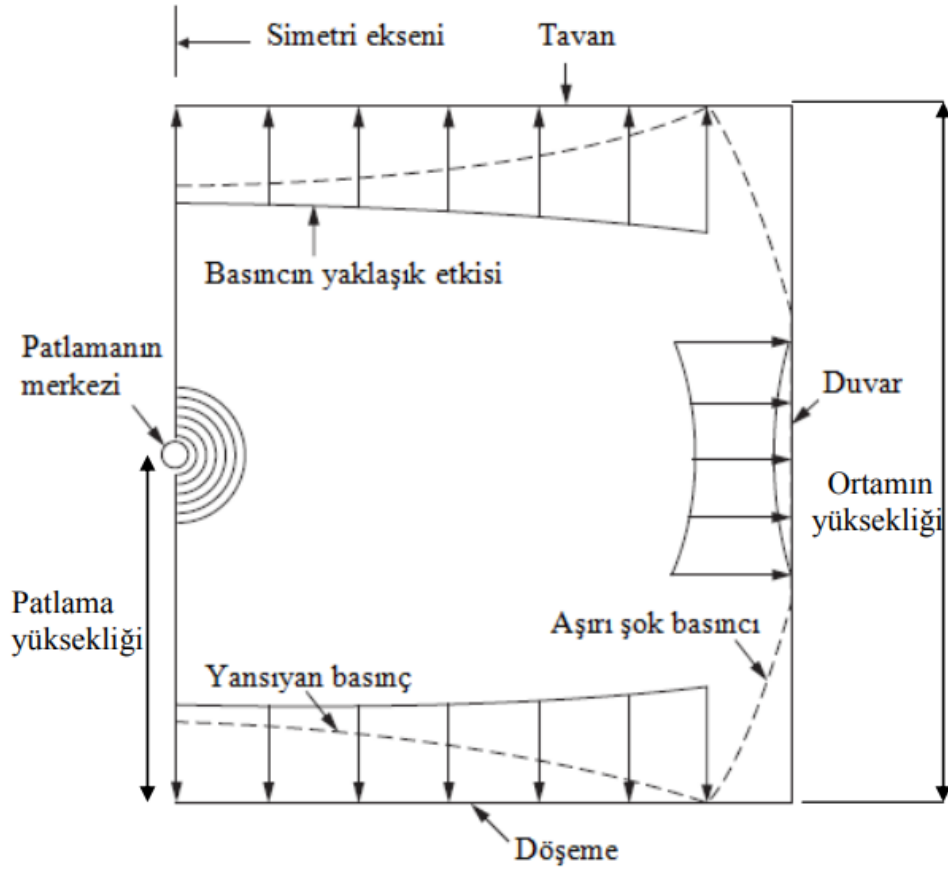
3.5.2. Kapalı (Sınırlandırılmış) Ortamda Meydana Gelen Patlamalar

Kapalı alanlarda meydana gelen patlamaların yapı üzerindeki oldukça karmaşıktır. Bu patlama türünde şok dalgası yapı içinde defalarca yansıdığı için daha güçlü olmaktadır. Kapalı alandaki etkilerin daha kolay anlayabilmek için iki fazda oluştuğu kabul edilmektedir. Bunlardan birincisi yansıyan aşırı basınçtır. Yapı içindeki sınırlayıcı duvarlar basınç dalgasının hareketine izin vermediği için ortamdaki duvarlardan yansıyan dalgalar meydana gelir. Çok kısa bir süre gerçekleşir ve etkisi büyük olur. İkincisi ise patlamadan dolayı oluşan gaz basıncıdır. Yansıyan basınç durumuna göre daha uzun sürelidir ve etkisi daha az olur. Şekil 3.11.'de kapalı bir alanda meydana gelen patlamanın yapı elemanına uyguladığı basınç değişim ve idealleştirilmiş basınç grafiği verilmiştir (Cömert, 2010; Önalın, 2019).



Şekil 3.11. Kapalı ortamda yaşanan patlamalarda basınç-zaman değişimi (Cömert, 2010)

Sınırlandırılmış ortamda meydana gelen patlamalarda ortaya çıkan ilk basınç dalgası ortamdaki engellere çarpana kadar sınırlandırılmamış ortamda meydana gelen patlama dalgası gibi hareket eder. İlk dalga duvara çarptıktan sonra yansiyarak büyümeye devam eder. Basınç dalgasının duvar üzerinde oluşturduğu basınç düzgün yayılı yük olarak kabul edilmektedir. Böylece hesaplar yaklaşık olarak yapılmaktadır. Kapalı bir ortamda oluşan patlama ve basıncın duvara olan etkileri Şekil 3.12.'de verilmiştir (Cömert, 2010).



Şekil 3.12. Kapalı ortamda yaşanan patlamalarda basıncın duvara etkisi (Cömert, 2010)

3.5.3. Patlama Sonucunda Oluşan Yer Hareketlerinin Yapıya Etkileri

Patlama dalgaları yapıya doğrudan çarpması ile oluşturduğu etkiyle beraber yer yüzeyine çarparak da sarsıntı oluşturur. Yerden belirli bir mesafe yukarıda yaşanan patlamalar ile yer yüzeyinde yaşanan patlamaların oluşturduğu etki farklıdır. Patlamaların yapı üzerindeki etkileri patlamanın büyüklüğüne, patlama merkezinin yapı ile olan mesafesine, yapının geometrik şekline ve zeminle olan ilişkisi gibi birçok faktöre bağlıdır (Cömert, 2010; Önal, 2019).

Sınırlandırılmamış ortamlarda meydana gelen patlamalarda şok dalgası ilk olarak yapıdaki kapı ve pencere gibi boşluklardan girmeye çalışmaktadır. Yapının dışındaki kolonlara ve duvarlara basınç uyguladıktan sonra yapının içine girip döşemelere yukarı doğru bir basınç uygulamaktadır. Patlama olaylarında yapının performansı değerlendirilirken yapı bütün olarak değil elemanlar tek tek değerlendirilmelidir (Cömert, 2010).

Sınırlandırılmış ortamlarda meydana gelen patlamaların etkilerinin anlaşılması sınırlandırılmamış ortamda meydana gelenlere göre daha karmaşıktır.

Bu tür patlamalarda yapı içindeki boşluklar ve patlayıcı miktarı gaz basıncı etki eden önemli bir faktördür. Bu tür patlamalara etki eden faktörler patlamanın meydana geldiği ortamın hacmi, atmosfer basıncı, ses hızı ve patlamanın olduğu alanda bulunan boşlukların boyutları gibi parametrelerdir. Bir veya daha fazla yüzeyi tam olarak atmosfere açık olan yapılarda meydana gelen patlamalarda gaz basınç dalgaları direkt olarak atmosfere açıldığı için bu basınç oluşmamaktadır ve hesaba dâhil edilmez (Önal, 2019).

3.6. Patlama Yüklerin Tespitine İlişkin Analitik Çalışmalar

3.6.1. Brode Modeli

Brode çalışmasında yaklaşık pik basınç (P_{s0}) değerinin küresel patlamalarda ölçeklenmiş mesafeye bağlı olduğunu söylemiştir.

$$Z=R/W^{1/3} \quad R, \text{ uzaklık, } W \text{ kütle olmak üzere,}$$

Brode modeli P_{so} 'nun 10 bardan büyük ve küçük olması durumuna göre denklemlerini iki farklı şekilde tanımlamıştır. Bu tanımlamalar denklem 3.14 ve 3.15'de gösterilmiştir (Brode 1955; Toy,2022).

$$P_{so} = \frac{6,7}{Z^3} + 1(\text{bar}) \quad (P_{so} > 10 \text{ bar}) \quad (3.14)$$

$$P_{so} = \frac{0,975}{Z} + \frac{1,455}{Z^2} + \frac{5,85}{Z^3} - 0.019(\text{bar}) \quad (0,1\text{bar} < P_{so} < 10 \text{ bar}) \quad (3.15)$$

3.6.2. Newmark ve Hansen Modeli

Newmark ve Hansen'ın patlama pik basınç değerini hesaplamak için kullandıkları bağıntı Denklem 3.16'da gösterilmiştir (Toy, 2022).

$$P_{so} = 6784 \cdot \frac{W}{R^3} + 93 \cdot \left(\frac{W}{R^3}\right)^{1/2} (\text{bar}) \quad (3.16)$$

3.6.3. Mills Modeli

Mills patlama pik basınç değerini hesaplamak için kullandıkları bağıntı Denklem 3.17'de gösterilmiştir (Toy, 2022).

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} \quad (\text{kPa}) \quad 3.17$$

3.6.4. Mays ve Smith Modeli

Mays ve Smith tarafından yapılan çalışmada patlama anında oluşan ilk patlama dalgasının hızı için U_s ve dinamik basınç değeri olan q_s değerleri için geliştirdikleri bağıntılar Denklem 3.18 ve Denklem 3.19'da verilmiştir (Önalan, 2019).

$$U_s = \alpha_0 \sqrt{\frac{6P_s + 7P_0}{7P_0}}, \quad (\text{m/s}) \quad (3.18)$$

$$q_s = \frac{5p_s^2}{2(p_s + 7p_0)}, (\text{bar}) \quad (3.19)$$

P_r yansıyan basınç değerini, öngörülen uzaklık (R) ve ağırlık değeri (W) cinsinden veren bir tablo oluşturulmuştur (Toy, 2022).

Çizelge 3.3. Yansıyan Basınç(P_r) MPa biriminden değeri için W-R eşleşme çizelgesi (Toy, 2022)

R \ W	100 kg TNT	500 kg TNT	1000 kg TNT	2000 kg TNT
1	165.8	354.5	464.5	602.9
2,5	34.2	89.4	130.8	188.4
5	6.65	24.8	29.5	60.19
10	0.85	4.25	8.15	14.7
15	0.27	1.25	2.53	5.01
20	0.14	0.54	1.06	2.13
25	0.09	0.29	0.55	1.08
30	0.06	0.19	0.13	0.63

3.6.5. Henrych Modeli

Henrych yaptığı çalışma sonucunda Brode bağlantılarına benzeyen ölçeklendirilmiş mesafeyle ilişkilendirilmiş Denklem 3.20, Denklem 3.21 ve Denklem 3.22 geliştirmiştir.

$$P_{so} = \frac{14,072}{Z} + \frac{5,54}{Z^2} - \frac{0,375}{Z^3} + \frac{0,00625}{Z^4} \quad (0,05 \leq Z \leq 0,3) \quad (3.20)$$

$$P_{so} = -\frac{6,194}{Z} - \frac{0,326}{Z^2} + \frac{2,132}{Z^3} \quad (0,3 \leq Z \leq 1) \quad (3.21)$$

$$P_{so} = \frac{0,662}{Z} + \frac{4,05}{Z^2} + \frac{3,288}{Z^3} \quad (1 \leq Z \leq 10) \quad (3.22)$$

3.6.6. Kingery ve Bulmash Modeli

AUTODYN yazılımının hesaplamalarında kullanılan bağlantılarından birisi olan Kingery ve Bulmash tarafından 1984 yılında yapının yüzeyinde meydana gelen en büyük

patlama yükünün hesabı için ölçeklenmiş mesafeye (Z) bağlı olan ve birden fazla sabit içeren bir bağıntı önerilmiştir (Toy, 2022).

$$\Delta P_f = \text{Exp} [A + B. \ln Z + C. (\ln Z)^2 + D. (\ln Z)^3 + E. (\ln Z)^4], (\text{kPa}) \quad (3.23)$$

Denklem 3.23’de verilen A, B, C, D ve E sabitleri Çizelge 3.4.’de verilen ölçeklendirilmiş mesafe (Z) değerine bağlı olarak kullanılabilmektedir (Toy, 2022).

Çizelge 3.4. A, B, C, D ve E sabitlerini içeren çizelge (Toy, 2022)

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	6.0636	-1.4066	0	0	0

3.6.7. Kinney ve Graham Modeli

Yapı üzerinde oluşan pik basınç değerini Kinney ve Graham Denklem 3.24’de verilen bağıntıyla hesaplamışlardır (Toy, 2022).

$$P_{so} = P_0 \frac{808 \left[1 + \frac{Z^2}{4,5} \right]}{\left\{ \left[1 + \frac{Z^2}{0,048} \right] \left[1 + \frac{Z^2}{0,32} \right] \left[1 + \frac{Z^2}{0,35} \right] \right\}^2}, (\text{bar}) \quad (3.24)$$

3.6.8. Sadovsky Modeli

Yapı üzerinde oluşan pik basınç değerini Sadovsky kPa biriminden bir polinom olarak tanımlamış ve ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak Denklem 3.25’de ifade etmiştir (Toy, 2022).

$$\Delta P_f = \frac{0,085}{Z} + \frac{0,3}{Z^2} + \frac{0,8}{Z^3}, (\text{kPa}) \quad (3.25)$$

3.7. UFC 3-340-02 Standartları

Amerika Savunma Sanayi Departmanı tarafından hazırlanan UFC 3-340-02 Standartları kılavuzu, patlayıcı maddelerin geliştirilmesi, üretimi, depolanması, testleri, bakımı, silahlandırılması, denetlenmesi ve imha edilmesi için koruyucu yapıların tasarım yöntemlerini içerir. Analiz ve tasarım aşamaları, alınabilecek önlemler ve patlama yükü hesap yöntemlerine dair bilgiler verir (Toy, 2022).

3.8. ANSYS

Ansys yazılımı sonlu elemanlar yazılımıdır. Isı transferi, elektromanyetik, akışkanlar mekaniği, düşme, patlama, yanma, titreşim ve çarpışma gibi dinamik ve statik analizlerin yapıldığı, analiz sonuçlarının simüle edildiği inşaat, savunma sanayisi, otomotiv, maline vb. birçok alanda aktif olarak kullanılan bir yazılım paketidir.

İçerisindeki farklı modüller sayesinde analiz yapılacak geometri oluşturulur, analizi uygun modül üzerinde malzeme özellikleri ve sınır koşulları tanımlanır. Analize başlamadan önce sonlu elemanlar temel prensibi olan meshlerin programa tanıtılmasıyla analize başlanır. Sonuçlar grafik, sayısal ve simülasyon olarak elde edilir.

Ansys sonlu elemanlar yazılımında karmaşıklık seviyesi az olan modeller ANSYS Mechanical (Implicit Dynamics) modülüyle, ileri seviye doğrusal olmayan analizler ANSYS Explicit Dynamics modülüyle çözülür (Toy, 2022).

3.8.1. Dolaylı Yöntem (Implicit Method)

Dolaylı yöntem (Implicit Method) sınır koşullarının yapı üzerindeki etkilerinin yavaş gerçekleştiği statik ve dinamik analizlerde kullanılır. Implicit analiz zaman artışının büyüklüğünü seçmemizi sağlar. Zaman ilerledikçe yakınsamanın sağlanması kontrol edilerek çözüme ulaşılır. Yakınsamalar her adım için kontrol edildiğinden, uzun zaman adımlarında çözüme kolayca ulaşılabilir (Çapar, 2020).

İşlemcinin yapısını hassasiyet, nümerik stabilite ve kesinlik değerlerinin tespiti için γ ve β parametreleri seçilmiştir. Mevcut zaman adımında sonuçlar sadece zamansal bilgiye bağlı olmayıp mevcut bilgiye de bağlıdır. İterasyonlar (tekrarlanan adımlar) sadece zaman adına ihtiyaç duymaktadır (Toy, 2022).

Dolaylı yöntemin kullanılmasında matematiksel ifadelerden istifade edilebilir (Toy, 2022);

$$[M]\{\ddot{D}\} + [C]\{\dot{D}\} + [K]\{D\} \quad (3.26)$$

Denklem 3.26 zaman geçmişi (Time History) metodu Denklem 3.27 ve Denklem 3.28 ifadeleriyle çözümlenir.

$$\dot{D}_{n+1} = \dot{D}_n + \Delta t[\gamma\ddot{D}_{n+1} + (1 - \gamma)\ddot{D}_n] \quad (3.27)$$

$$D_{n+1} = D_n + \Delta t\dot{D}_n + \frac{1}{2}\Delta t^2[2\beta\ddot{D}_{n+1} + (1 - 2\beta)\ddot{D}_n] \quad (3.28)$$

3.8.2. Açık Yöntem (Explicit Method)

Açık (explicit) Yöntem nonlinear özellikte ve dolaylı (implicit) metodun yetersiz kaldığı durumlarda kullanılır. Açık yöntem zamana bağlı olarak gerçekleşir. Yer değiştirmeler zamanın ilerlemesine bağlı olarak hesaplandığı için T=0 anında etki olmayacağı için deformasyon ya da yer değiştirme gözlenmez. Explicit metod yoğun olarak ayrılma, çarpışma, penetrasyon, düşme, patlama vb. dolayı metodun yetersiz kaldığı durumlarda kullanılır (Çapar, 2020). Explicit metodu Denklem 3.26 ile çözerken Denklem 3.29 ve Denklem 3.30 kullanılır.

$$\dot{D}_{n+\frac{1}{2}} = \dot{D}_{n-\frac{1}{2}} + \ddot{D}_n\Delta t \quad (3.29)$$

$$D_{n+1} = D_n + \dot{D}_{n+\frac{1}{2}}\Delta t \quad (3.30)$$

3.9. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)

Sonlu Elemanlar yönteminin ana fikri olarak ilk olarak 1956 yılında Turner ve arkadaşlarının yayınladığı makalede bahsedilmiştir (Şibil, 2019). Farklı mühendislik dallarındaki problemlere çözüm üretmek amacıyla geliştirilmiş sayısal bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde bilgisayar yardımıyla özellikle katı mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve titreşim gibi problemlerin çözümüne ulaşılabilir.

Sonlu Elemanlar Yönteminde (SEY) modeller sonlu sayıda elemanlara bölünür (Toy, 2022). Parçadan bütüne gitme prensibiyle çalışan bu yöntemde bölünen elemanlar belirli noktalarda birbirine bağlanır ve bu noktalara düğüm denir. Düğüm noktalarını katı modeller üzerinden incelediğimizde, düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler elemanların gerilmeleriyle ilişkiliyken, her bir elemandaki yer değiştirmeler doğrudan düğüm noktalarındaki yer değiştirmelerle ilişkili olduğuna ve sonlu elemanlar yönteminin bu yer değiştirmeleri çözmeye çalıştığına ulaşabiliriz.

Sonlu Elemanlar Yöntemi düğüm noktaları için tanımlanmış şartları, nümerik lineer denklemlere çevirir. Önce bu denklemler çözülür ve bütün elemanlardaki gerçek gerilmeleri bulmaya çalışır. Modelde sonlu sayıda elemana bölünme ne kadar fazla olursa düğüm sayısı artacağı için hassasiyet artacak ve gerçeğe en yakın sonuçlar elde edilecektir.

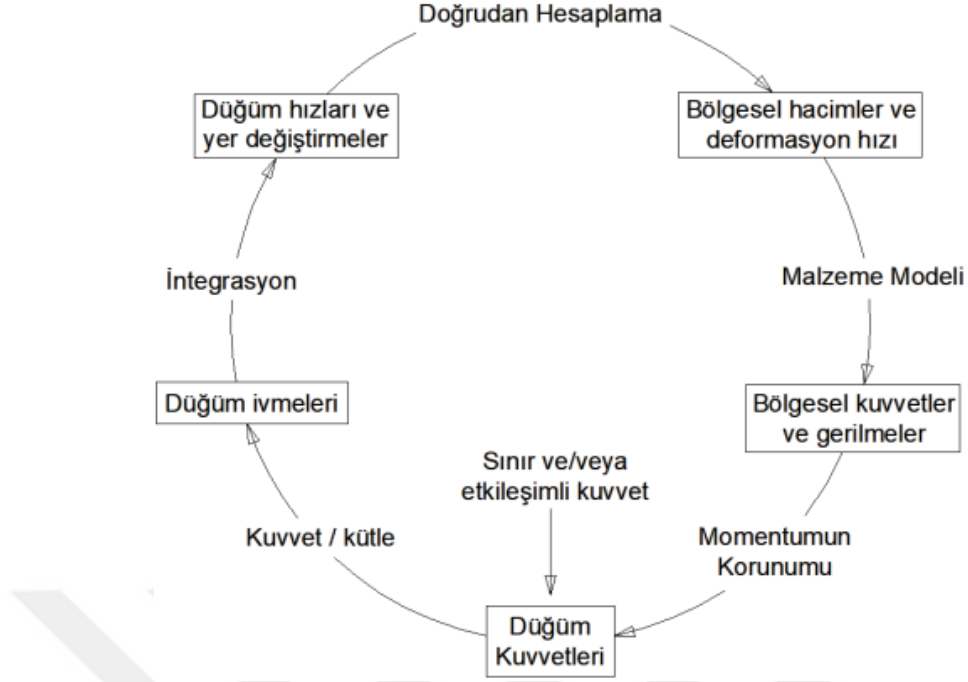
3.10. Lagrangian ve Eulerian Denklemleri

Bu tez çalışmasında yapıların patlama yükü karşısındaki davranışların analizinde ANSYS WORKBENCH ve ANSYS AUTODYN programları kullanılmıştır (ANSYS WORKBENCH 2021 R2; ANSYS AUTODYN).

Patlama analizleri ve yapıların patlama etkisindeki gösterdikleri tepkinin incelenmesi için ilk olarak sonlu eleman modeli (katı model) oluşturulmalı sonrasında ise patlama analizi için akışkan hava modeli oluşturulmalıdır. Katı model ve akışkan modelin beraber çalışmasının çözümleri için Lagrangian ve Eulerian denklemleri gerekir. Bu denklemler sayesinde sistem çözülür (Toy, 2022).

3.10.1. Lagrangian Denklemleri

Lagrangian analizleri çoğunlukla katı yapısal cisimlerin dinamik kodların oluşturulması için kullanılır. Lagrangian analizinde katı eleman içinde bulunan madde dışarıya çıkamaz ya da başka bir maddenin içerisine giremez. Meshler (nümerik ağlar) malzeme akış doğrultusunda deformasyona uğrar (Sherkar ve ark., 2010). Lagrangian analizi şematik çevrimi Şekil 3.13’de verilmiştir.

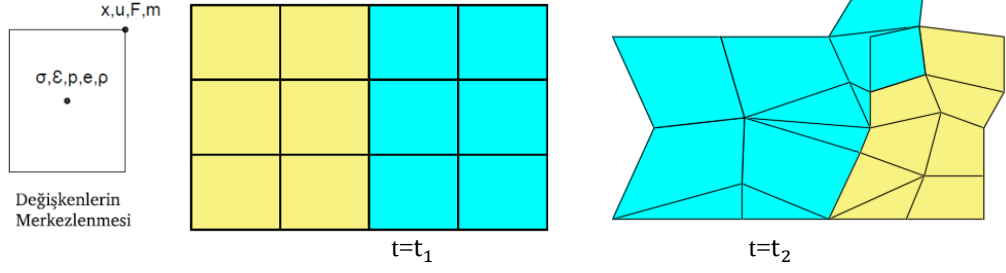


Şekil 3.13. Lagrangian analizinin şematik çevrim gösterimi (Toy, 2022)

Lagrangian analizinin avantajı katı cisimlerin tepkilerini hesaplama da malzeme akışının detay çizgileri takip edilerek zaman serileri (hız ve basınç gibi) kolayca elde edilmesidir. Şekil 3.14.'de gösterildiği gibi bu durum hatalı sonuçlara sebebiyet verebilir, analiz sonlanabilir.

Eleman boyutları explicit analizlerde zaman boyutunu belirleyen önemli kavramlardan birisidir. Küçük elemanlar analiz süresini (küçük zaman adımı) arttırır. Bu durumda en küçük zaman adımı sınır değerinin altında kaldığında analiz durabilir, program tarafından sonlandırılabilir. Bu problemle karşılaşılması durumunda sorun çözümü Zukas (Zukas, 2004) tarafından tarif edilmiştir, tekrar alanlama tekniği (rezoning) manuel olarak yürütülen yüksek oranda hasar görmüş ağların zarar görmemiş ağ ile yeniden düzenlenmesiyle tamir edilir (Toy, 2022).

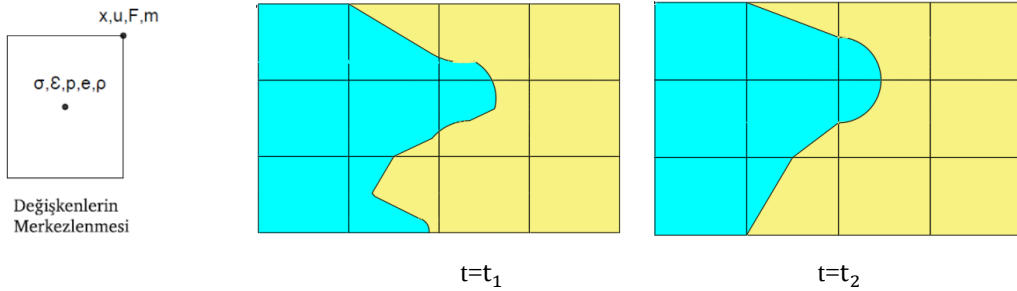
Lagrangian analizinde karşılaşılan bir diğer kusur, yoğun temas (contact) ve darbe (impact) ile ilişkilendirilmektedir. Boşluk açılması, malzemelerin etkileşimi, kayma temasının tespiti vb. özellikler karmaşık mantık olarak algılanır ve bilgisayar işlemcisinin uzun sürede çözüme ulaşmasına neden olur (Zukas, 2004; Toy, 2022).



Şekil 3.14. Lagrangian çözümü ağ yapısı deformasyonu

3.10.2. Eulerian Denklemleri

Eulerian analizini ve Lagrangian analizini karşılaştırdığımızda karşımıza birçok fark çıkmaktadır. Lagrangian analizi katı dinamik kodların çözümüne ulaşmak için kullanılırken Eulerian çözümü sıvı ve gazların modellenmesinde kullanılan bir denklemdir. Bir başka farka bakacak olursak olarak Şekil 3.15. de görüldüğü gibi Eulerian analizinde tanımlanan madde akışı durağan olarak hareket ederken, Lagrangian analizinde ise tanımlanan madde aktığı zaman deformasyona uğramaktadır. Lagrangian analizinde malzemenin bir elemandan diğerine hareket etmesi durumunda malzeme özelliklerinin; zaman serileri, malzeme ara yüzleri ve serbest yüzeyler takip edilebilirken Eulerian analizinde akışkan malzemenin iletim algoritmasına ihtiyaç duyar ve takip edilemesi çok daha zahmetlidir (Toy, 2022). Buna dayanarak Eulerian, Lagrangian çözücüyle kıyaslandığında daha karmaşık, daha hesap gerektiren ve uğraştırıcı duruma getirir.



Şekil 3.15. Eulerian analizi malzeme akışı

Eulerian çözümünde belirli bir hacim içerisindeki akışkan maddelerin hesaplamaları yapıldığı için gerçekleşecek olan malzeme transferi, sonlu eleman parçaları arasında bozulma olmaksızın bir aktarım sağlanmaktadır. (Önalın,2019).

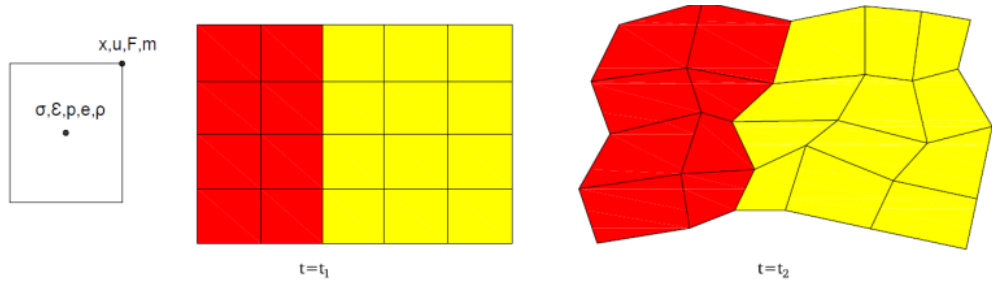
Eulerian çözümler, çözümlerinde ilk olarak Lagrangian çözümündeki hesabına bağlı kalarak kütle korunumunu sağlar. Bunu da ağ gözü akışkan ile birlikte hareket ettiği için elde eder. Ağ hızları ve yer değiştirmeleri hesaplanır, düğümsel özellikler güncellenir. Bu zaman dilimi ağın hasar görmeden sonuçlanması ve işlemlerin yeniden düzenlenmesinin devamında, ağ deformasyonunun kabul edilebilir veya çok hasar görmemesine kadar sürer.

Yeniden düzenlenen ağ miktarıyla birlikte malzemenin bir elemandan diğerine doğru yatay hareketle ilerlediği gözlemlenir. Sonuç olarak Eulerian analizinin her bir zaman adımı hesabının sonunda ağ sabitliğinden söz edebilirken malzemenin konumu sabit kalmaz, konumunu değiştirerek hareket eder (Toy, 2022).

3.10.3. Keyfi Lagranian – Eulerian Analizi (ALE)

Lagrangian (katı) ve Eulerian (sıvı) modellenmesi için uygundur. Keyfi Lagrangian ve Eulerian çözümleri, Lagrangian ve Eulerian çözümlerini birleştiren yeni bir çözümdür. Keyfi Lagrangian – Eulerian (ALE) çözümleri yapı dinamiği ve akışkanlar mekaniğinin her ikisini de kapsayan yeterli bir çözümdür.

Eulerian metodundan farklı olarak düğüm noktalarını en uygun pozisyona göre alanlama yapar. Lagrangian metodunu kullanılan bir çözüm yatay bir hareket durumunda çözümleri malzemenin elemanlar arasında iletiminde çok vakit kaybeder. ALE çözümleri mesh hasarı ve hesap işlem yükü arasında yeniden alanlama algoritmasının uygunluğunu yatay hareketin çözümü için kullanır (Toy, 2022). ALE metodu için ideal ağların modellenmesi Şekil 3.16.'da verilmiştir.



Şekil 3.16. ALE metodu ile ideal olarak yapılan ağların modellenmesi (Sherkar ve ark., 2010; Toy, 2022)

4. ANALİZ MODELİ, BULGULAR ve İRDELEMELER

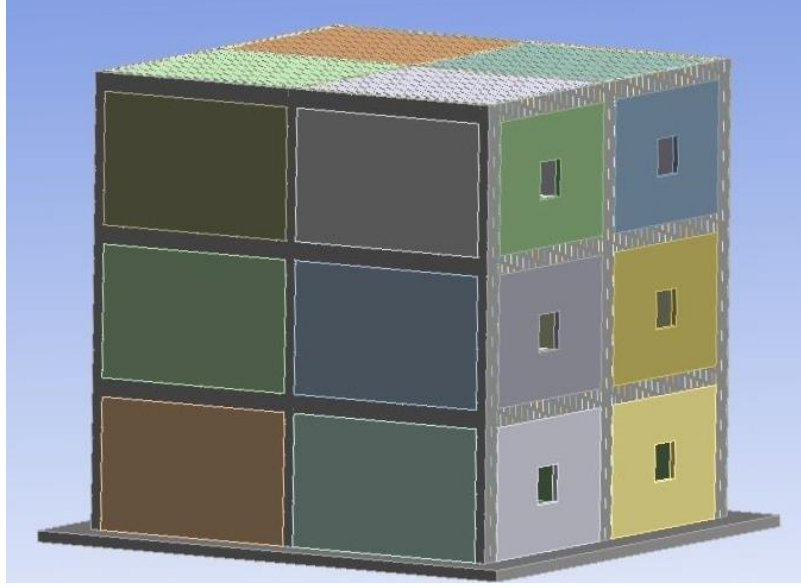
4.1. Üç Katlı Betonarme Bina ve Sonlu Elemanlar Modeli

Tezin bu bölümünde, üç katlı, patlayıcı depolama tesisi olarak kullanıldığı düşünülen betonarme bir yapının patlayıcı infilakı sonucunda davranışı ele alınmış, yapının patlama yüküne maruz kalması durumunda taşıyıcı sistemin dinamik ve yapısal davranışlarının araştırılması amaçlanmıştır. Patlama davranışıyla ilgili çalışmalar, bulgular ve irdemeler sunulmuştur. Yapılan analizlerde sonlu elemanlar modeli ANSYS Workbench Explicit Dynamics üzerinde oluşturulmuş, patlama analizleri ise ANSYS AUTODYN yazılımıyla gerçekleştirilmiştir.

Analizde üç katlı, iki açıklıklı C35 beton sınıfına sahip betonarme bir bina dikkate alınmış ve üç farklı TNT miktarına göre analizler yapılmıştır. Zemin katta dış kolona yakın 470 kg, 235 kg ve 52 kg'lık TNT ile üç farklı analiz, zemin kat ilk açıklık orta noktasında yine 470 kg, 235 kg ve 52 kg'lık TNT ile üç analiz olmak üzere zemin katta toplam altı analiz gerçekleştirilmiştir. 1. katta da dış kolona yakın 470 kg, 235 kg ve 52 kg'lık TNT ile üç farklı analiz, 1. kat ilk açıklık orta noktasında 470 kg, 235 kg ve 52 kg'lık TNT ile üç analiz olmak üzere benzer şekilde altı analiz olmak üzere. Toplamda 12 analiz gerçekleştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

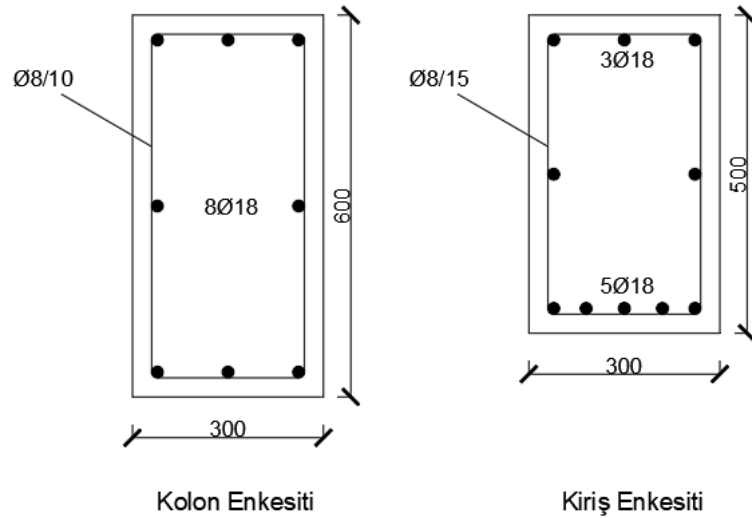
Üç katlı betonarme bina üzerinde tüm analizlerde dikkate alınan ortak okuma noktaları belirlenmiştir. Yapının patlama yükü altındaki davranışını incelemek için bu noktalar kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre patlama basınçları, hasar durumları, yer değiştirmeler, patlama enerjisi ve gerilmeler üzerinden karşılaştırmalar sunulmuştur.

3 katlı betonarme yapı modeli, her iki yönde eşit 6 m açıklıklı ve yine eşit 4 m kat yükseklikli, betonarme kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemdir. Taşıyıcı olmayan duvarlar için dolgu duvar modellemesi yapılmıştır. ANSYS Workbench Explicit Dynamics programına tanımlanan üç katlı betonarme model Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.

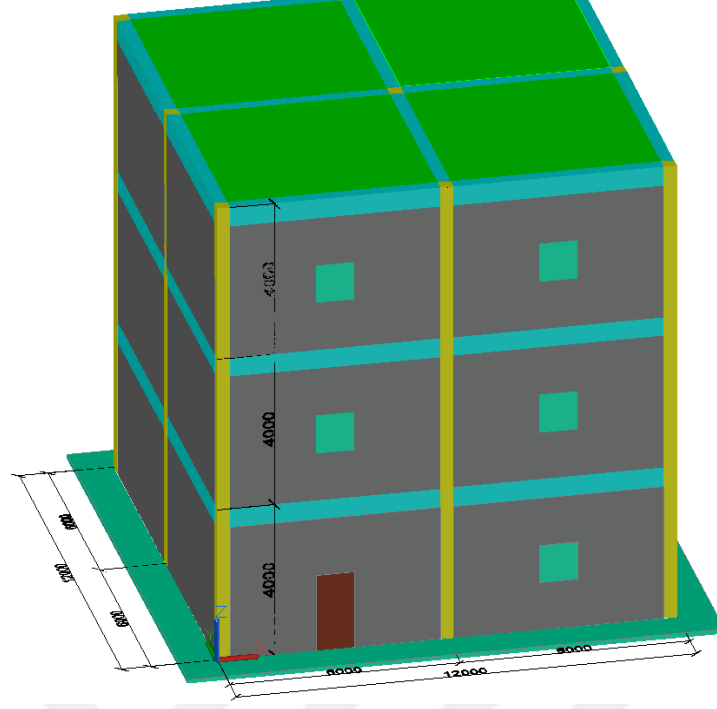


Şekil 4.1. Yapının ANSYS Workbench Explicit Dynamics’de tanımlanması

ANSYS Workbench yazılımı üzerinde açık yöntem (explicit method) kullanılarak tasarlanan yapı üzerinde toplam 9 adet kolon bulunmaktadır. Kolonlar 30 x 60cm ebatlarında tanımlanmıştır. Kolon boyuna donatıları geçerli olan yönetmeliklere uygun şekilde 8Ø18, etriyeleri ise Ø8/10 olarak tanımlanmıştır. Kirişler ise 30 x 50 cm ebatlarında tanımlanmıştır. Kirişlerde çekme donatısı 5Ø18, basınç donatısı 3Ø18 olup, etriye Ø8/15 cm olarak modellenmiştir. Kolon ve kiriş enkesitleri Şekil 4.2.’de verilmiştir. Döşeme kalınlığı 15 cm seçilmiş olup donatısı ise Ø10/15 cm olarak tanımlanmıştır. Dolgu duvarlar 15 cm kalınlığında tanımlanmıştır. Yapı ölçüleri Şekil 4.3.’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Kolon ve kiriş en kesit boyutları ve düzeni (boyutlar: mm)



Şekil 4.3. Yapı ölçüleri

Malzeme modellemesi yapılırken ANSYS kütüphanesine yeter alan Explicit malzeme tanımlaması yapılmış ve mevcut tanımlar üzerine ilaveler yapılmıştır. Beton malzemesi için *RHT* beton modeli kullanılmıştır. Kırılma kriteri *RHT Concrete*, çekme kırılması ise *Principle Stress* olarak tanımlanmıştır. Donatı modellemesi için *Johnson Cook* modeli kullanılmış, kırılma modeli olarak *Plastic Strain* Kriterleri kullanılmıştır.

Bulk modülü; hacim modülü veya sıkışmazlık olarak adlandırılan, bir kütlenin tüm yüzeyini saran basınç altındaki sıkışmasının bir ölçüsüdür. Bir başka deyişle basınç yüklemesine maruz kalmış malzemenin hacmindeki azalmayı ifade eden elastik bir özelliktir. Bulk modülünü ifade eden Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$K = - V \frac{\partial P}{\partial V} \quad (4.1)$$

P basınç, V Hacim, $\partial P / \partial V$ basıncın hacime göre kısmi türevidir. SI birim sisteminde birimi Pascal’dır.

Yapılan patlama analizlerinde, hasar tespiti yapılırken bulk modülü (hacim modülü) büyük bir öneme sahiptir. Malzeme sıkışmazlık oranının üzerine çıktığında işlevini yitirmiş kabul edilir.

Patlama analizleri için ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan malzemeler ve mekanik özellikleri

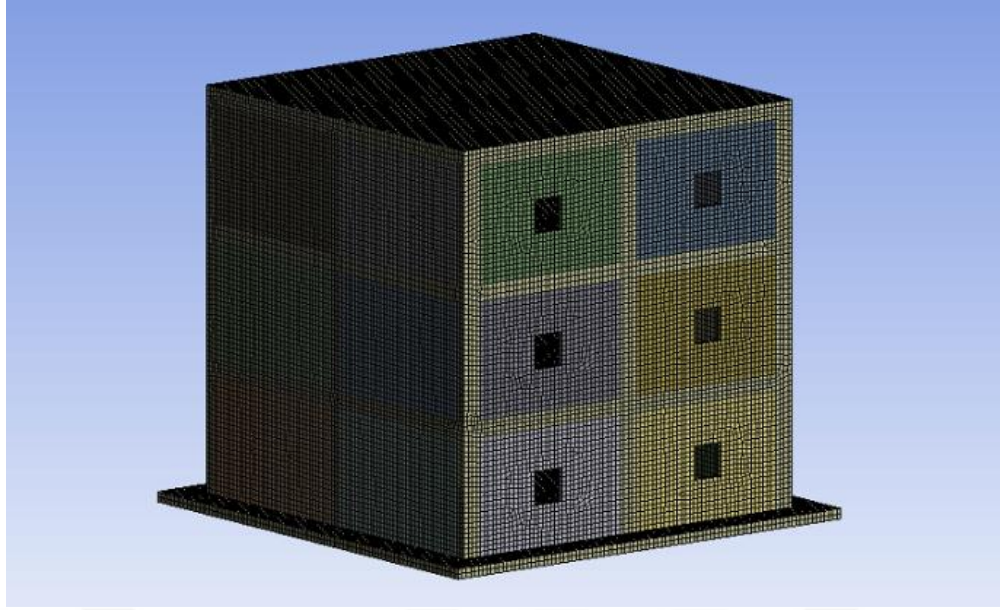
Malzeme	Malzeme Tipi	Elastisite Modülü (MPa)	Yoğunluk (g/cm ³)	Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)	Karakteristik Çekme Dayanımı (MPa)
Beton	C35	3.3×10^4	2.45	35	2.1
Donatı	B420C	2.1×10^5	7.83	420	420
Duvar	Dolgu	7.8×10^3	2.4	5	0.5
Patlayıcı	TNT	-	1.63	-	-
Hava	Hava	-	0.00123	-	-

Patlama senaryoları ve isimlendirmeleri, zemin katta ve 1. katta altı farklı şekilde olmak üzere toplamda 12 adet olarak Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Yapının farklı katlarında, farklı yerlerde ve değişik miktarlarda patlayıcının infilak etmesinin, taşıyıcı sistem üzerinde yarattığı tahribat ve etkilerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4.2. Patlama Senaryoları

Analiz Numarası	Analiz İsimleri	Patlayıcı Ağırlığı (kg)	Bulunduğu Kat	Patlayıcı Konumu
1	P1-470D	470	1.Kat	Dış kolona 1m uzaklıkta
2	P1-235D	235	1.Kat	Dış kolona 1m uzaklıkta
3	P1-52D	52	1. Kat	Dış kolona 1m uzaklıkta
4	PZ-470D	470	Zemin Kat	Dış kolona 1m uzaklıkta
5	PZ-235D	235	Zemin Kat	Dış kolona 1m uzaklıkta
6	PZ-52D	52	Zemin Kat	Dış kolona 1m uzaklıkta
7	P1-470AO	470	1.Kat	Açıklık ortası, dış orta kolondan 2m uzaklıkta
8	P1-235AO	235	1.Kat	Açıklık ortası, dış orta kolondan 2m uzaklıkta
9	P1-52AO	52	1. Kat	Açıklık ortası, dış orta kolondan 2m uzaklıkta
10	PZ-470AO	470	Zemin Kat	Açıklık ortası, dış orta kolondan 2m uzaklıkta
11	PZ-235AO	235	Zemin Kat	Açıklık ortası, dış orta kolondan 2m uzaklıkta
12	PZ-52AO	52	Zemin Kat	Açıklık ortası, dış orta kolondan 2m uzaklıkta

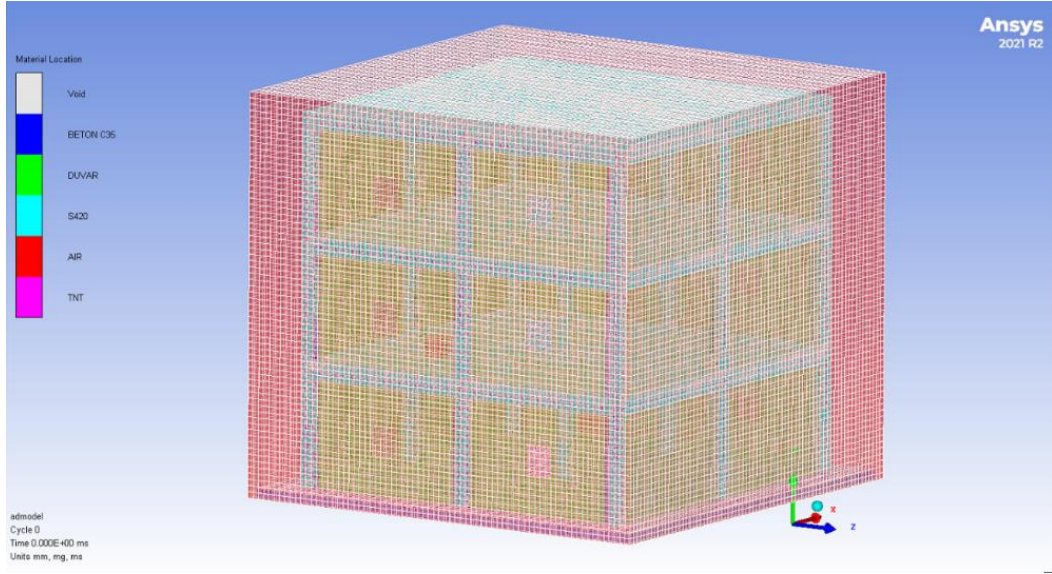
Sonlu elemanlar modelinde meshler ANSYS Workbench Explicit Dynamics yazılımıyla tanımlanmış olup, birim mesh uzunluğu 150 mm olarak seçilmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Sonlu eleman modeli mesh geometrisi

Mesh aralığının büyük seçilmesi, analiz süresini kısaltmakla beraber sonuçları gerçeklikten uzaklaştırmakta, çok küçük seçilmesi ise daha gerçekçi sonuçlar verebilmekle birlikte haftaları bulan ve kapasite olarak analiz sonuçlarını irdelemeyi mümkün kılmayan sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenle süre ve sonuçların gerçekliği açısından optimum mesh aralığının seçilmesi önemlidir. Literatür incelemesinde de 10 cm ile 50 cm arasında değişen mesh aralıklarında çalışmaların gerçekleştiği görülmüş ve 15 cm mesh aralığının seçilmesi uygun bulunmuştur.

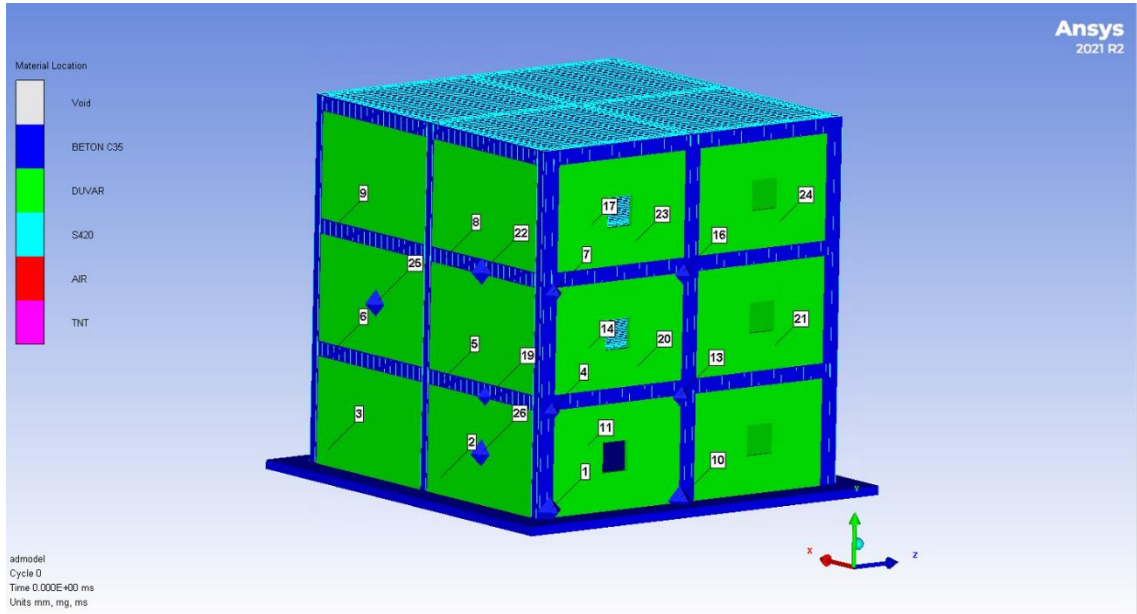
ANSYS Workbench Explicit Dynamics modülü üzerinde üç boyutlu katı (Lagrangian) model, malzeme özellikleri, sınır koşulları, mesh tanımları vb. genel tasarım kriterleri oluşturulduktan sonra ANSYS AUTODYN yazılımına akışkan- hava (Eulerian) modellemesi yapılması için model aktarılmıştır. AUTODYN yazılımında patlamanın gerçekleşeceği hava ortamı modelinin tanımlanması gereklidir. Sırasıyla x, y, z olacak şekilde 14.000mm x 13.000mm x 14.000mm olarak katı (Lagrangian) modeli kapsayacak dikdörtgenler prizması şeklinde hava (akışkan) ortamı 200mm boyundaki mesh kullanılarak tanımlanmıştır. Şekil 4.5.'de akışkan model ve meshler görünmektedir.



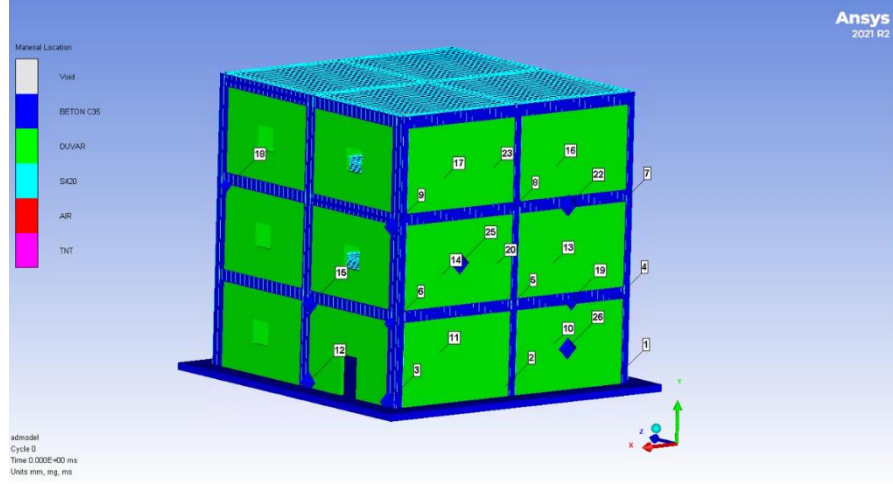
Şekil 4.5. ANSYS AUTODYN Hava-Akışkan modeli mesh geometrisi

4.1.1. Okuma Noktaları

Patlama analizi sonrası sonuçların elde edilmesi ve analiz sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için, on iki analizde de yerleri sabit 26 nokta seçilmiştir. Okuma noktaları Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'de görülmektedir.



Şekil 4.6. Sonlu eleman modeli üzerine yerleştirilen okuma noktaları



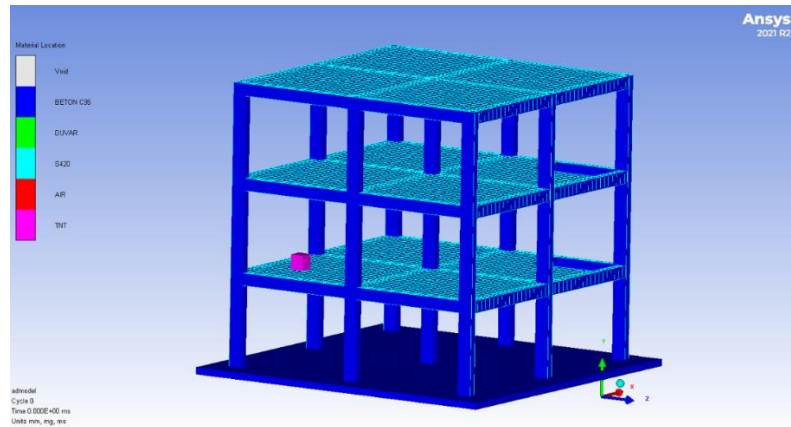
Şekil 4.7. Sonlu eleman modeli üzerine yerleştirilen okuma noktaları

4.2. Patlama Modelleri

4.2.1. P1-470D Patlama Senaryosu

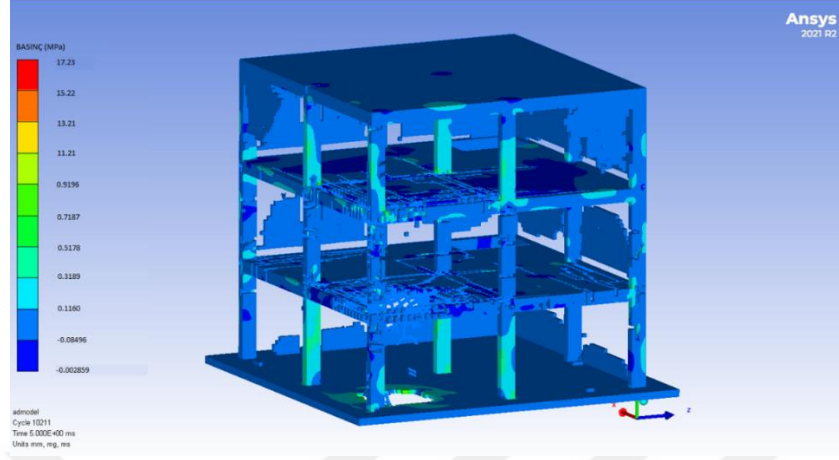
İlk analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine dış köşe kolona 1 m uzaklıkta olacak şekilde, 1. katta patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için, hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin patlayıcı yoğunluğu ile çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 4 \times 3$ birim mesh olarak yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm hesabından TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak hesaplanmıştır.

Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-470D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı konumu (TNT) Şekil 4.8.'de görülmektedir.



Şekil 4.8. P1-470D patlayıcı (TNT) konumu

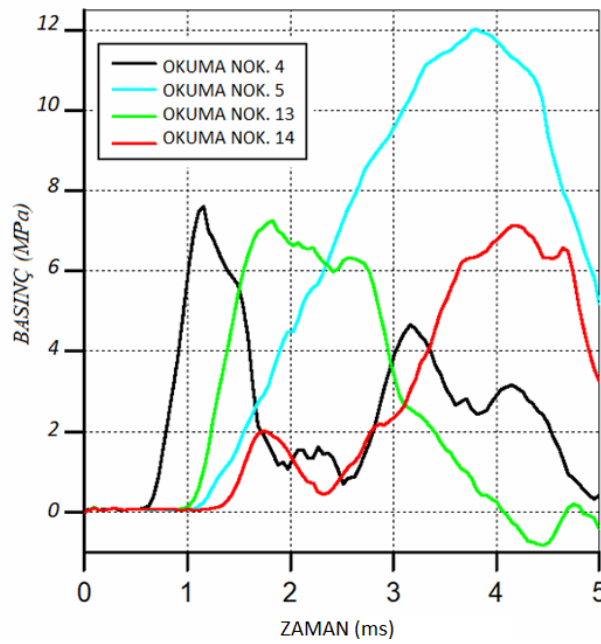
4.2.1.1. P1-470D Patlama Basınçları



Şekil 4.9. P1-470D basınç gerilmesi diyagramları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında, en yüksek basınç değerinin patlayıcıya en yakın zemin kat köşe kolonda 17.23 MPa olduğu görülmüştür.

P1-470D grafikleri incelendiğinde okuma noktası 4, 5, 13, 14'de en yüksek basınç değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Okuma noktası 4, 5, 13, 14 için basınç zaman grafiği Şekil 4.10.'da verilmiştir. Ayrıca seçilen 26 noktada oluşan basınç değerleri de Çizelge 4.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. P1-470D 4, 5, 13, 14 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

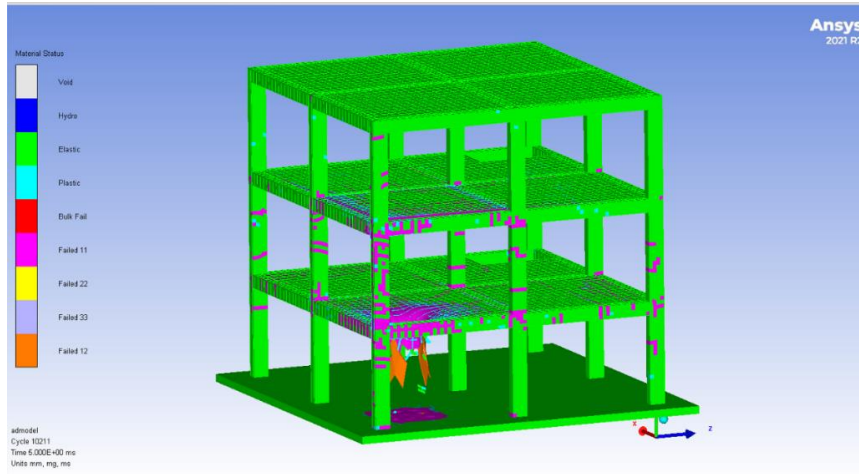
Çizelge 4.3. P1-470D senaryosunu için okuma noktalarındaki patlama basınçları

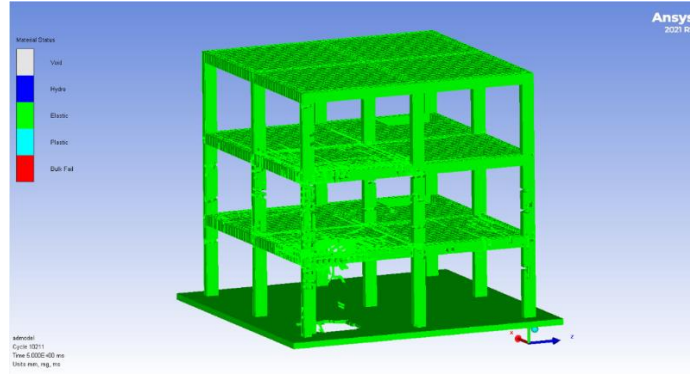
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	4.75	14	7.14
2	4.07	15	1.01
3	1.4	16	1.42
4	7.62	17	0.675
5	12	18	0.44
6	1.16	19	1.66
7	4.77	20	0.336
8	1.13	21	0.567
9	1.61	22	2.49
10	4.59	23	2.61
11	2.12	24	0.211
12	0.651	25	1.08
13	7.27	26	1.14

Tüm okuma noktaları incelendiğinde; 470 kg TNT infilakı durumunda 1, 2, 4, 5, 7, 10, 13, 14 nolu okuma noktalarında ağır hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

4.2.1.2. P1-470D Hasar Durumları

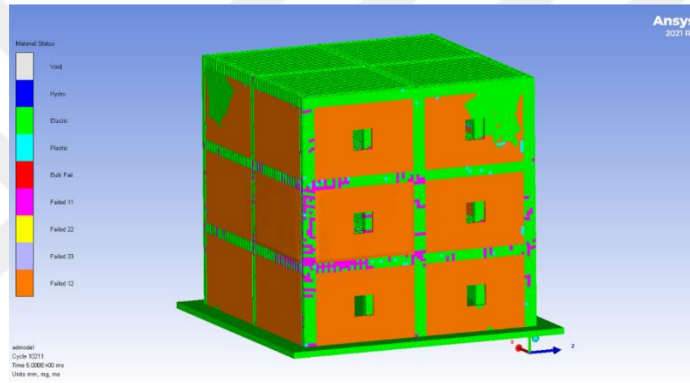
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. 1. kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir. Patlama noktasından uzaklaştıkça yapısal elemanlarda elastik davranışın daha hakim olduğu Şekil 4.12.'de verilen elastik davranış diyagramından görülmektedir.

**Şekil 4.10.** P1-470D yapısal davranış kontur diyagramı



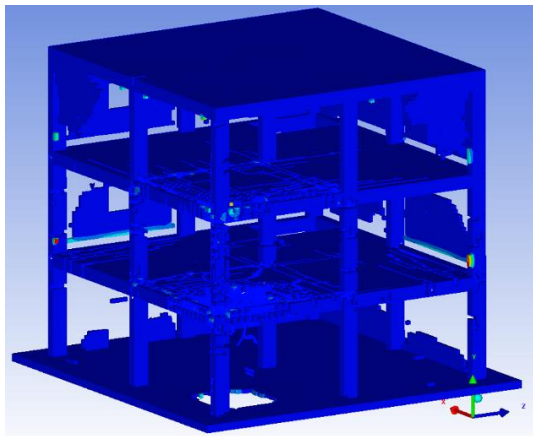
Şekil 4.12. P1-470D yapısal elastik davranış kontur diyagramı

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramı Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. P1-470D duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şekil 4.13.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle tüm duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcıya yakın olan yapısal elemanlar almıştır.

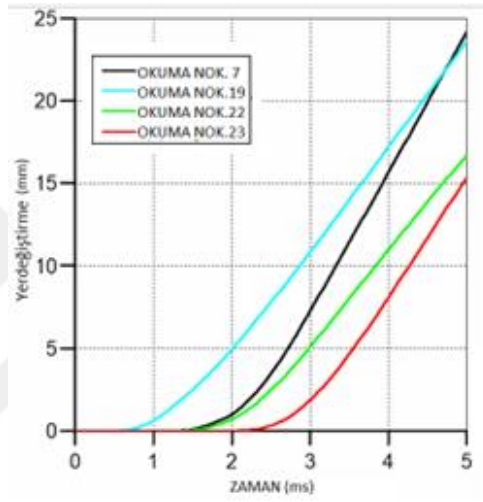


Şekil 4.14. P1-470D nihai hasar görüntüsü

Patlama şok dalgası beton yüzeylerle etkileşime girdiğinde bu yüzeyler parçalanmaktadır. Şekil 4.14.'de hasar kontur diyagramı verilmiştir.

4.2.1.3. P1-470D Yerdeğiştirmeler

470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 7, 19, 22, 23 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir ve okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar Şekil 4.15.'de verilmiştir.



Şekil 4.15. P1-470D 7, 19, 22, 23 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

P1-470D için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

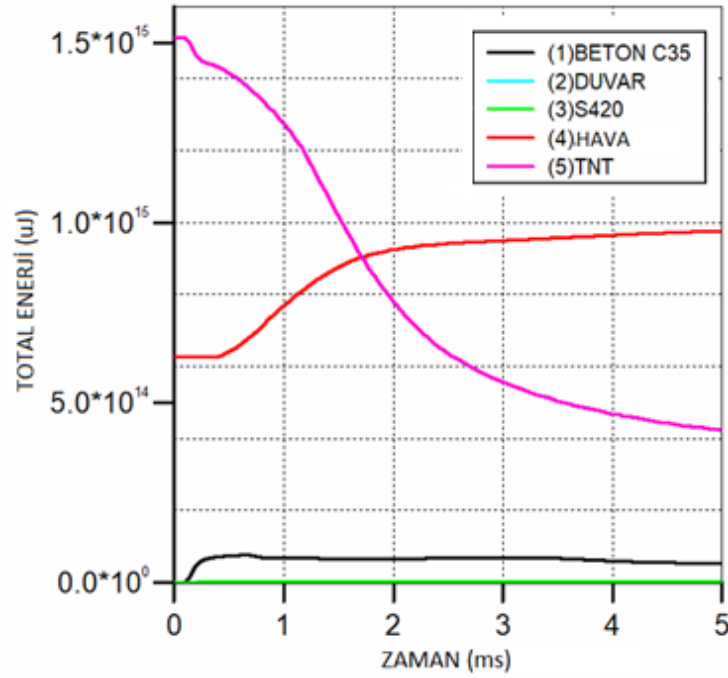
Çizelge 4.4 P1-470D için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.917	14	0.95
2	0.202	15	0.642
3	0.0511	16	9.41
4	8.46	17	3.14
5	2.11	18	0.115
6	1.86	19	23.6
7	24.2	20	6.24
8	8.73	21	1.13
9	0.829	22	16.7
10	0.09	23	15.3
11	0.075	24	0.32
12	0.0346	25	1.16
13	1.37	26	4.53

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 4, 7, 8, 16, 19, 22, 23 üzerinde ağır hasarlar oluştuğu gözlemlenmektedir.

4.2.1.4. P1-470D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönmölemmezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönmölendiği Şekil 4.16.'da, patlama sonrası total enerji değeri Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. P1-470D Toplam Enerji-Zaman Grafiği

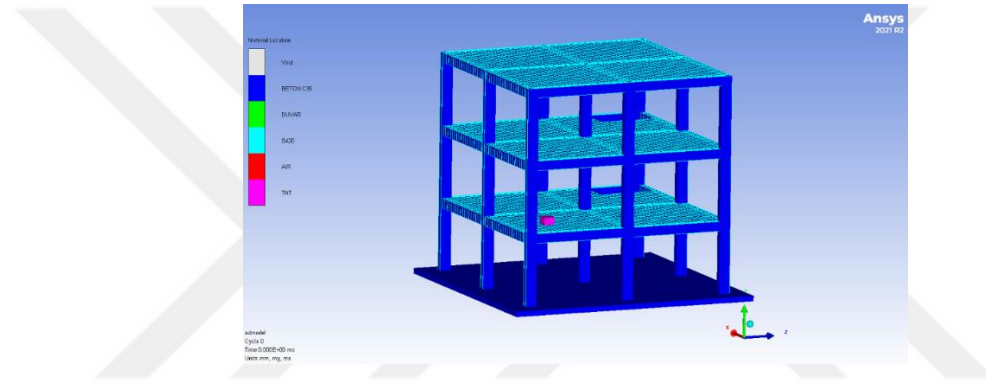
Çizelge 4.5. P1-470D için patlama sonrası sönmölenen total enerji değeri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	5,34E+13
DUVAR	1,21E+12
DONATI	3,64E+12
HAVA	9,76E+14
TNT	4,226E+14

4.2.2. P1-235D Patlama Senaryosu

İkinci analiz olarak ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine dış köşe kolona 1 m uzaklıkta olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 2 x 3 birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 2 \times 3 = 18 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 235 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 235 kg olarak uygulanmıştır.

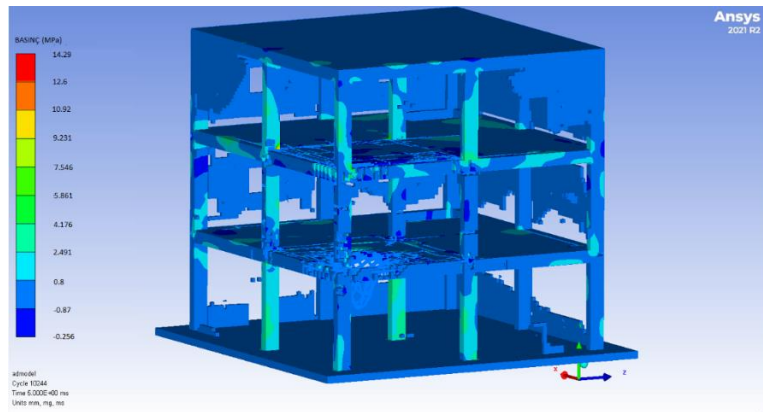
Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-235D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.17.'de verilmiştir.



Şekil 4.17. P1-235D patlayıcı (TNT) konumu

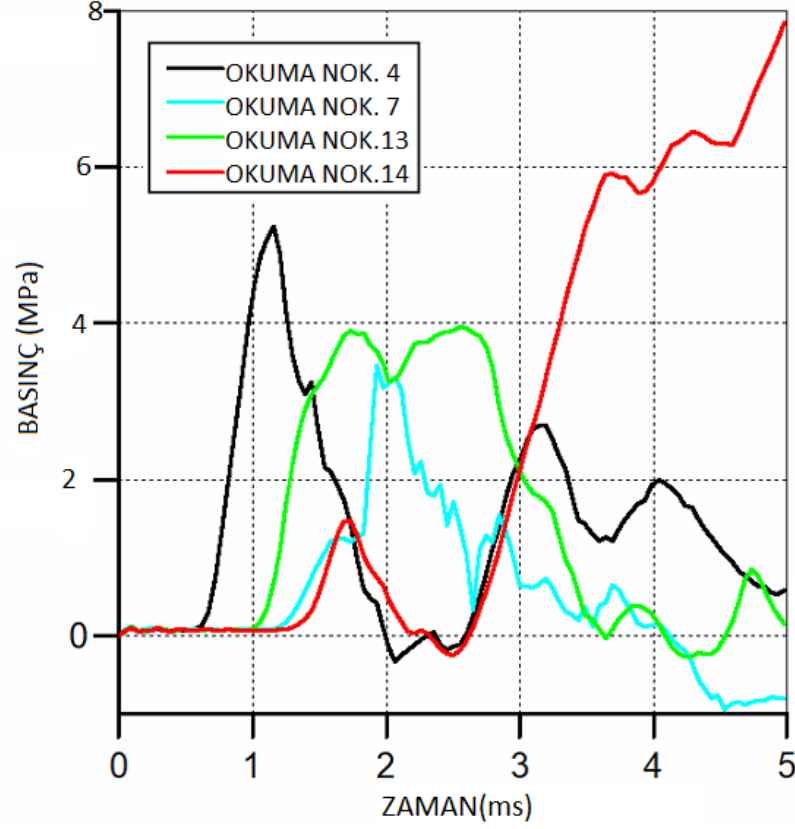
4.2.2.1. P1-235D Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 14.29 MPa olduğu Şekil 4.18.'de görülmüştür.



Şekil 4.18. P1-235D Basınç gerilmesi diyagramları

P1-235D grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 4, 7, 13, 14’de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 4, 7, 13, 14 için basınç zaman grafiği Şekil 4.19.’da verilmiştir.



Şekil 4.19. P1-235D 4, 7, 13, 14 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

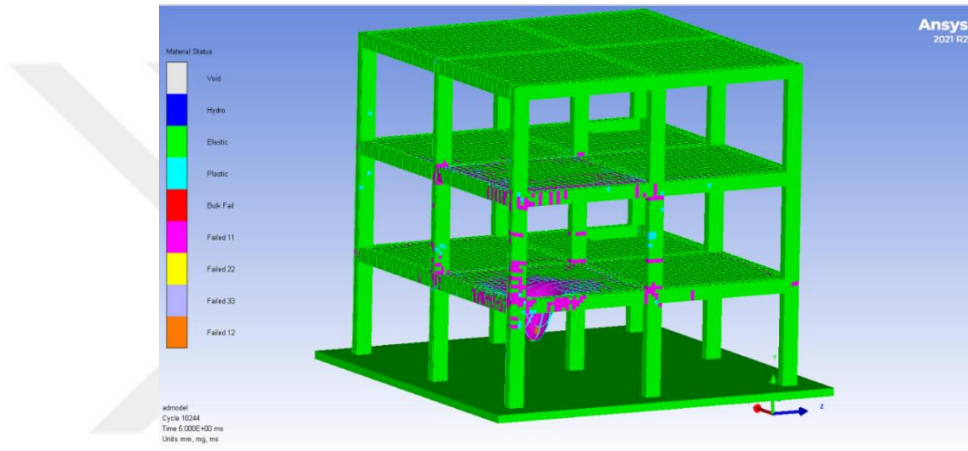
Çizelge 4.6. P1-235D için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	2.74	14	7.84
2	2.84	15	0.667
3	0.49	16	0.564
4	5.23	17	0.939
5	3.15	18	0.356
6	0.722	19	1.37
7	3.46	20	0.503
8	0.486	21	0.311
9	0.609	22	1.28
10	2.091	23	1.84
11	2.32	24	0.15
12	0.391	25	0.751
13	3.96	26	0.83

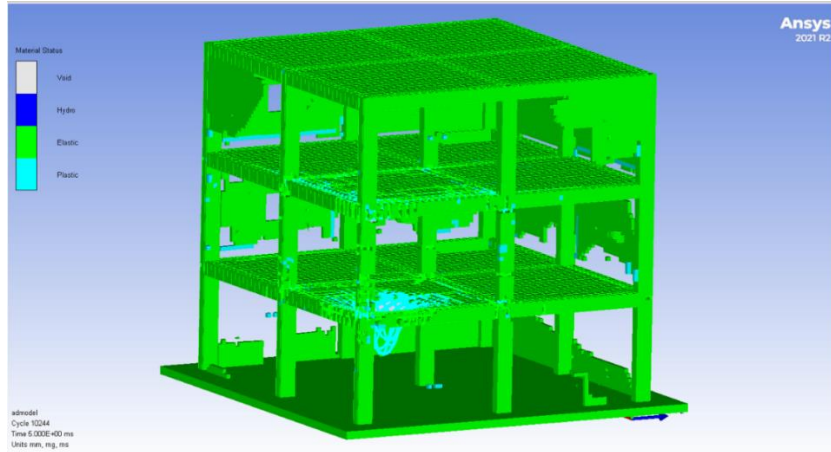
Tüm okuma noktaları incelendiğinde; 235 kg infilakı durumunda 4, 5, 7, 13, 14 nolu okuma noktalarında ağır hasarlar meydana gelmektedir.

4.2.2.2. P1-235D Hasar Durumları

235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.20.'de gösterilmiştir. 1. Kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir. Patlama noktasından uzaklaştıkça yapısal elemanlarda elastik davranışın daha hakim olduğu Şekil 4.21.'de verilen elastik davranış diyagramından görülmektedir.

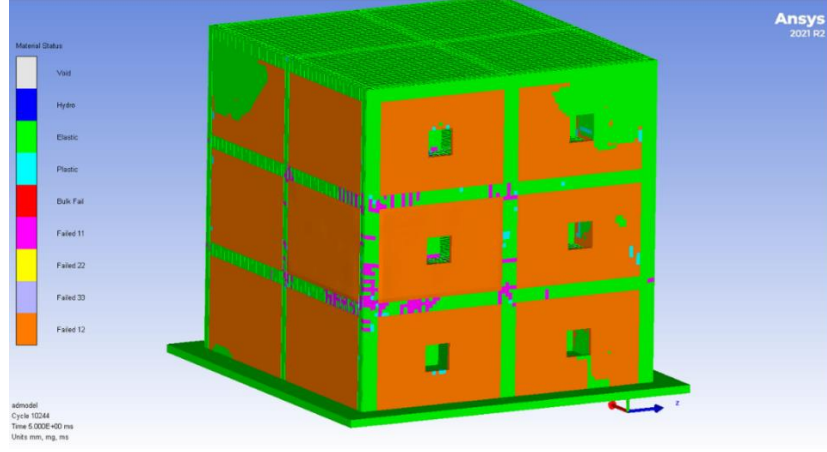


Şekil 4.20. P1-235D yapısal davranış kontur diyagramı



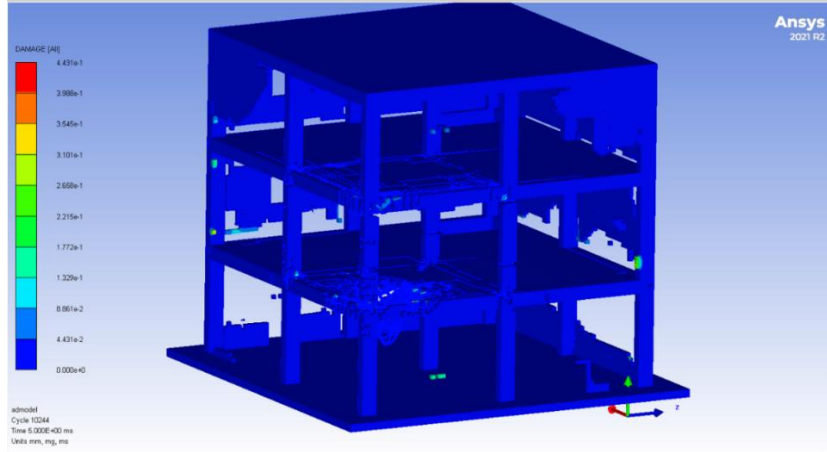
Şekil 4.21. P1-235D Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramı Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. P1-235D duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şekil 4.22.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle tüm duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcıya yakın olan yapısal elemanlar almıştır. Bu hasarlar genellikle patlayıcının üzerinde bulunduğu döşeme ve şok dalgasının ilk temas edeceği kolon kiriş birleşim yerlerindedir. Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönmelenmesinden dolayı temel kolon birleşimi ve son kat yapısal elemanları elastik hasarlar almıştır. Şekil 4.23.'de hasar kontur diyagramı verilmiştir.

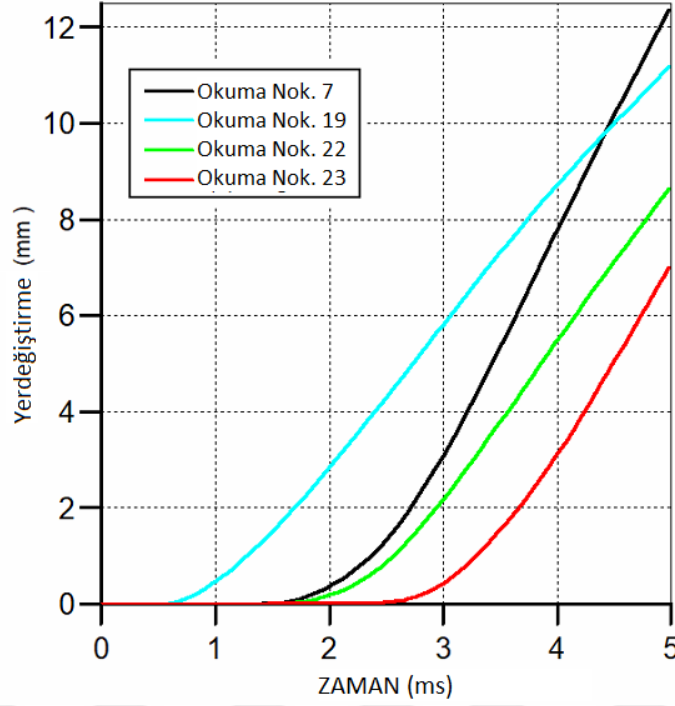


Şekil 4.23. P1-235D hasar görüntüsü

4.2.2.3. P1-235D Yerdeğıştirmeler

235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğıştirmeler meydana gelmiştir. 7, 19, 22, 23 nolu okuma noktalarında en büyük

deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.24.'de 7, 19, 22, 23 nolu okuma noktalarında meydana gelen yerdeğiştirmeler verilmiştir.



Şekil 4.24. P1-235D 7, 19, 22, 23 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

P1-235D için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

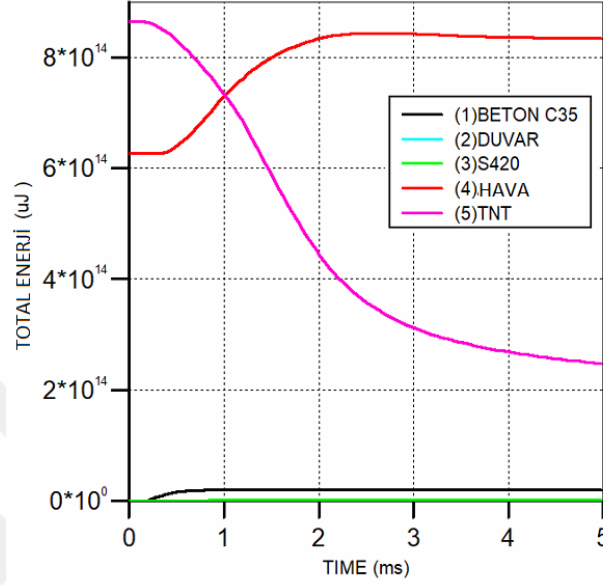
Çizelge 4.7. P1-235D için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.121	14	0.998
2	0.117	15	0.259
3	0.043	16	5.03
4	2.62	17	1.63
5	0.83	18	0.116
6	0.725	19	11.2
7	12.3	20	5.38
8	4.69	21	0.487
9	0.384	22	8.63
10	0.0624	23	6.99
11	0.0879	24	0.236
12	0.0234	25	0.67
13	0.651	26	2.39

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 7, 8, 16, 19, 22 üzerinde ağır hasarlar olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.2.4. P1-235D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir.



Şekil 4.25. P1-235D Toplam Enerji-Zaman Grafiği

Yapı modellerinde bu sönümlemeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönümlenmezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Şekil 4.24.'de ve Çizelge 4.8.'de gösterilmiştir.

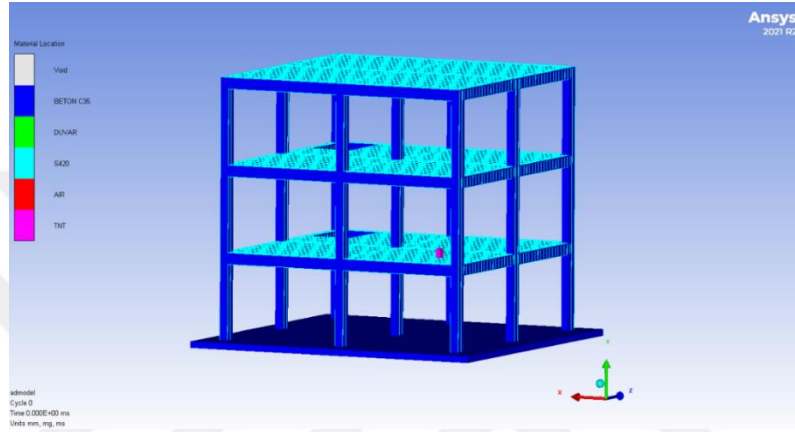
Çizelge 4.8. P1-235D için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	1.973E+13
DUVAR	4.467E+11
DONATI	2.298E+12
HAVA	8.347E+14
TNT	2.474E+14

4.2.3. P1-52D Patlama Senaryosu

Üçüncü analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine dış köşe kolona 1 m uzaklıkta olacak şekilde, 1. katta patlayıcı madde (TNT)

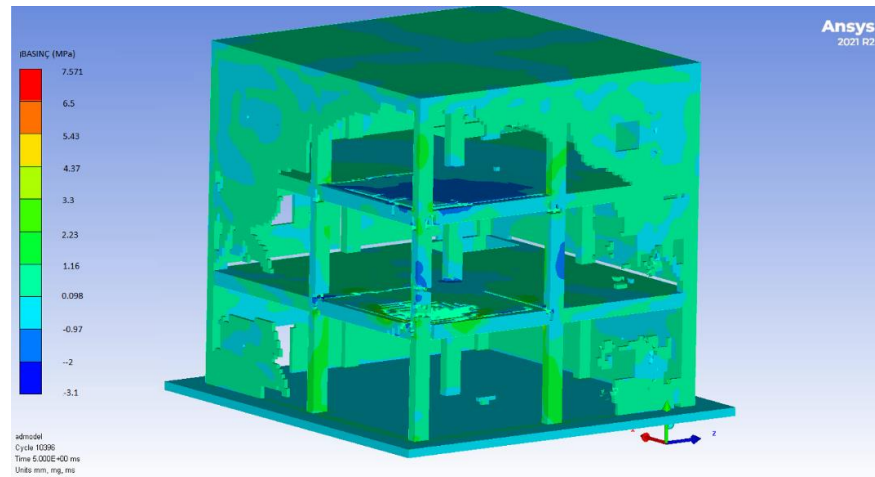
tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için, hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin patlayıcı yoğunluğu ile çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için 2 x 1 x 2 birim mesh olarak yerleştirilerek ($2 \times 1 \times 2 = 4 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm hesabından TNT kütlesi $\approx 52 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 52 kg olarak hesaplanmıştır. Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-52D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı konumu (TNT) Şekil 4.26.'da görülmektedir.



Şekil 4.26. P1-52D patlayıcı (TNT) konumu

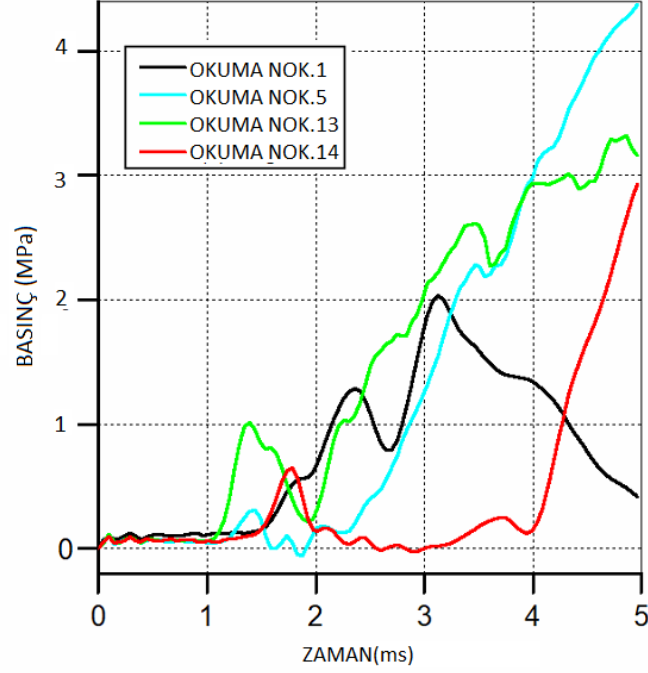
4.2.3.1. P1-52D Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 7,51 MPa olduğu Şekil 4.27'de görülmektedir.



Şekil 4.27. P1-52D Basınç gerilmesi diyagramları

P1-52D grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 1, 5, 13, 14’de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 1, 5, 13, 14 için basınç zaman grafiği Şekil 4.28.’de verilmiştir. Ayrıca seçilen 26 noktada oluşan basınç değerleri de Çizelge 4.9.’da gösterilmiştir.



Şekil 4.28. P1-52D 1, 5, 13, 14 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

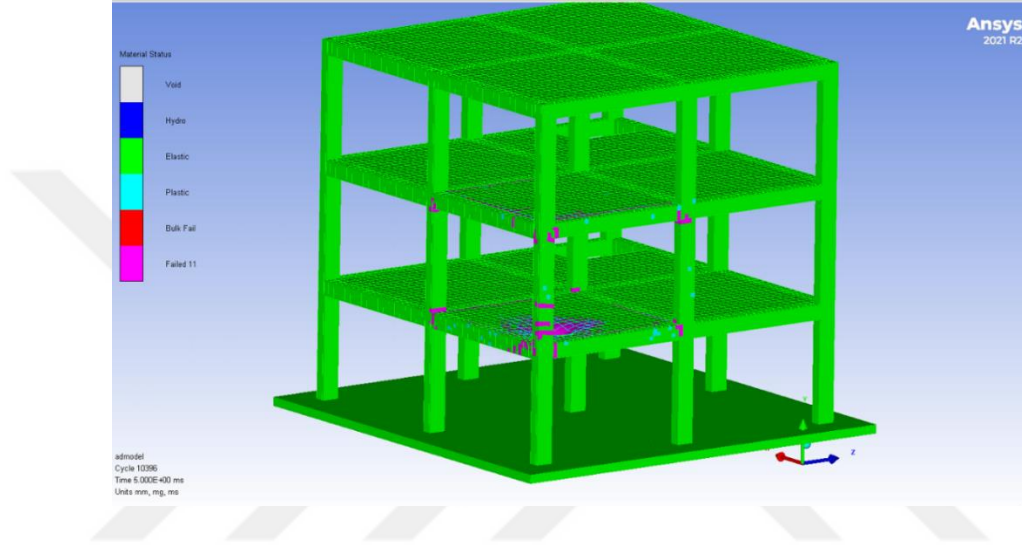
Çizelge 4.9. P1-52D için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	2.03	14	2.93
2	1.43	15	0.453
3	0.305	16	0.548
4	1.65	17	0.34
5	4.37	18	0.313
6	0.374	19	0.344
7	1.45	20	0.441
8	0.353	21	0.187
9	0.23	22	0.7
10	1.22	23	0.768
11	0.325	24	0.12
12	0.317	25	0.125
13	3.32	26	0.434

Tüm okuma noktaları incelendiğinde; 52 kg infilakı durumunda 5, 13, 14 nolu okuma noktalarında ağır hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

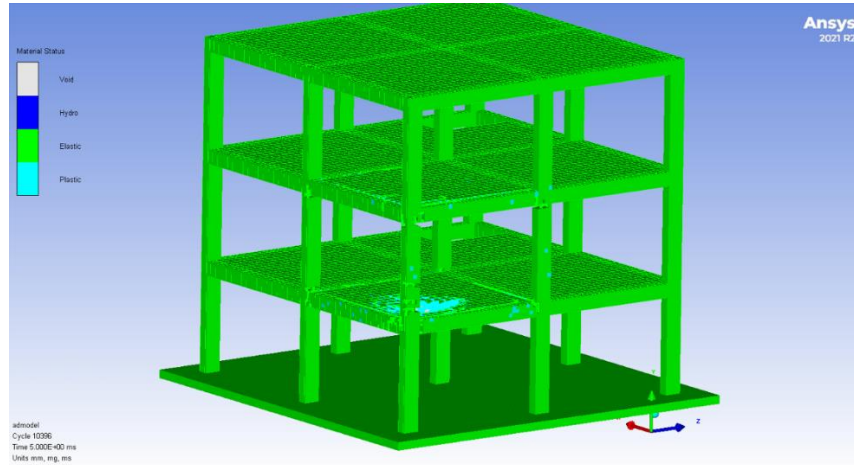
4.2.3.2. P1-52D Hasar Durumları

52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.29.'da gösterilmiştir. P1-52D analizinde patlama noktasına en yakın olan dış kolon en fazla kalıcı deformasyona uğrayan yapısal eleman olmuştur.



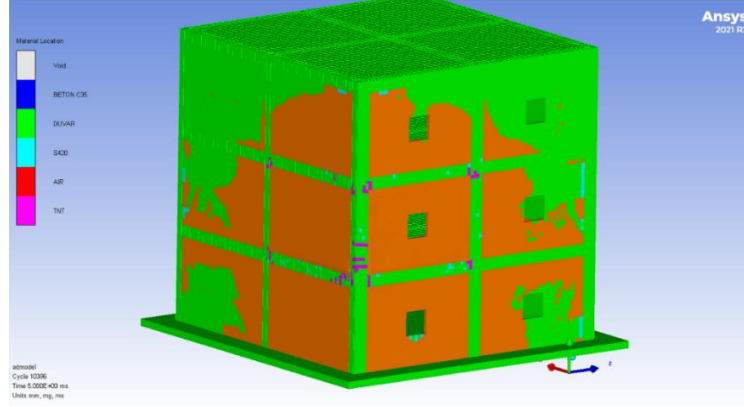
Şekil 4.29. P1-52D Yapısal davranış kontur diyagramı

1. Kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir. Hasarı daha çok patlayıcı merkezine yakın olan kolon kiriş birleşim bölgelerinin aldığı tespit edilmiştir. Patlama noktasından uzaklaştıkça elastik davranış gösteren yapısal elemanlar Şekil 4.30.'da görüldüğü gibidir.



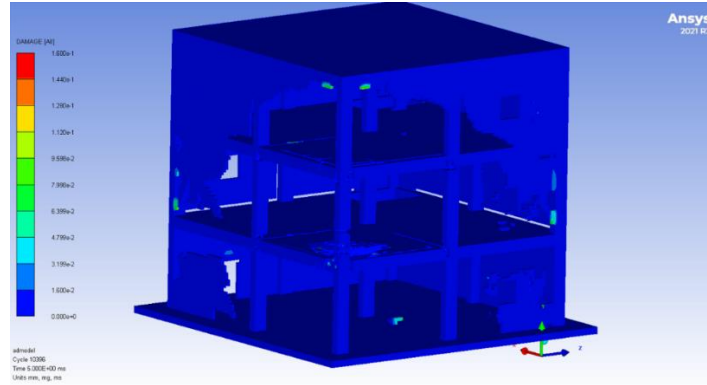
Şekil 4.30. P1-52D Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

52 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramları Şekil 4.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. P1-52D duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

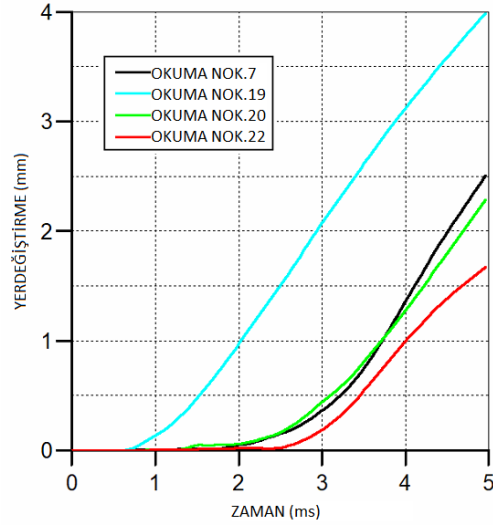
Şekil 4.31'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle patlama noktasına yakın olan duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcı katındaki yapısal elemanlar almıştır. Patlama şok dalgası beton yüzeylerle etkileşime girdiğinde bu yüzeyler parçalanmaktadır. Şekil 4.32.'de hasar kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.32. P1-52D nihai hasar görüntüsü

4.2.3.3. P1-52D Yerdeğiştirmeler

52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 7, 19, 20, 22 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.32.'de 7, 19, 20, 22 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar verilmiştir.



Şekil 4.33. P1-52D 7, 19, 20, 22 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

P1-52D için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.10.'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. P1-52D için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

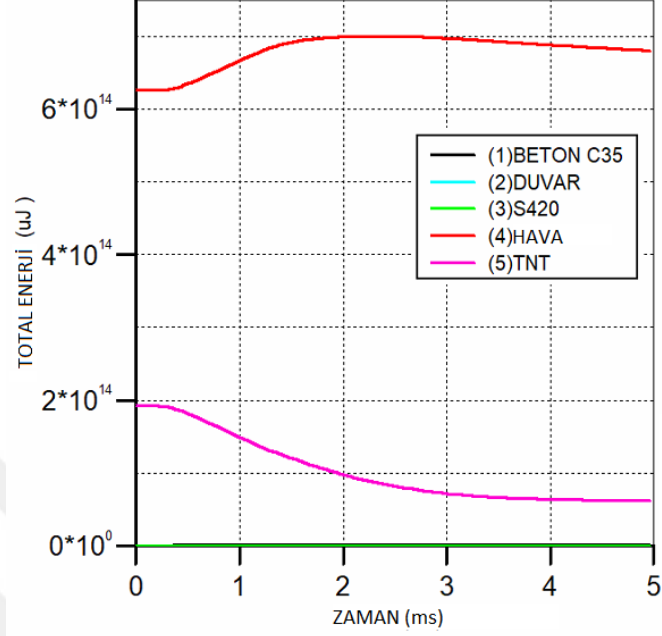
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.0663	14	0.218
2	0.055	15	0.0745
3	0.0127	16	0.262
4	0.549	17	0.111
5	0.5	18	0.116
6	0.11	19	3.98
7	2.5	20	2.28
8	0.422	21	0.123
9	0.124	22	1.67
10	0.0219	23	0.498
11	0.0203	24	0.129
12	0.0126	25	0.108
13	0.629	26	1.14

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları üzerinde yüzey çatlakları oluştuğu gözlemlenmektedir.

4.2.3.4. P1-52D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmülenir. Yapı modellerinde

bu sönümler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir.



Şekil 4.34. P1-52D Toplam Enerji-Zaman Grafiği

Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönümlenemezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönümlediği Şekil 4.34.'de, patlama sonrası total enerji değerleri Çizelge 4.11.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. P1-52D için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

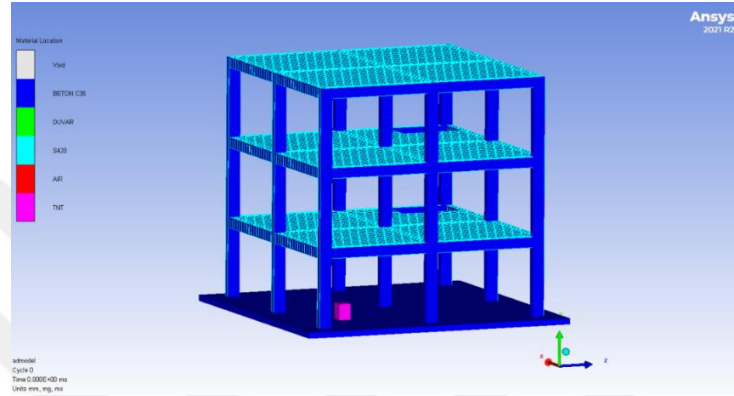
Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	1.53E+12
DUVAR	3.17E+10
DONATI	2.59E+11
HAVA	6.80E+14
TNT	6.21E+13

4.2.4. PZ-470D Patlama Senaryosu

Dördüncü analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine dış köşe kolona 1 m uzaklıkta olacak şekilde, zemin katta patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için, hava

modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin patlayıcı yoğunluğu ile çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 4 x 3 birim mesh olarak yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm hesabından TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak hesaplanmıştır.

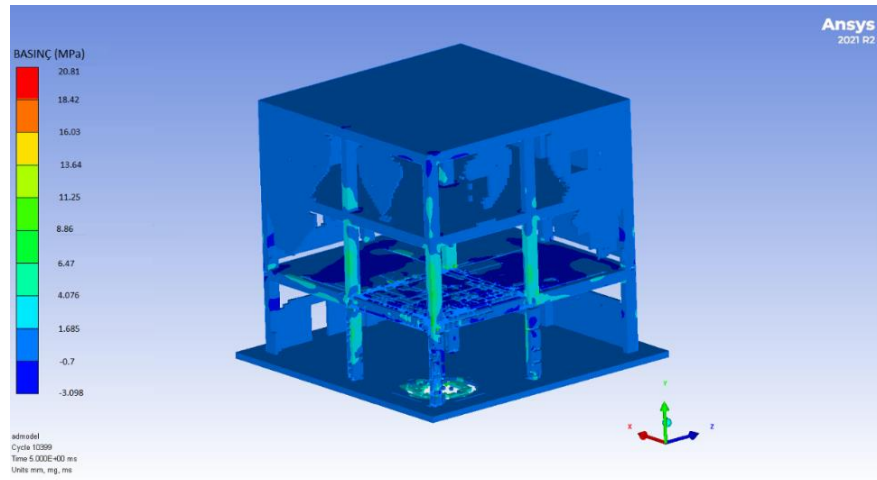
Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. PZ-470D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.35.'de görülmektedir.



Şekil 4.35. P1-470D patlayıcı (TNT) konumu

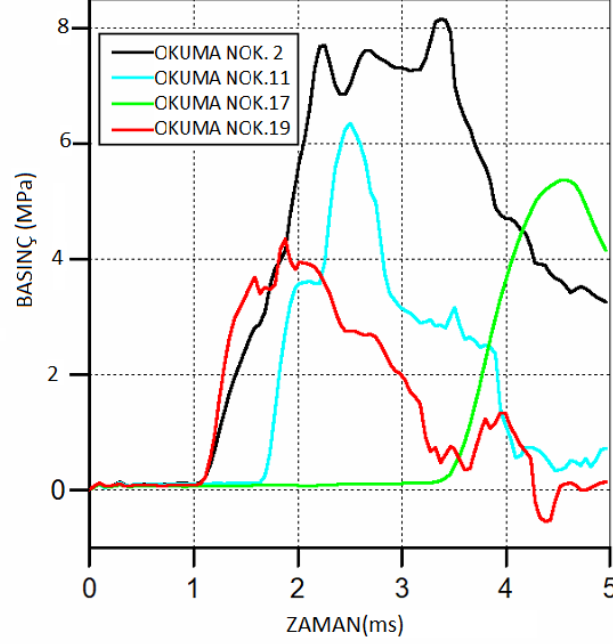
4.2.4.1. PZ-470D Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 20.81 MPa olduğu Şekil 4.36.'da görülmektedir.



Şekil 4.36. PZ-470D Basınç gerilmesi diyagramları

PZ-470D grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 2, 11, 17, 19’da en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 2, 11, 17, 19 için basınç zaman grafiği Şekil 4.37.’de verilmiştir. Ayrıca seçilen 26 noktada oluşan basınç değerleri de Çizelge 4.12. de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. PZ-470D 2, 11, 17, 19 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

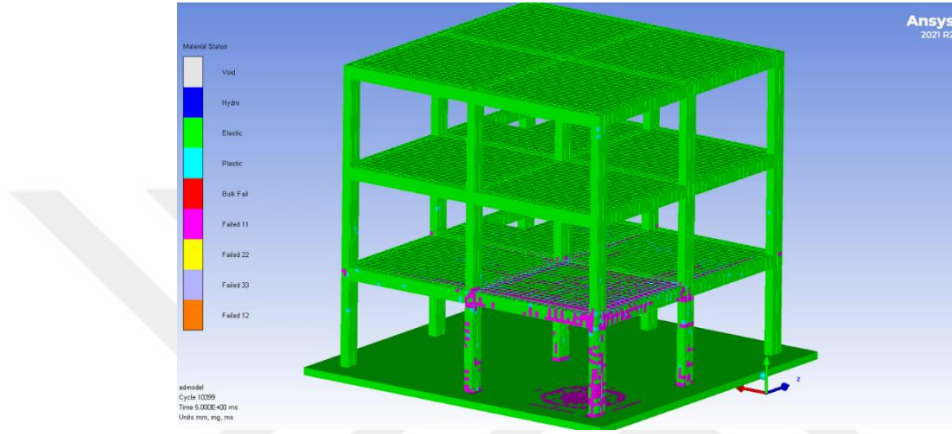
Çizelge 4.12. PZ-470D için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	3.96	14	1.24
2	8.17	15	0.595
3	0.443	16	4.04
4	1.91	17	5.38
5	1.49	18	0.302
6	0.91	19	4.35
7	4.23	20	3.94
8	4.49	21	0.113
9	0.295	22	0.222
10	1.58	23	0.154
11	6.35	24	0.12
12	0.399	25	0.334
13	3.2	26	3.02

Tüm okuma noktaları incelendiğinde; 470kg patlayıcı infilakı durumunda 1, 2, 7, 8, 11, 13, 16, 17, 19, 20 ve 26 nolu okuma noktalarında ağır hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

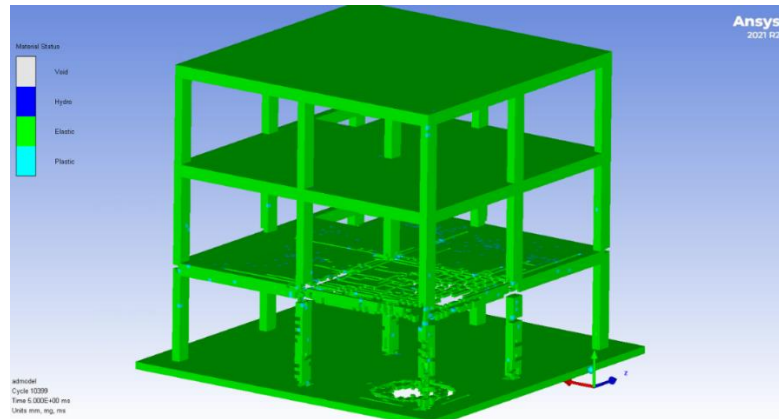
4.2.4.2. P1-470D Hasar Durumları

470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.38.'de gösterilmiştir Zemin kat kolon, kiriş ve temel üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir.



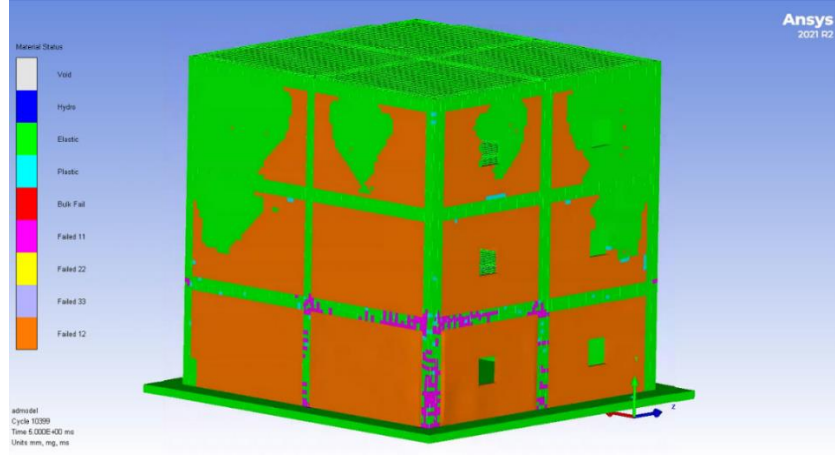
Şekil 4.38. PZ-470D Yapısal davranış kontur diyagramı

Patlama noktasından uzaklaştıkça elastik davranış gösteren yapısal elemanlar (kolonlar, kirişler ve döşemeler) Şekil 4.38.'de görüldüğü gibidir. Şekil 4.39.'dan anlaşılacağı üzere patlama şok dalgasının ilk ulaştığı yapısal elemanlar kalıcı deformasyonlara uğramış ve taşıyıcı özelliğini kaybetmiştir.



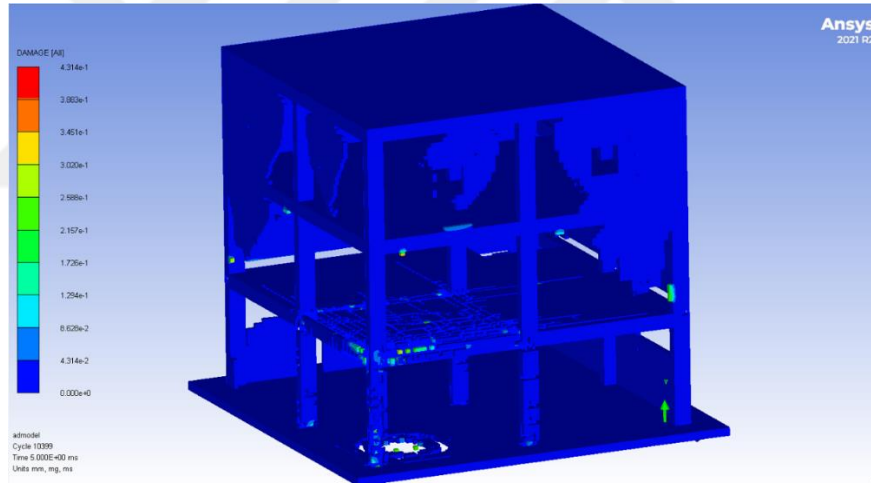
Şekil 4.39. PZ-470D Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramı Şekil 4.40.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.40. PZ-470D duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

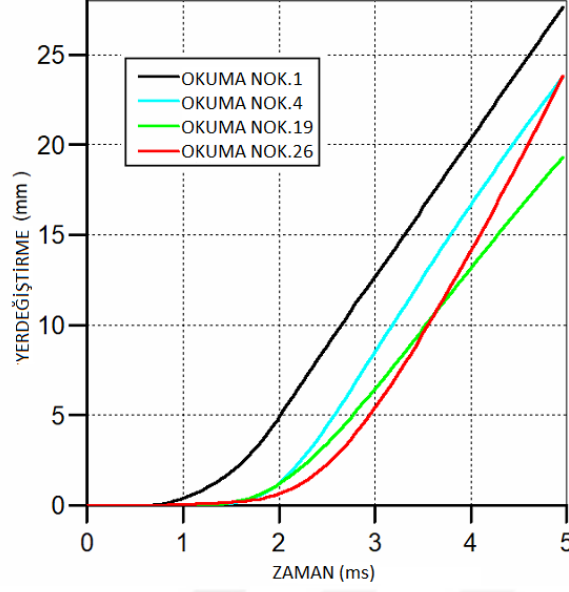
Şekil 4.40'dan görüldüğü üzere patlama şiddetiyle tüm duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Patlama şok dalgası beton yüzeylerle etkileşime girdiğinde bu yüzeyler parçalanmaktadır. Şekil 4.41.'de hasar kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.41. PZ-470D nihai hasar görüntüsü

4.2.4.3. P1-470D Yerdeğiştirmeler

470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 1, 4, 19, 26 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.42.'de 1, 4, 19, 26 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar verilmiştir.



Şekil 4.42. PZ-470D 1, 4, 19, 26 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

PZ-470D için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.13.'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. PZ-470D için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

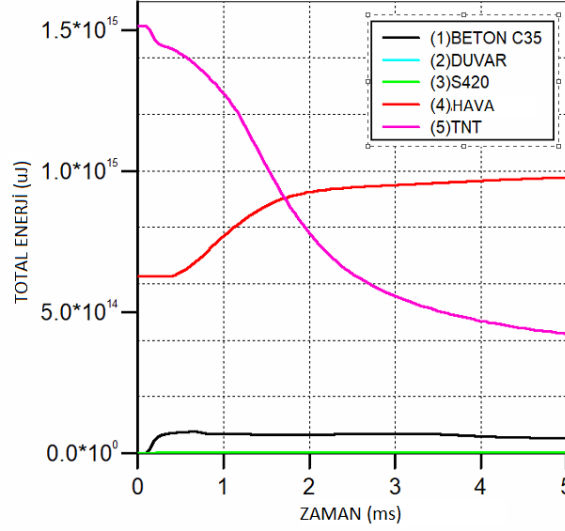
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	27.6	14	4.54
2	2.01	15	0.477
3	0.0144	16	0.486
4	23.8	17	0.442
5	7.62	18	0.116
6	0.808	19	19.3
7	1.43	20	13.1
8	0.581	21	0.302
9	0.113	22	0.161
10	2.04	23	0.152
11	2.09	24	0.128
12	0.0132	25	0.0825
13	9.6	26	23.8

Zemin katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 1, 4, 14, 19, 26 üzerinde ağır hasar olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.4.4. PZ-270D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmülenir. Yapı modellerinde

bu sönümlerler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönümlenemezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur.



Şekil 4.43. PZ-470D Toplam Enerji-Zaman Grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönümlediği Şekil 4.43.'de, patlama sonrası total enerji değerleri Çizelge 4.14.'de gösterilmiştir.

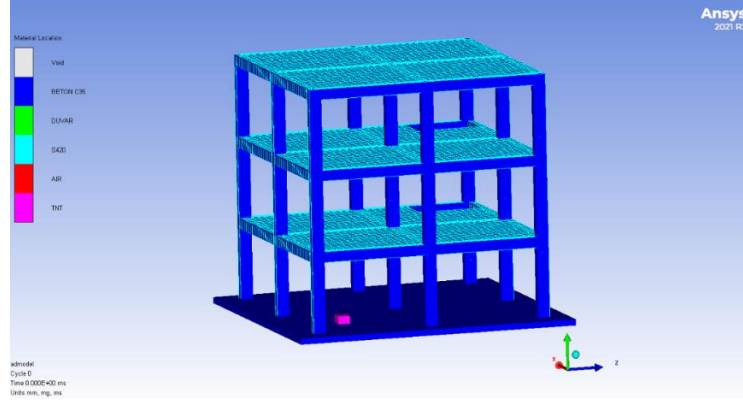
Çizelge 4.14. P1-470D için patlama sonrası sönümlenen total enerji değeri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	1.32E+13
DUVAR	1.04E+12
DONATI	2.58E+11
HAVA	1.02E+15
TNT	4.34E+14

4.2.5. PZ-235D Patlama Senaryosu

Beşinci analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine dış köşe kolona 1 m uzaklıkta olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 2 x 3 birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 2 \times 3 = 18 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 235 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 235 kg olarak uygulanmıştır.

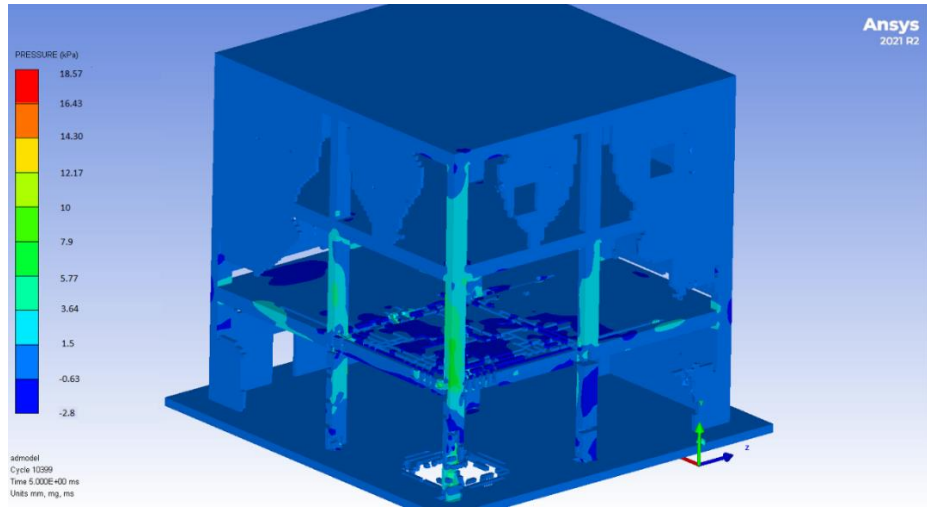
Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-235D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.44.'de verilmiştir.



Şekil 4.44. PZ-235D patlayıcı (TNT) konumu

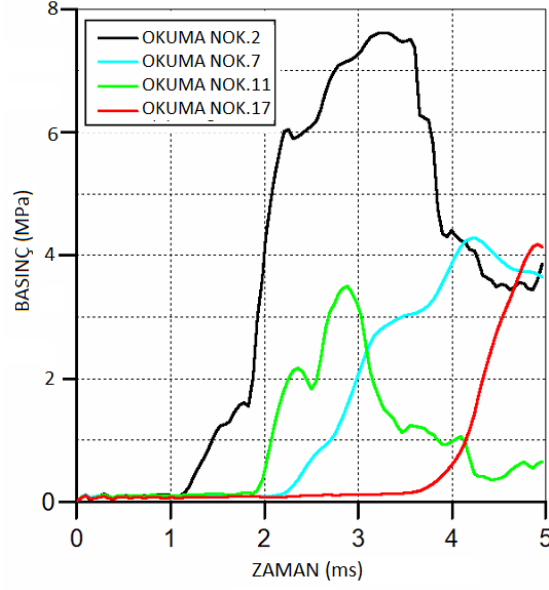
4.2.5.1. PZ-235D Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 18.57 MPa olduğu Şekil 4.45.'den görülmektedir.



Şekil 4.45. PZ-235D Basınç gerilmesi diyagramları

PZ-235D grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 2, 7, 11, 17'de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 2, 7, 11, 17 için basınç zaman grafiği Şekil 4.46.'da tüm okuma noktalarındaki değerler Çizelge 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.46. PZ-235D 2, 7, 11, 17 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

Çizelge 4.15. PZ-235D için okuma noktalarındaki patlama basınçları

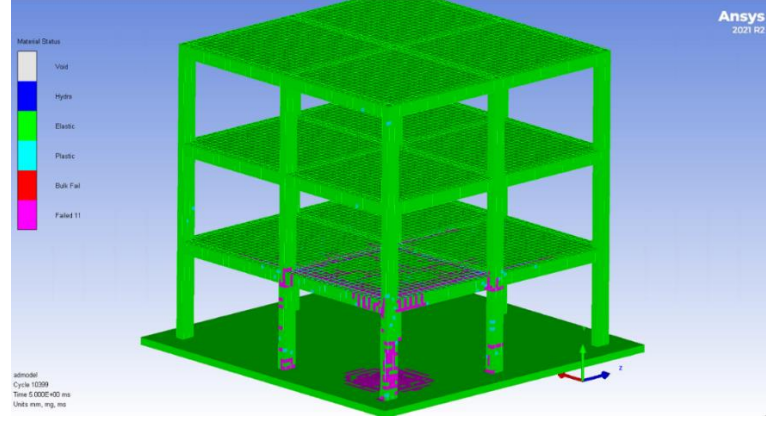
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	2.25	14	0.612
2	7.62	15	0.523
3	0.342	16	3.25
4	1.38	17	4.18
5	1.56	18	0.302
6	0.72	19	3.0
7	4.28	20	2.0
8	3.19	21	0.113
9	0.236	22	0.163
10	1.06	23	0.122
11	3.5	24	0.12
12	0.32	25	0.163
13	0.708	26	2.13

Tüm okuma noktaları incelendiğinde; 235 kg infilakı durumunda 2, 7, 8, 11, 16, 17, 19 nolu okuma noktalarında ağır hasar meydana gelmektedir.

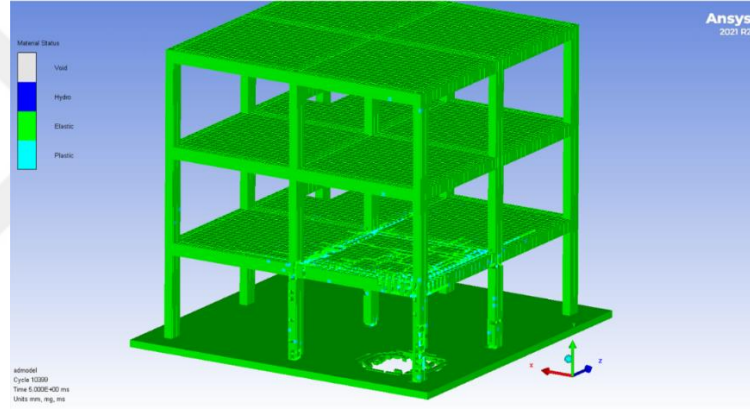
4.2.5.2. P1-235D Hasar Durumları

235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.47.'de gösterilmiştir. Zemin kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik

deformasyonlar gözlemlenmiştir. Patlama noktasından uzaklaştıkça elastik davranış gösteren yapısal elemanlar Şekil 4.48.'de görüldüğü gibidir.

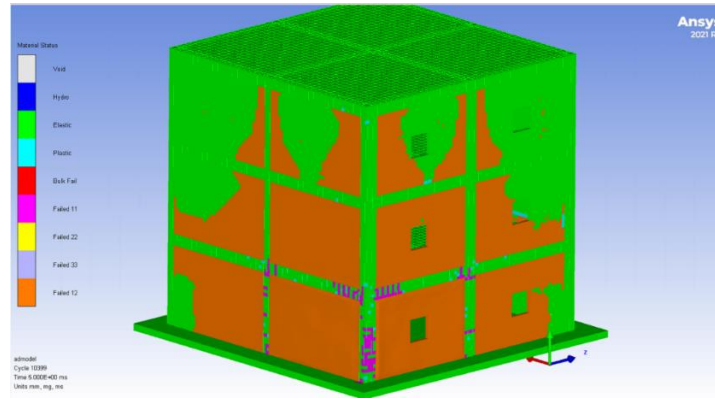


Şekil 4.47. PZ-235D Yapısal davranış kontur diyagramı



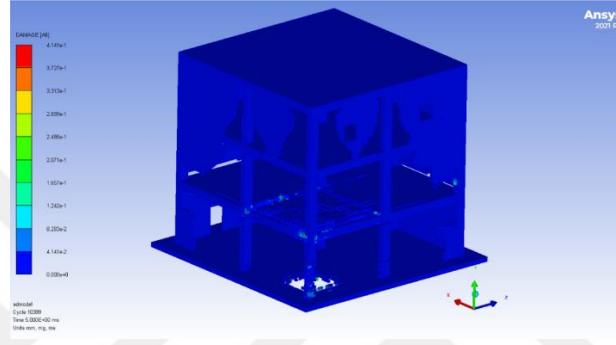
Şekil 4.48. PZ-235D Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramı Şekil 4.49.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.49. PZ-235D duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

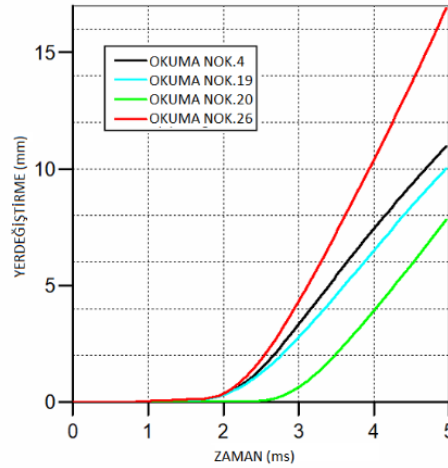
Şekil 4.49.'dan görüldüğü üzere patlama şiddetiyle zemin kat ve 1. kat duvarlarının patlayıcıya yakın tarafları, 2. kat duvarlarının ise şok dalgası etkileyen kısımları parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcıya yakın olan kolonlar, kirişler, temel ve kolon kiriş birleşim bölgeleri almıştır. Şok dalgasının kolonlar, kirişler, 1. kat döşemesi ve temel tarafından sönümlenmesinden dolayı 2. kat yapısal elemanları neredeyse hiç hasarlar almamış, yapısal olmayan elemanlar zarar görmüştür. Şekil 4.50.'de hasar kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.50. PZ-235D nihai hasar görüntüsü

4.2.5.3. PZ-235D Yerdeğiştirmeler

235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 4, 19, 20, 26 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.51.'de 4, 19, 20, 26 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar verilmiştir.



Şekil 4.51. PZ-235D 4, 19, 20, 26 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

PZ-235D için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.13.'de verilmiştir.

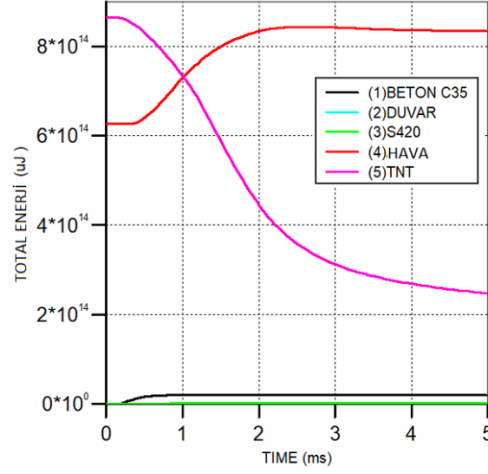
Çizelge 4.16 PZ-235D için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	3.16	14	2.14
2	1.74	15	0.187
3	0.0103	16	0.273
4	11	17	0.149
5	4.09	18	0.116
6	0.359	19	10
7	1.3	20	7.82
8	0.297	21	0.128
9	0.116	22	0.156
10	0.883	23	0.126
11	1.04	24	0.128
12	0.00944	25	0.1
13	4.62	26	16.9

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 4, 20, 26 üzerinde derin çatlaklar ve hasarlar olduğu gözlemlenmektedir. Ancak patlayıcı hasar durumlarını göz önünde bulundurduğumuzda patlamanın zemin katta gerçekleşmesinden dolayı yapısal elemanların (kolonlar ve kirişler) üzerinde ve birleşim yerlerinde kalıcı deformasyonlar gerçekleştiği ve buna bağlı olarak işlevini yitirdiği için yapı genelinde ağır hasar ya da parçalanma meydana gelmektedir.

4.2.5.4. P1-235D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmülendir. Yapı modellerinde bu sönmülemeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönmülenemezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönmülediği Şekil 4.52.'de, patlama sonrası total enerji değerleri Çizelge 4.17.'de gösterilmiştir.



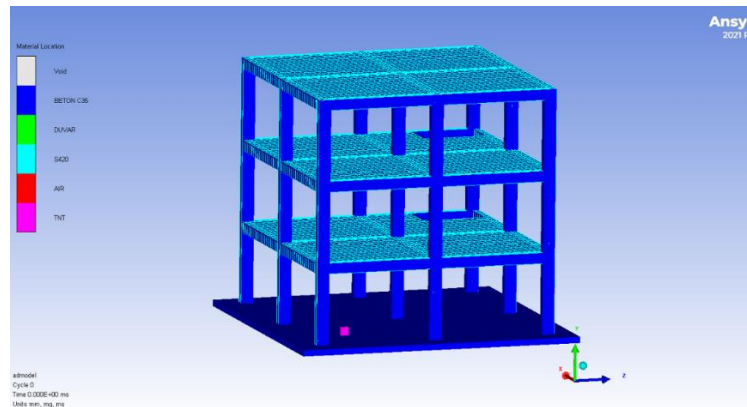
Şekil 4.52. PZ-235D Toplam Enerji-Zaman Grafiği

Çizelge 4.17. PZ-235D için patlama sonrası sönümlenen total enerji değeri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	8.70E+12
DUVAR	3.20E+11
DONATI	1.06E+11
HAVA	8.39E+14
TNT	2.28E+14

4.2.6. PZ-52D Patlama Senaryosu

Altıncı analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine dış köşe kolona 1 m uzaklıkta olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için 2 x 1 x 2 birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($2 \times 1 \times 2 = 4 \text{ br}^3$; yoğunluk = 1,63 gr/cm³ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi ≈ 235 kg) TNT ağırlığı 235 kg olarak uygulanmıştır.

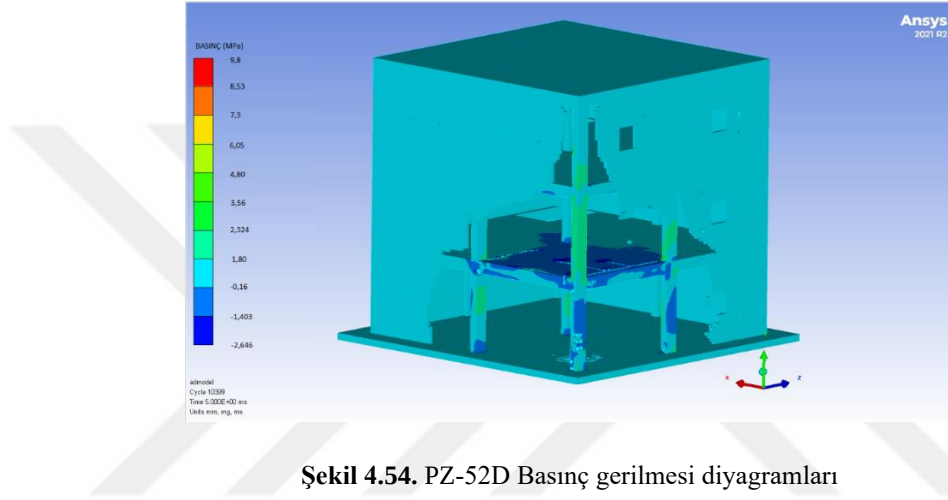


Şekil 4.53. PZ-52D patlayıcı (TNT) konumu

Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-235D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.53.'de verilmiştir.

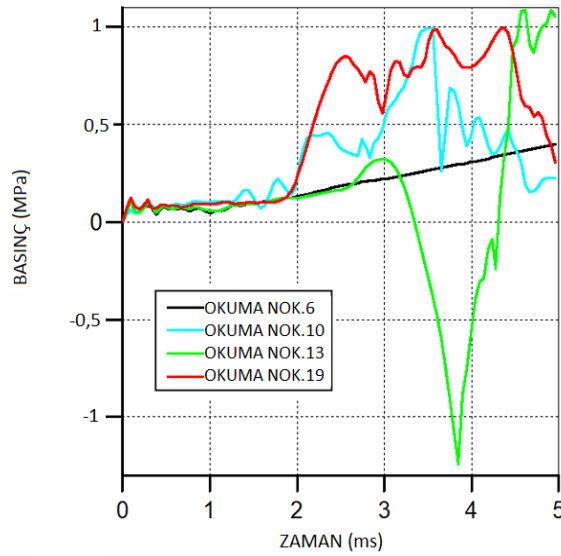
4.2.6.1. PZ-52D Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 9,8 MPa olduğu Şekil 4.54'de görülmektedir.



Şekil 4.54. PZ-52D Basınç gerilmesi diyagramları

PZ-52D grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 7, 10, 13, 19'de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 7, 10, 13, 19 için basınç zaman grafiği Şekil 4.55.'de verilmiştir.



Şekil 4.55. PZ-52D 7, 10, 13, 19 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

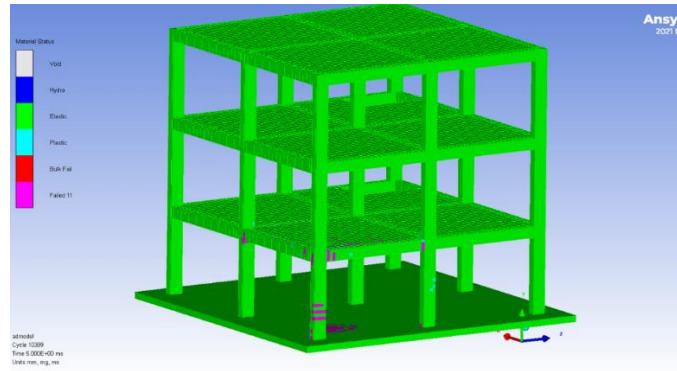
Çizelge 4.18. PZ-52D için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0.924	14	0.292
2	0.477	15	0.294
3	0.306	16	0.616
4	0.527	17	0.223
5	0.402	18	0.302
6	0.399	19	0.999
7	1,73	20	0.709
8	0.316	21	0.113
9	0.215	22	0.137
10	0.993	23	0.121
11	0.684	24	0.12
12	0.302	25	0.11
13	1.09	26	0.92

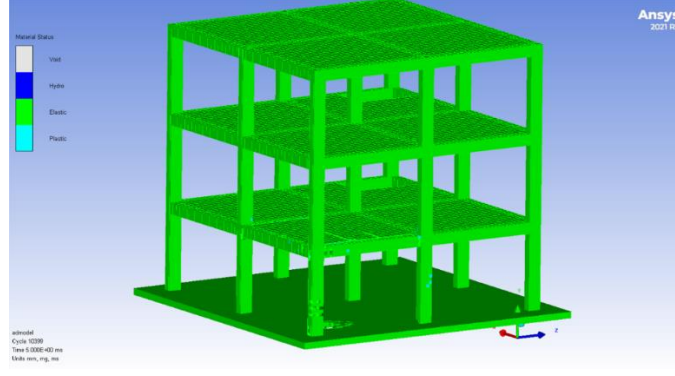
Çizelge 4.18.'den tüm okuma noktaları incelendiğinde; 52 kg infilakı durumunda 5, 13 nolu okuma noktalarında ağır hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

4.2.6.2. PZ-52D Hasar Durumları

52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.56.'da gösterilmiştir. PZ-52D analizinde patlama noktasına en yakın olan dış kolon en fazla kalıcı deformasyona uğrayan yapısal eleman olmuştur. Zemin kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir. Hasarı daha çok patlayıcı merkezine yakın olan kolon kiriş birleşim bölgelerinin aldığı tespit edilmiştir. Patlama noktasından uzaklaştıkça elastik davranış gösteren yapısal elemanlar Şekil 4.57.'de görüldüğü gibidir.

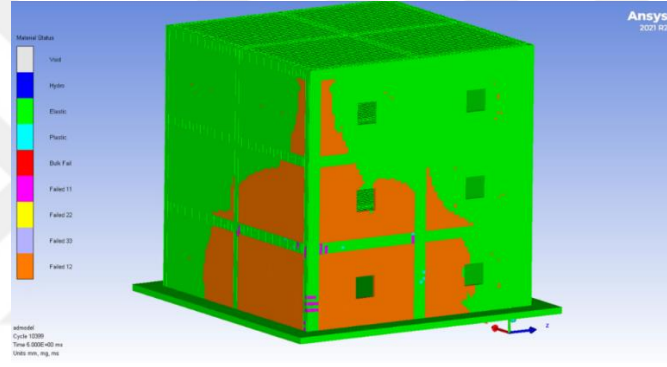


Şekil 4.56. PZ-52D Yapısal davranış kontur diyagramı



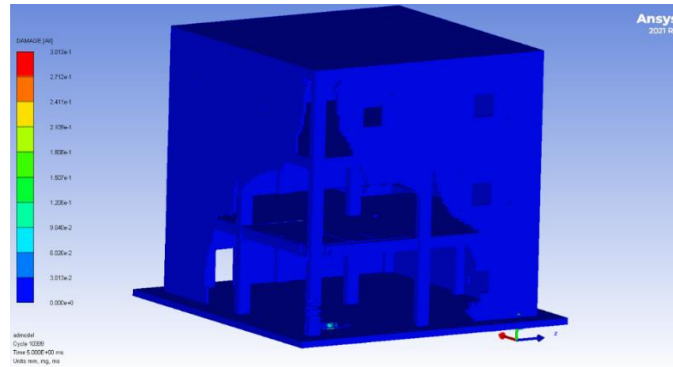
Şekil 4.57. PZ-52D Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

52 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramı Şekil 4.58.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.58. PZ-52D duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

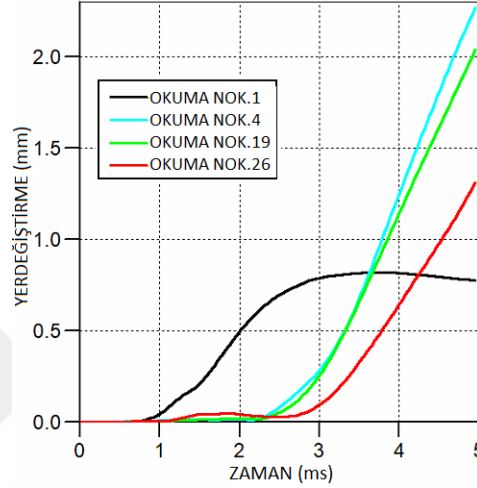
Şekil 4.58.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle patlama noktasına yakın olan duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcı katındaki yapısal elemanlar almıştır. Şekil 4.59.'da hasar kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.59. PZ-52D nihai hasar görüntüsü

4.2.6.3. P1-52D Yerdeğiştirmeler

52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 1, 4, 19, 26 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. şekil 4.59.'da 1, 4, 19, 26 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar verilmiştir.



şekil 4.60. PZ-52D 1, 4, 19, 26 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

PZ-52D için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.19.'da verilmiştir.

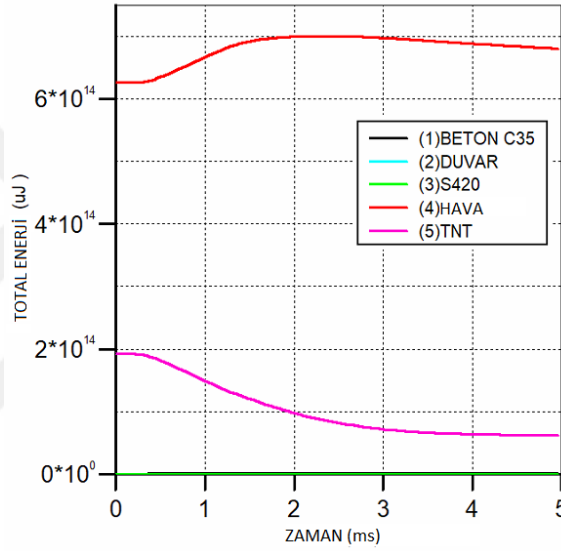
Çizelge 4.19. P1-52D için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.0663	14	0.218
2	0.055	15	0.0745
3	0.0127	16	0.262
4	0.549	17	0.111
5	0.5	18	0.116
6	0.11	19	3.98
7	2.5	20	2.28
8	0.422	21	0.123
9	0.124	22	1.67
10	0.0219	23	0.498
11	0.0203	24	0.129
12	0.0126	25	0.108
13	0.629	26	1.14

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları üzerinde yüzey çatlakları oluştuğu gözlemlenmektedir.

4.2.6.4. P1-52D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlenmeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönümlenmezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönümlediği Şekil 4.61.'de ve Çizelge 4.20.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.61. PZ-52D Toplam Enerji-Zaman Grafiği

Çizelge 4.20. PZ-52D için patlama sonrası ortaya çıkan ve sönümlenen enerji

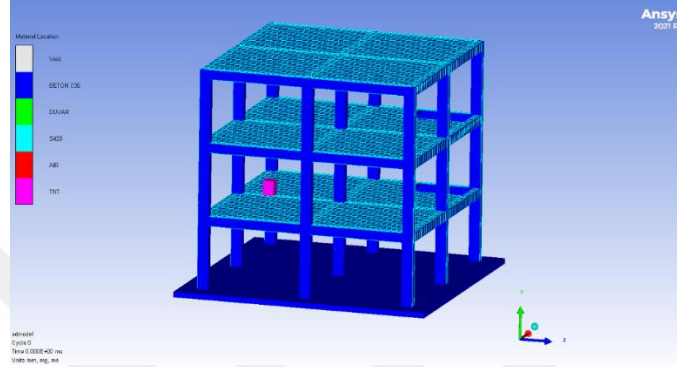
Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	7.72E+11
DUVAR	1.66E+10
DONATI	8.65E+09
HAVA	6.80E+14
TNT	5.55E+13

4.2.7. P1-470AO Patlama Senaryosu

Yedinci analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisinde ilk açıklığın ortasında, dış orta kolona 2 m uzaklıkta olacak şekilde kiriş üzerine yerleştirilmiş patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele işlenmesi şu şekilde gerçekleşmiştir. Hava modelinde tanımlanmış olduğumuz mesh

aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin, patlayıcı yoğunluğunun çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 4 x 3 birim mesh olarak yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200mm hesabından TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak hesaplanmıştır.

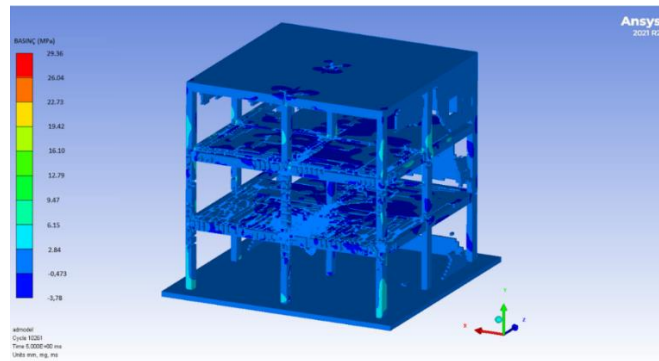
Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-470AO numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) konumu Şekil 4.62’de verilmiştir.



Şekil 4.62. P1-470AO patlayıcı (TNT) konumu

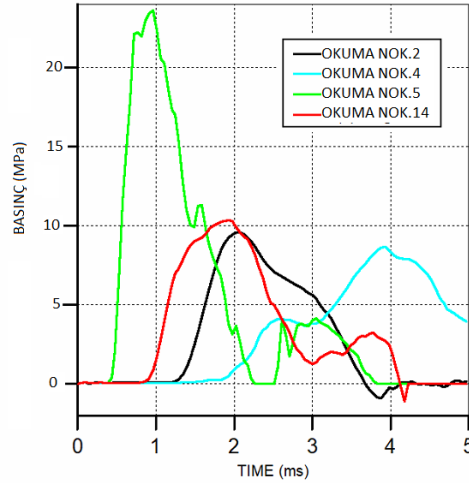
4.2.7.1. P1-470AO Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 17.23 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.63. P1-470AO Basınç gerilmesi diyagramları

P1-470AO grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 2, 4, 5, 14’de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 2, 4, 5, 14 için basınç zaman grafiği Şekil 4.64.’de verilmiştir.



Şekil 4.64. P1-470AO 2, 4, 5, 14 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

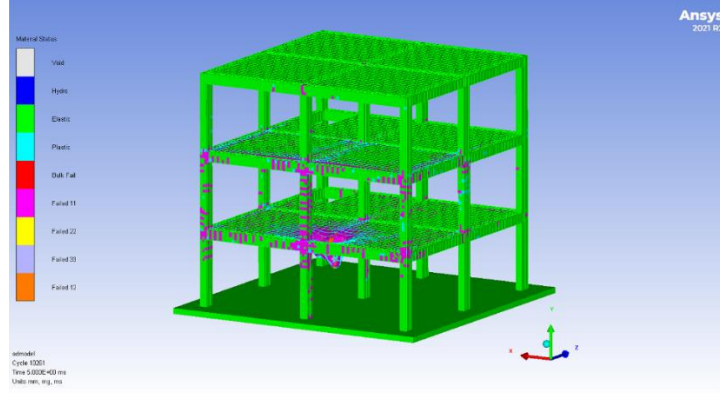
Çizelge 4.21. P1-470AO için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	2.16	14	10.3
2	9.59	15	4.79
3	2.02	16	1.79
4	8.68	17	1.38
5	23.6	18	1.19
6	5.02	19	3.75
7	3.78	20	1.64
8	1.54	21	0.294
9	2.2	22	2.52
10	1.38	23	3.78
11	4.56	24	0.227
12	1.24	25	2.18
13	2.53	26	1.02

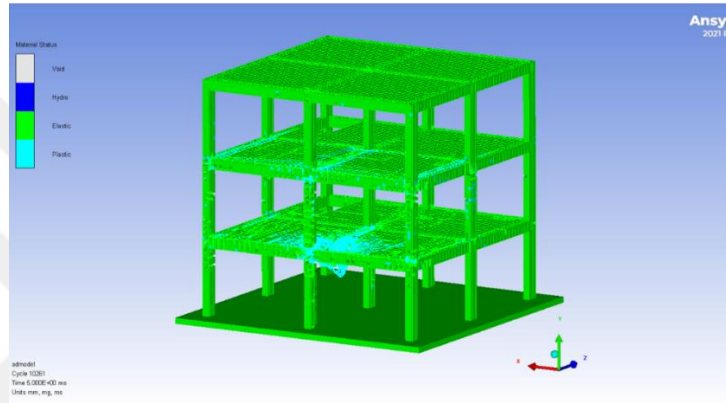
Çizelge 4.21.'den tüm okuma noktaları incelendiğinde; 470kg infilakı durumunda 2, 4, 5, 6, 7, 11, 14, 15, 19, 23 nolu okuma noktalarında kısmi hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

4.2.7.2. P1-470AO Hasar Durumları

470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.65.'de gösterilmiştir. 1. Kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir. Patlama noktasından uzaklaştıkça elastik davranış gösteren yapısal elemanlar Şekil 4.66.'da görüldüğü gibidir.

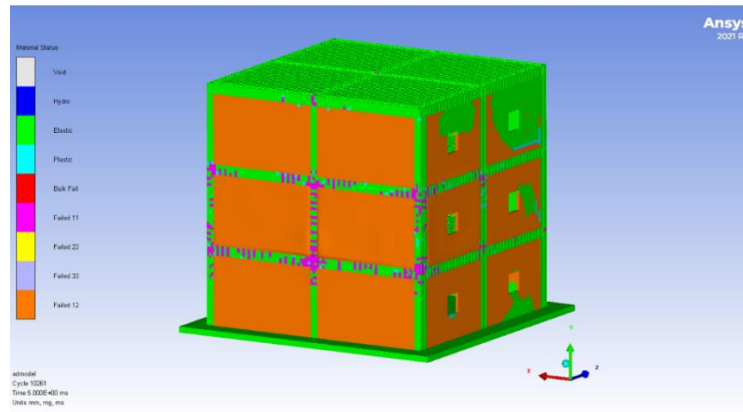


Şekil 4.65. P1-470AO Yapısal davranış kontur diyagramı



Şekil 4.66. P1-470AO Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

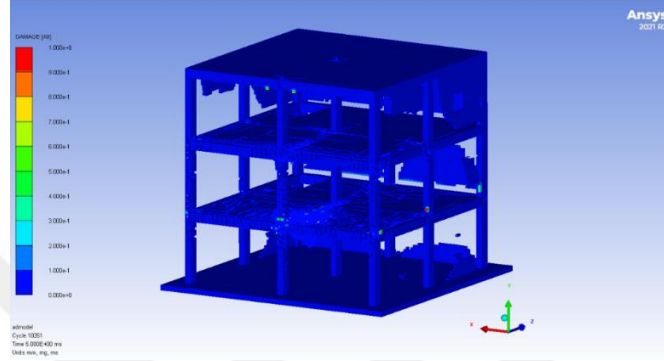
470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramları Şekil 4.67.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.67. P1-470AO duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şekil 4.67.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle tüm duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. P1-470AO analizinde hasar patlayıcının üzerinde bulunduğu

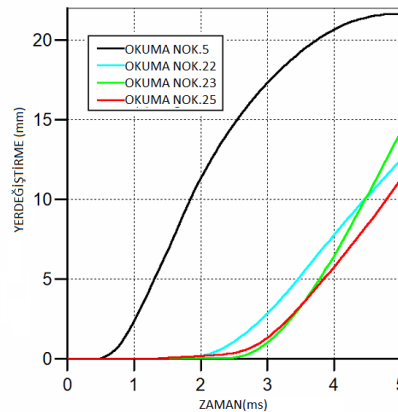
kiriş, döşeme ve kolon üst başlığında meydana gelmiştir. şok dalgasının ilk temas yüzeyi olan bu elemanlar tamamen işlevini yitirmiş ve bina için tehdit oluşturmaktadır. 1. katta gerçekteşen patlamada zemin kat ve 1. Kat yapısal elemanları ağır hasar almıştır. şok dalgasının 1. kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı temel kolon birleşimi ve son kat yapısal elemanları elastik hasarlar almıştır. şekil 4.68.'de hasar kontur diyagramı verilmiştir.



şekil 4.68. P1-470AO nihai hasar görüntüsü

4.2.7.3. P1-470AO Yerdeğiştirmeler

470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 5, 22, 23, 25 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. şekil 4.69.'da 5, 22, 23, 25 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar verilmiştir.



şekil 4.69. P1-470AO 5, 22, 23, 25 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

P1-470AO için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.22.'da verilmiştir.

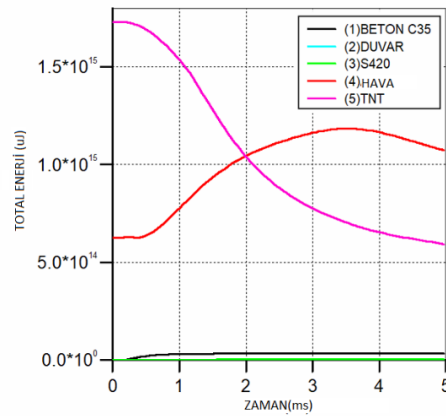
Çizelge 4.22. P1-470AO için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.156	14	2.63
2	0.659	15	1.3
3	0.148	16	5.19
4	3.71	17	2.32
5	21.6	18	0.103
6	4.18	19	8.13
7	10.1	20	8.31
8	6.74	21	0.925
9	8.7	22	12.3
10	0.0349	23	13.9
11	0.229	24	0.348
12	0.0761	25	11.1
13	1.15	26	2.65

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 5, 8, 9, 16, 19, 20, 22, 23 üzerinde ağır hasar olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.7.4. P1-470AO Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönmölemmezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönmölediği Şekil 4.70.'de, patlama sonrası total enerji değerleri Çizelge 4.23.'de gösterilmiştir.



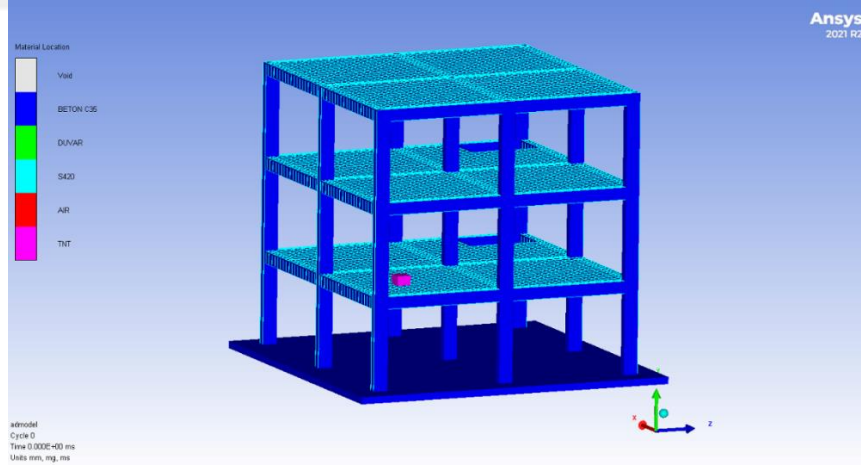
Şekil 4.70. P1-470AO Toplam Enerji-Zaman Grafiği

Çizelge 4.23. P1-470AO için patlama sonrası sönmölenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	3.30E+13
DUVAR	1.52E+12
DONATI	3.489E+12
HAVA	1.07E+15
TNT	5.91E+14

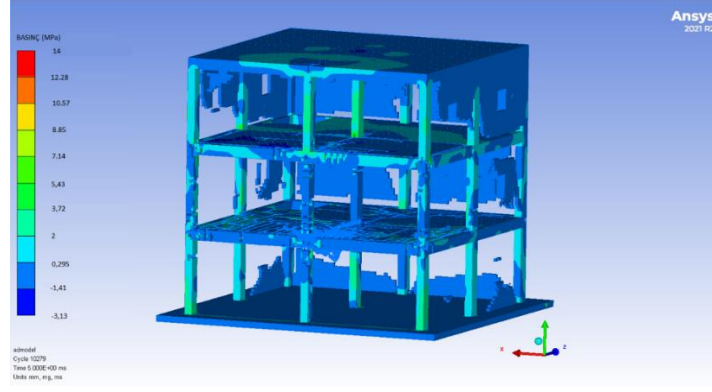
4.2.8. P1-235D Patlama Senaryosu

Sekizinci analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine ilk açıklığın ortasında, dış orta kolona 2m uzaklıkta olacak şekilde kiriş üzerine yerleştirilmiş patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin, patlayıcı yoğunluğunun çarpılmasıyla elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 2 x 3 birim mesh olarak yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 18br^3$; yoğunluk = 1,63gr/cm³ ve birim mesh = 200mm hesabından TNT kütlesi ≈ 235 kg) TNT ağırlığı 235 kg olarak hesaplanmıştır. Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-235AO numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.71.'de verilmiştir.

**Şekil 4.71.** P1-235AO patlayıcı (TNT) konumu

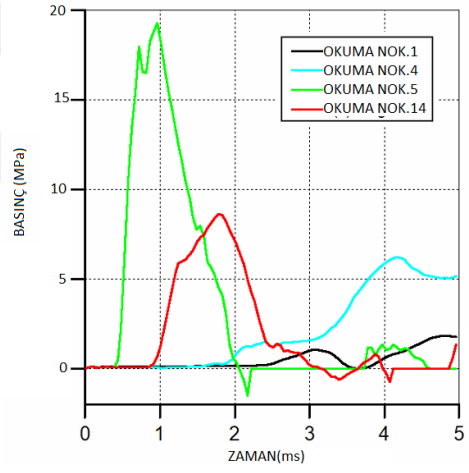
4.2.8.1. P1-235AO Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 14 MPa olduğu görölmüştür. Basınç gerilmesi diyagramları P1-235AO analizi için Şekil 4.72.'de verilmiştir.



Şekil 4.72. P1-235AO Basınç gerilmesi diyagramları

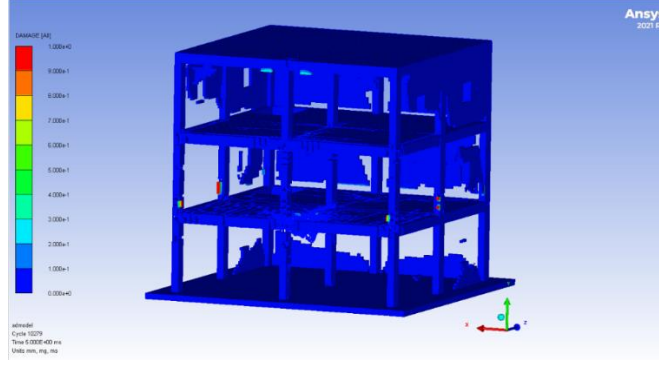
P1-235AO grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 2, 4, 5, 14’de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 2, 4, 5, 14 için basınç zaman grafiği Şekil 4.73.’de verilmiştir.



Şekil 4.73. P1-235AO 2, 4, 5, 14 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

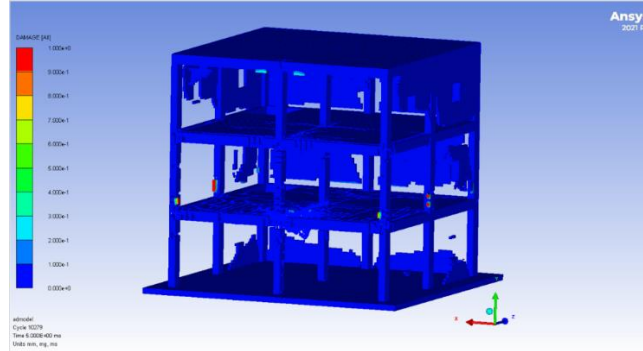
Çizelge 4.24. P1-235AO için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	1.82	14	8.1
2	7.19	15	2.15
3	1.58	16	0.471
4	6.21	17	1.46
5	19.2	18	0.747
6	3.56	19	3.05
7	2.05	20	1.01
8	0.956	21	0.303
9	1.25	22	1.77
10	1.04	23	1.32
11	3.34	24	0.171
12	0.682	25	1.64
13	2.13	26	0.745



Şekil 4.76. P1-235AO duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

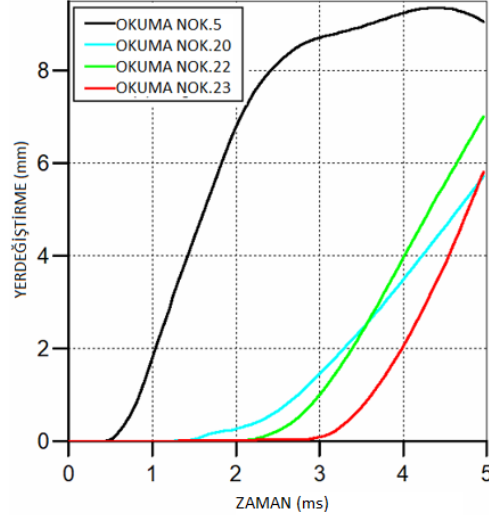
Şekil 4.75.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle tüm duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcıya yakın olan yapısal elemanlar almıştır. P1-235AO analizinde hasar patlayıcının üzerinde bulunduğu kiriş, döşeme ve kolon üst başlığında meydana gelmiştir. Şok dalgasının ilk temas yüzeyi olan bu elemanlar tamamen işlevini yitirmiş ve bina için tehdit oluşturmaktadır. 1. katta gerçekleşen patlamada zemin kat ve 1. Kat yapısal elemanları ağır hasar almıştır. Şok dalgasının 1. kat yapısal elemanları tarafından sönmelenmesinden dolayı temel kolon birleşimi ve son kat yapısal elemanları elastik hasarlar almıştır. Şekil 4.77.'de nihai hasar kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.77. P1-235AO nihai hasar görüntüsü

4.2.8.3. P1-235AO Yerdeğiştirmeler

235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. 5, 20, 22, 23 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.78.'de 5, 20, 22, 23 nolu okuma noktalarında meydana gelen yerdeğiştirmeler Şekil 4.78.'de verilmiştir.



Şekil 4.78. P1-235AO 5, 20, 22, 23 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

P1-235AO için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.25.'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. P1-235AO için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

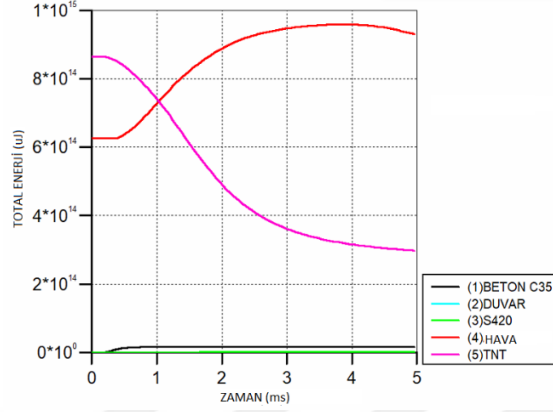
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.112	14	1.73
2	0.72	15	0.855
3	0.0933	16	0.529
4	2.36	17	1.37
5	9.35	18	0.105
6	2.75	19	5.05
7	3.03	20	5.72
8	3.4	21	0.636
9	2.43	22	7
10	0.0255	23	5.81
11	0.18	24	0.212
12	0.0558	25	5.67
13	0.745	26	1.98

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 5, 19, 20, 23, 25 üzerinde ağır hasarlar olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.8.4. P1-235D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmülmektedir. Yapı modellerinde bu sönmülemeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı

elemanları tarafından sönümlenemezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönümlendiği Şekil 4.79.'da, patlama sonrası total enerji değerleri Çizelge 4.26.'da gösterilmiştir.



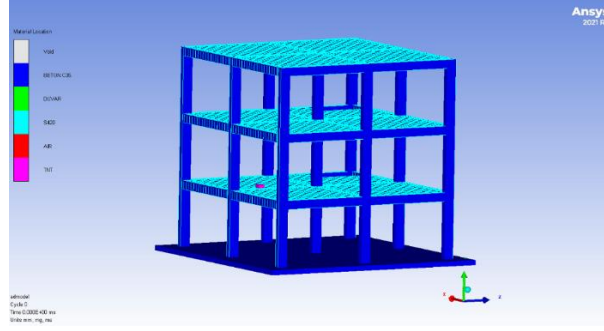
Şekil 4.79. P1-235AO Toplam Enerji-Zaman Grafiği

Çizelge 4.26. P1-235AO için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	1.669E+13
DUVAR	4.16E+11
DONATI	1.979E+12
HAVA	9.301E+14
TNT	2.982E+14

4.2.9. P1-52AO Patlama Senaryosu

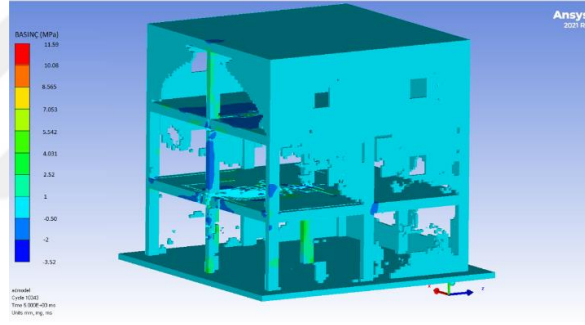
Dokuzuncu analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine ilk açıklığın ortasında, dış orta kolona 2m uzaklıkta olacak şekilde kiriş üzerine yerleştirilmiş patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için hava modelinde tanımlamış olduğumuz mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin, patlayıcı yoğunluğu ile çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için $2 \times 1 \times 2$ birim mesh olarak yerleştirilerek ($2 \times 1 \times 2 = 4 \text{ birim}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200mm hesabından TNT kütlesi $\approx 52 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak hesaplanmıştır. Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. P1-52D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.80.'de verilmiştir.



Şekil 4.80. P1-52AO patlayıcı (TNT) konumu

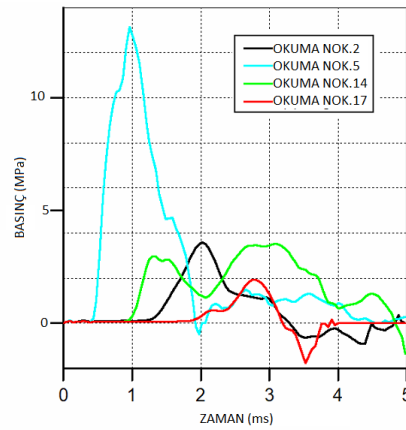
4.2.9.1. P1-52AO Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramı üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 11,59 MPa olduğu Şekil 4.81.'de görülmektedir.



Şekil 4.81. P1-52AO Basınç gerilmesi diyagramları

P1-52AO grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerleri Okuma noktası 2, 5, 14, 17'de çıktığı tespit edilmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.82.'de verilmiştir.



Şekil 4.82 P1-52AO 2, 5, 14, 17 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

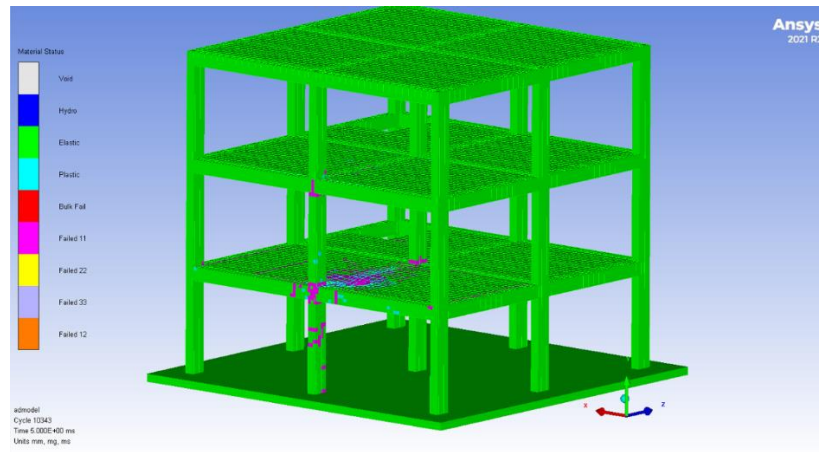
Çizelge 4.27. P1-52AO için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0.485	14	3.52
2	3.58	15	0.774
3	0.338	16	0.34
4	1.61	17	1.93
5	13.1	18	0.433
6	0.743	19	1.26
7	0.38	20	0.516
8	0.454	21	0.238
9	0.669	22	0.6
10	0.583	23	0.236
11	1.48	24	0.12
12	0.327	25	0.618
13	0.815	26	0.4

Çizelge 4.27.'den tüm okuma noktaları incelendiğinde; 52 kg infilakı durumunda 5, 14 nolu okuma noktalarında ağır hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

4.2.9.2. P1-52AO Hasar Durumları

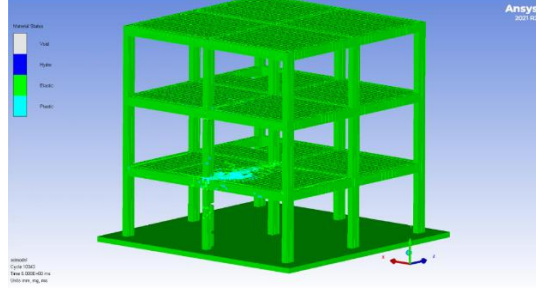
52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.83.'de gösterilmiştir. P1-52AO analizinde patlayıcının çevresindeki 6m çapındaki alan en fazla kalıcı deformasyona uğrayan yapısal eleman olmuştur.



Şekil 4.83. P1-52AO Yapısal davranış kontur diyagramı

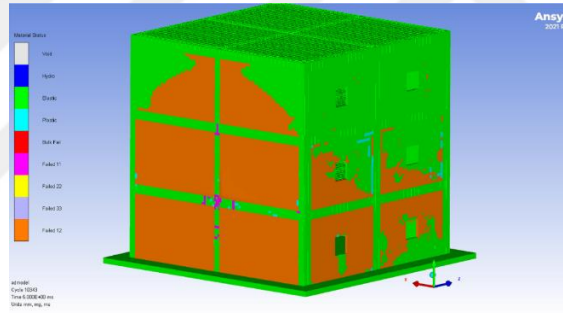
1. Kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir.

Patlama sonrası hasarı orta dış kolon, orta kiriş, döşeme ve kolon kiriş birleşim bölgesi almıştır. Patlama noktasından uzaklaştıkça yapısal elemanlarda elastik davranışın hakim olduğu Şekil 4.84.'de verilen elastik davranış diyagramından görülmektedir.



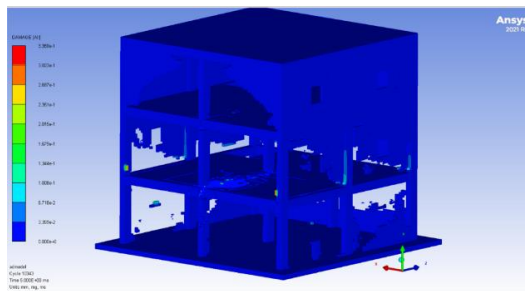
Şekil 4.84. P1-52AO Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

52 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramları Şekil 4.85.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.85. P1-52AO Duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

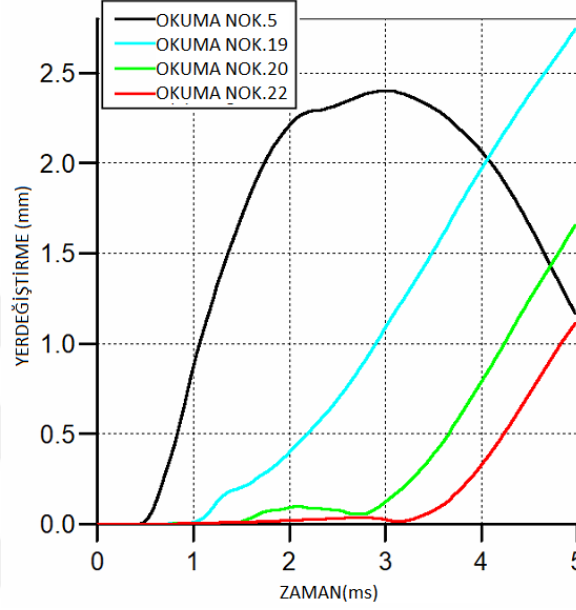
Şekil 4.86.'dan görüldüğü üzere patlama şiddetiyle patlama noktasına yakın olan duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcı katındaki yapısal elemanlar almıştır. Patlama şok dalgası beton yüzeylerle ve duvarlarla etkileşime girdiğinde bu yüzeyler parçalanmaktadır.



Şekil 4.86. P1-52AO nihai hasar görüntüsü

4.2.9.3. P1-52AO Yerdeğiştirmeler

52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 5, 19, 20, 22 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. 5, 19, 20, 22 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar şekil 4.87.'de verilmiştir.



şekil 4.87. P1-52AO 5, 19, 20, 22 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

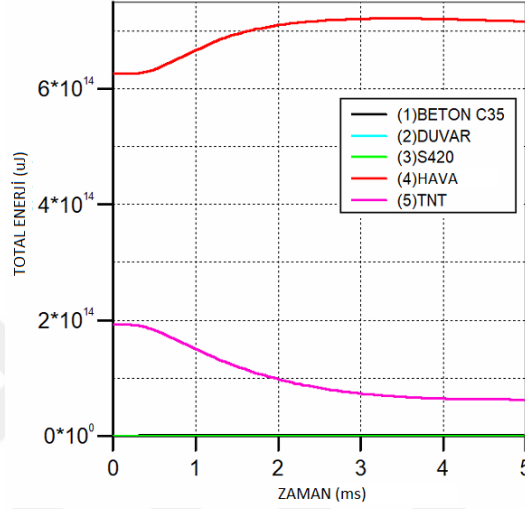
Çizelge 4.28. P1-52AO için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.0607	14	0.584
2	0.224	15	0.119
3	0.0533	16	0.136
4	0.55	17	0.326
5	2.4	18	0.113
6	0.33	19	2.74
7	0.129	20	1.66
8	0.51	21	0.216
9	0.129	22	1.11
10	0.0132	23	0.128
11	0.105	24	0.128
12	0.0262	25	0.725
13	0.148	26	0.988

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları Çizelge 4.28.'den incelendiğinde, okuma noktaları üzerinde yüzey çatlakları oluştuğu gözlemlenmektedir.

4.2.9.4. P1-52AO Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Yapı modellerinde bu sönümlenmeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Toplam enerji – zaman grafiği Şekil 4.88.’de verilmiştir. Sönümlenenmiş total enerji değerleri Çizelge 4.29.’da verilmiştir.



Şekil 4.88. P1-52AO Toplam Enerji-Zaman Grafiği

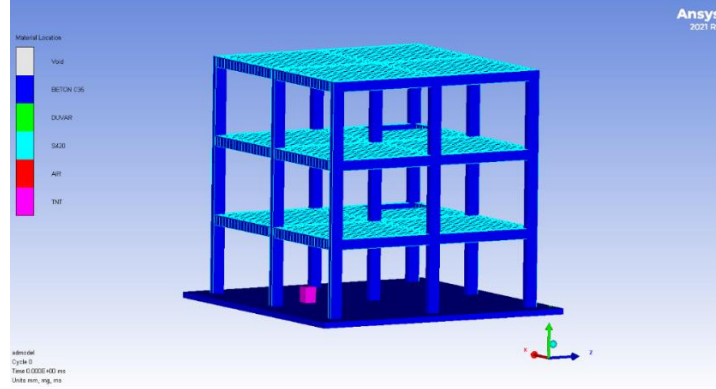
Çizelge 4.29. P1-52AO için patlama sonrası ortaya çıkan ve sönümlenen enerji

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	1.43E+12
DUVAR	2.06E+10
DONATI	1.59E+11
HAVA	7.16E+14
TNT	6.29E+13

4.2.10. PZ-470AO Patlama Senaryosu

Onuncu analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine ilk açıklığın ortasında, dış orta kolona 2m uzaklıkta olacak şekilde kiriş üzerine yerleştirilmiş patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin, patlayıcı yoğunluğu ile çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 4 x 3 birim mesh olarak yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200mm hesabından TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak hesaplanmıştır. Analizler için 5 milisaniye patlama süresi

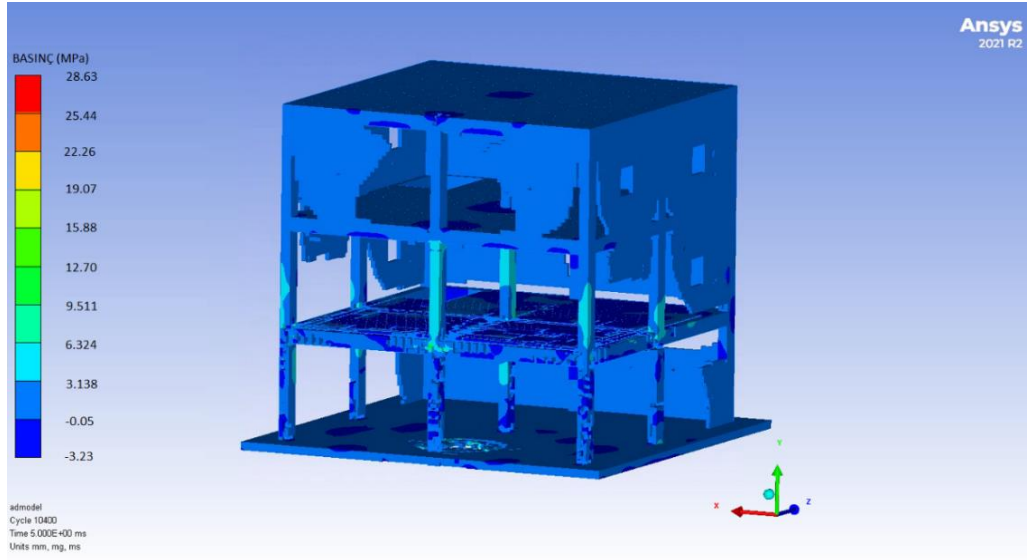
ayarlanmıştır. PZ-470AO numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) konumu Şekil 4.89.'da verilmiştir.



Şekil 4.89. PZ-470AO patlayıcı (TNT) konumu

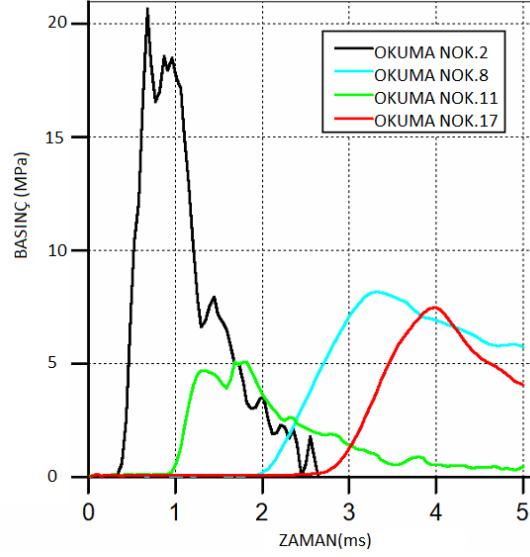
4.2.10.1. PZ-470AO Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin Şekil 4.90.'dan 28.63 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.89. PZ-470AO Basınç gerilmesi diyagramları

PZ-470AO grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 2, 8, 11, 17'de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 2, 8, 11, 17 için basınç zaman grafiği Şekil 4.91.'de verilmiştir.



Şekil 4.91. PZ-470AO 2, 8, 11, 17 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

Çizelge 4.30. PZ-470AO için okuma noktalarındaki patlama basınçları

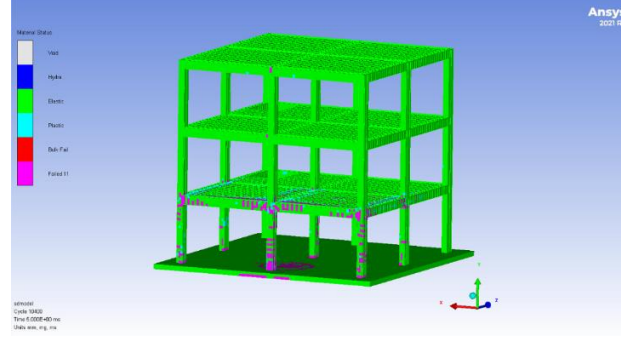
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	1.6	14	1.09
2	20.7	15	0.756
3	1.83	16	2.23
4	1.59	17	7.48
5	1.49	18	0.313
6	1.42	19	2.65
7	2.15	20	2.65
8	8.17	21	0.113
9	2.25	22	0.149
10	4.02	23	0.136
11	5.08	24	0.12
12	1.54	25	1.07
13	3.08	26	2.13

Çizelge 4.30.'dan tüm okuma noktaları incelendiğinde; 470kg TNT infilakı durumunda 2, 8, 10, 11, 13, 17 nolu okuma noktalarında kısmi hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

4.2.10.2. PZ-470AO Hasar Durumları

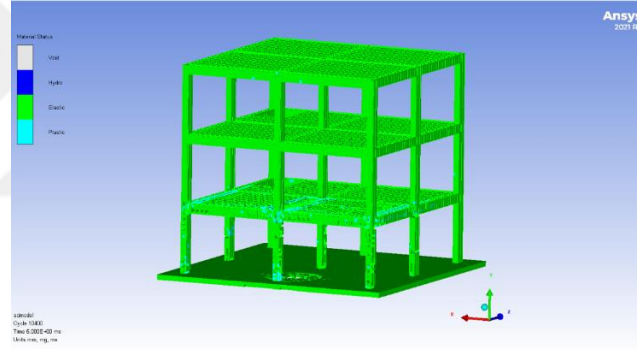
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.92.'de

gösterilmiştir. Zemin kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir.



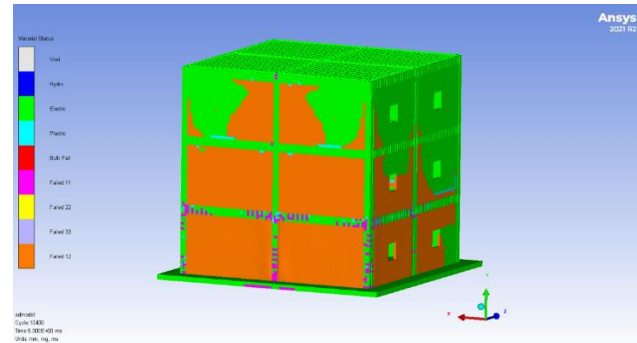
Şekil 4.92. PZ-470AO Yapısal davranış kontur diyagramı

Patlama noktasından uzaklaştıkça elastik davranış gösteren yapısal elemanlar Şekil 4.93.'de görüldüğü gibidir.



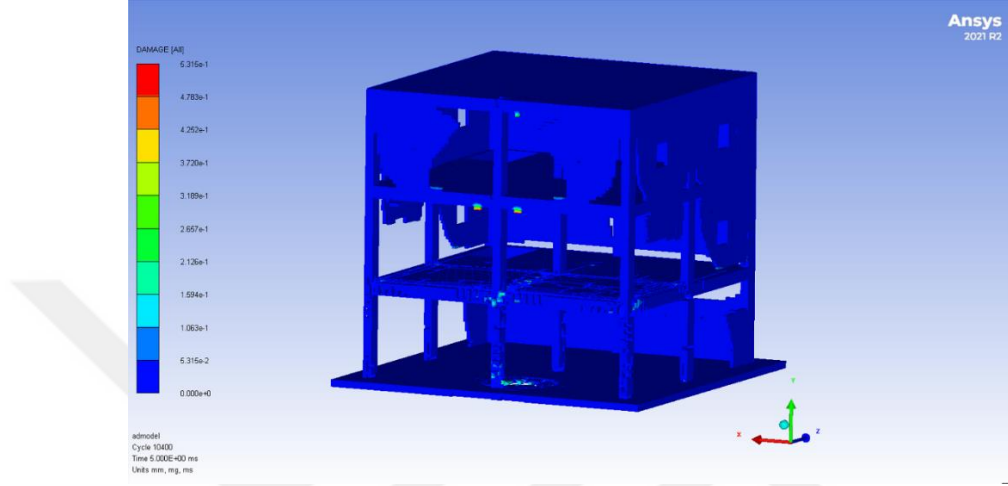
Şekil 4.93. PZ-470AO Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramları Şekil 4.94.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.94. PZ-470AO duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

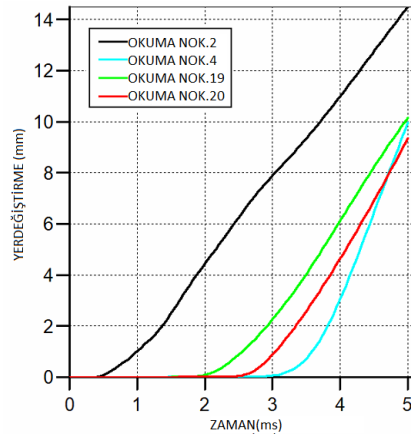
Şekil 4.92.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle tüm duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. PZ-470AO analizinde hasar patlayıcının üzerinde bulunduğu kiriş, döşeme ve kolon üst başlığında meydana gelmiştir. Şok dalgasının ilk temas yüzeyi olan bu elemanlar tamamen işlevini yitirmiş ve bina için tehdit oluşturmaktadır. Şekil 4.95.'de nihai hasar kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.95. PZ-470AO nihai hasar görüntüsü

4.2.10.3. PZ-470AO Yerdeğiştirmeler

470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 2, 4, 19, 20 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.96.'da 2, 4, 19, 20 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar verilmiştir.



Şekil 4.95. PZ-470AO 2, 4, 19, 20 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

PZ-470AO için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.31.'de verilmiştir.

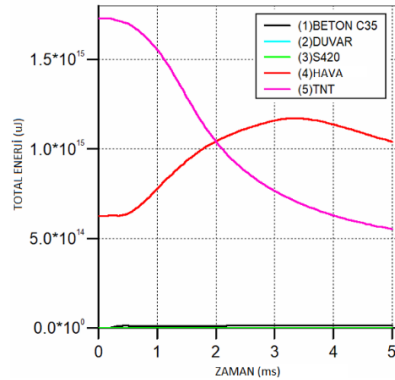
Çizelge 4.31. PZ-470AO için okuma noktalarındaki yerdeğiştirme değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	5.49	14	2.59
2	14.5	15	5.24
3	2.55	16	0.0942
4	9.95	17	1.06
5	7.75	18	0.118
6	9.09	19	10.1
7	0.215	20	9.34
8	1.75	21	0.295
9	0.106	22	0.199
10	0.719	23	0.205
11	2.21	24	0.131
12	1.48	25	1.86
13	5.51	26	5.07

Zemin katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 1, 2, 4, 5, 6, 13, 15, 20, 26 üzerinde ağır hasarlar olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.10.4. PZ-470AO Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönümlenemezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönümlediği Şekil 4.97.'de, patlama sonrası sönümlenmiş total enerji değerleri Çizelge 4.32.'de verilmiştir.



Şekil 4.97. PZ-470AO Toplam Enerji-Zaman Grafiği

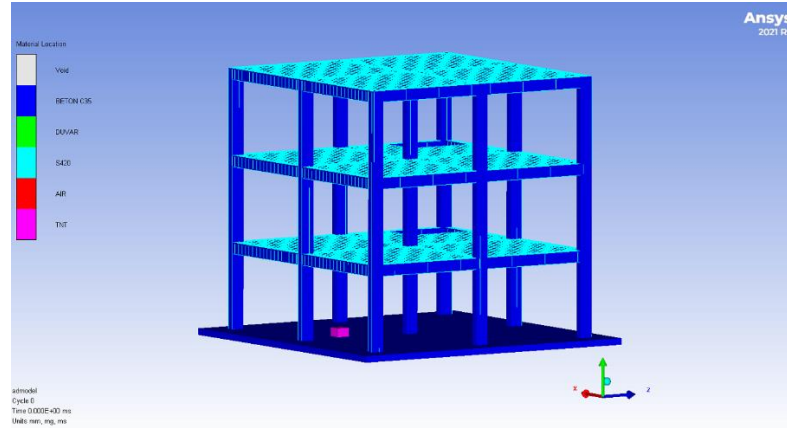
Çizelge 4.32. PZ-470AO için patlama sonrası sönmölenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	1.426E+13
DUVAR	1.016E+12
DONATI	2.926E+12
HAVA	1.04E+15
TNT	5.50E+14

4.2.11. PZ-235AO Patlama Senaryosu

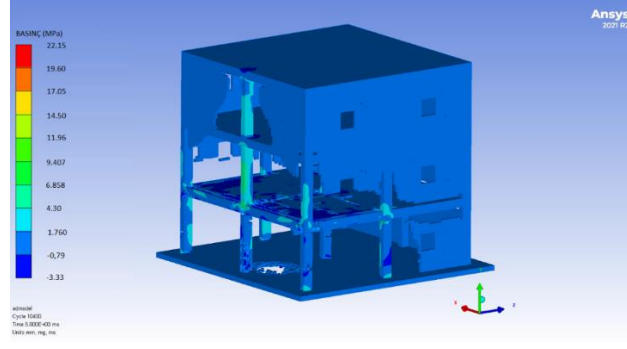
On birinci analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine ilk açıklığın ortasında, dış orta kolona 2m uzaklıkta olacak şekilde kiriş üzerine yerleştirilmiş patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için, hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin patlayıcı yoğunluğu ile çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir. Sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 2 x 3 birim mesh olarak yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 18\text{br}^3$; yoğunluk = $1,63\text{gr}/\text{cm}^3$ ve birim mesh = 200mm hesabından TNT kütlesi $\approx 235\text{ kg}$) TNT ağırlığı 235 kg olarak hesaplanmıştır.

Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. PZ-235AO numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) şekil 4.98.'de verilmiştir.

**şekil 4.98.** PZ-235AO patlayıcı (TNT) konumu

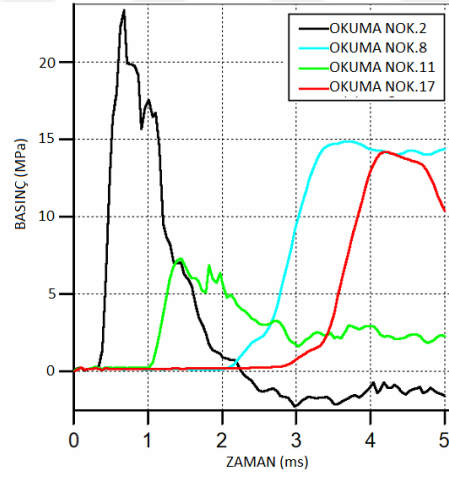
4.2.11.1. PZ-235AO Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin şekil 4.99.'dan 22,15 MPa olduğu görölmüştür.



Şekil 4.99. PZ-235AO Basınç gerilmesi diyagramları

PZ-235AO grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 2, 8, 11, 17’de en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 2, 8, 11, 17 için basınç zaman grafiği Şekil 4.100.’de verilmiştir.



Şekil 4.100. PZ-235AO 2, 8, 11, 17 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

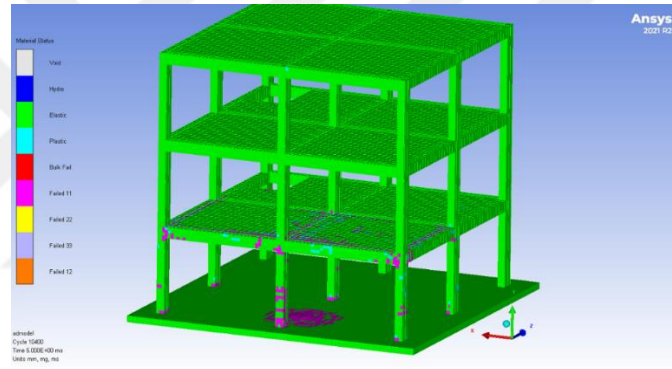
Çizelge 4.33. PZ-235AO için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	1.46	14	0.71
2	9.35	15	0.5
3	1.64	16	0.232
4	0.752	17	5.67
5	1.04	18	0.307
6	0.672	19	1.77
7	1.4	20	1.26
8	5.95	21	0.113
9	1.05	22	0.157
10	2.65	23	0.131
11	2.91	24	0.12
12	1.48	25	0.879
13	0.298	26	1.57

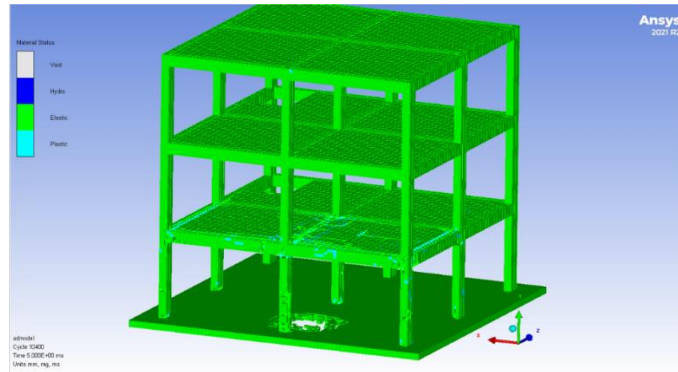
Çizelge 4.33.'den tüm okuma noktaları incelendiğinde; 235 kg infilakı durumunda 2, 8, 11, 17 nolu okuma noktalarında kısmi hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

4.2.11.2. PZ-235D Hasar Durumları

235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.101.'de gösterilmiştir. Zemin kat kolon, kiriş ve döşeme tablası üzerinde kırılmalar ve plastik deformasyonlar gözlemlenmiştir. Patlama noktasından uzaklaştıkça yapısal elemanlarda elastik davranışın daha hakim olduğu Şekil 4.102.'de verilen elastik davranış diyagramından görülmektedir.

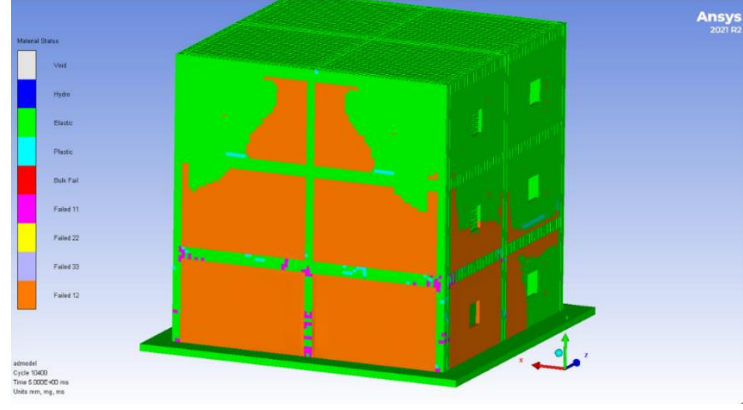


Şekil 4.101. PZ-235AO Yapısal davranış kontur diyagramı



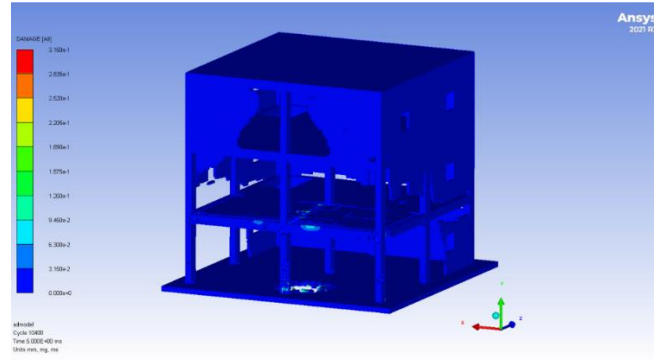
Şekil 4.102. PZ-235AO Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramları Şekil 4.103.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.103. PZ-235AO duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şekil 4.103.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle tüm duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcıya yakın olan yapısal elemanlar almıştır. PZ-235AO analizinde hasar patlayıcının üzerinde bulunduğu temelde meydana gelmiştir. Şok dalgasının ilk temas yüzeyi olan orta kolon ve temel birleşim bölgesi, 1. kat orta kirişi, döşeme ve kolon kiriş birleşim bölgeleri işlevini yitirmiş ve bina için tehdit oluşturmaktadır. Zemin katta gerçekleşen patlamada zemin kat ve 1. Kat yapısal elemanları ağır hasar almıştır. Şok dalgasının 1. kat yapısal elemanları tarafından sönmülenmesinden dolayı 2. kat ve son kat yapısal elemanları elastik hasarlar almıştır. Şekil 4.104.'de nihai hasar kontur diyagramı verilmiştir.

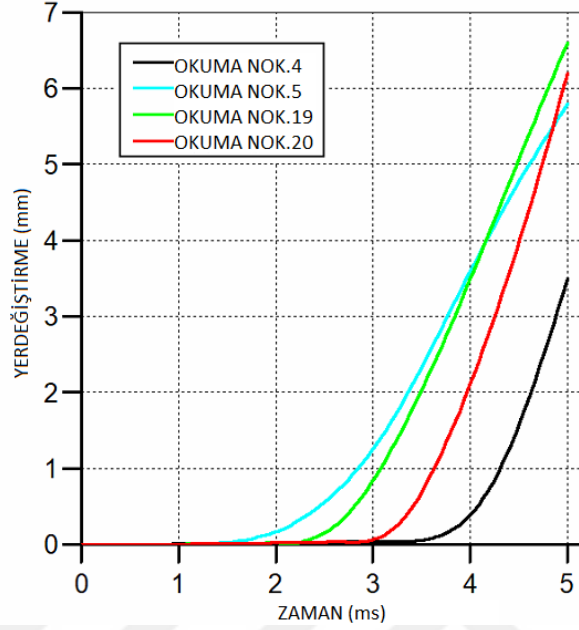


Şekil 4.103. PZ-235AO nihai hasar görüntüsü

4.2.11.3. PZ-235AO Yerdeğİştİrmeler

235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğİştİrmeler meydana gelmiştir. 4, 5, 19, 20 nolu okuma noktalarında en büyük

deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.104.'de 4, 5, 19, 20 nolu okuma noktalarında meydana gelen yerdeğiştirmeler verilmiştir.



Şekil 4.104. PZ-235AO 4, 5, 19, 20 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

PZ-235AO için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.34.'de verilmiştir.

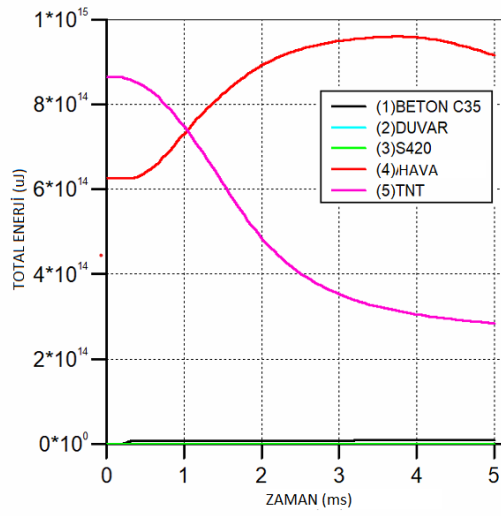
Çizelge 4.34. PZ-235AO için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	1.33	14	1.73
2	2.74	15	0.587
3	1.14	16	0.12
4	3.49	17	0.631
5	5.79	18	0.118
6	2.79	19	6.6
7	0.089	20	6.2
8	1.19	21	0.102
9	0.1	22	0.186
10	0.278	23	0.16
11	1.17	24	0.131
12	0.543	25	1.11
13	0.868	26	2.89

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları 4, 5, 19, 20 ağır hasar olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.11.4. PZ-235D Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönümlemezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönümlediği Şekil 4.105.'de, patlama sonrası sönümlenmiş tosl enerji değeri Çizelge 4.35.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.105. PZ-235AO Toplam Enerji-Zaman Grafiği

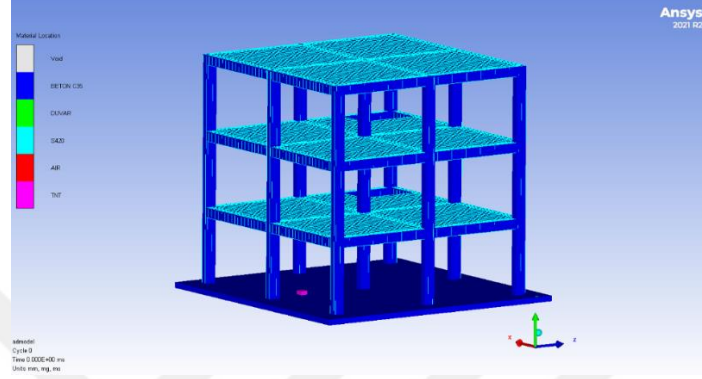
Çizelge 4.35. PZ-235AO için patlama sonrası sönümlenen total enerji değeri

Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	9.056E+12
DUVAR	2.654E+11
DONATI	1.15E+11
HAVA	9.155E+14
TNT	2.85E+14

4.2.12. PZ-52AO Patlama Senaryosu

On ikinci analizde, ANSYS AUTODYN yazılımında oluşturulan hava modeli içerisinde ilk açıklığın ortasında, dış orta kolona 2m uzaklıkta olacak şekilde kiriş üzerine yerleştirilmiş patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Patlayıcı maddenin modele tanımlanabilmesi için, hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, patlayıcı hacminin patlayıcı yoğunluğu ile çarpılmasıyla TNT kütlesi elde edilmiştir.

Sırasıyla x, y, z eksenleri için $2 \times 1 \times 2$ birim mesh olarak yerleştirilerek ($2 \times 1 \times 2 = 4\text{br}^3$; yoğunluk = $1,63\text{gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200mm hesabından TNT kütlesi $\approx 52\text{ kg}$) TNT ağırlığı 52 kg olarak hesaplanmıştır. Analizler için 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. PZ-52D numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı konumu (TNT) Şekil 4.106.'da görülmektedir.



Şekil 4.106. PZ-52AO patlayıcı (TNT) konumu

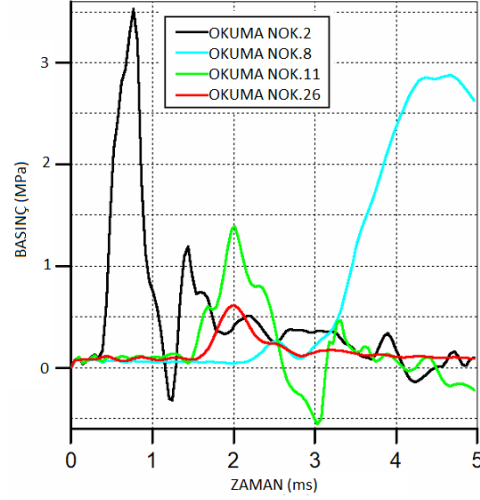
4.2.12.1. PZ-52AO Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin Şekil 4.107.'den $10,53\text{ MPa}$ olduğu görülmüştür.



Şekil 4.107. PZ-52AO Basınç gerilmesi diyagramları

PZ-52AO grafikleri incelendiğinde en yüksek basınç değerlerinin Okuma noktası 2, 8, 11, 26'da en yüksek değerler çıktığı tespit edilmiştir. Okuma noktası 2, 8, 11, 26 için basınç zaman grafiği Şekil 4.108.'de verilmiştir. Ayrıca seçilen 26 noktada oluşan basınç değerleri de Çizelge 4.36.' da gösterilmiştir.



Şekil 4.108. PZ-52AO 2, 8, 11, 26 okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

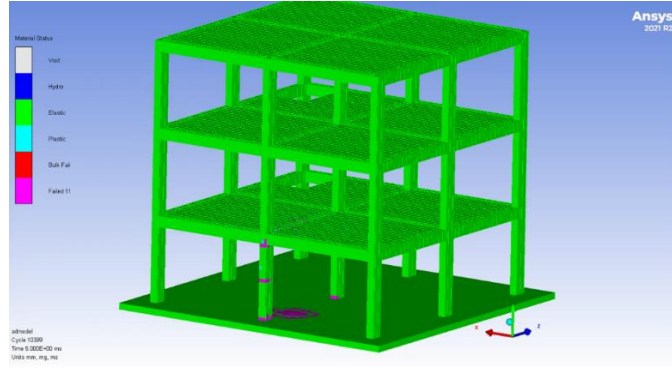
Çizelge 4.36. PZ-52AO için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0.609	14	0.396
2	3.53	15	0.247
3	0.425	16	0.221
4	0.419	17	1
5	0.518	18	0.302
6	0.39	19	0.526
7	0.237	20	0.119
8	2.88	21	0.113
9	0.221	22	0.135
10	0.401	23	0.121
11	1.38	24	0.12
12	0.331	25	0.275
13	0.312	26	0.613

Çizelge 4.36'dan tüm okuma noktaları incelendiğinde; 52 kg infilakı durumunda 2 nolu okuma noktalarında ağır hasar ve parçalanmalar meydana gelmektedir.

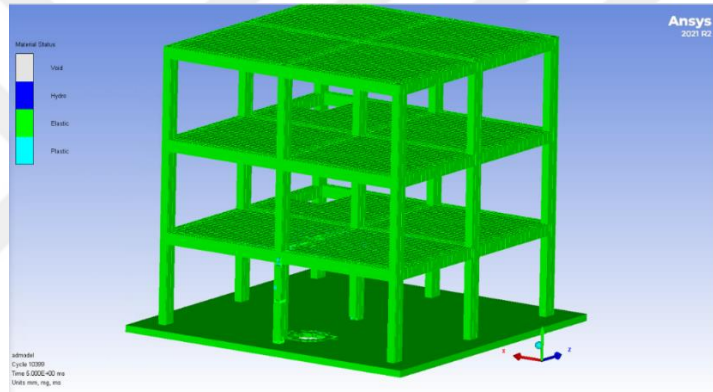
4.2.12.2. PZ-52AO Hasar Durumları

52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı ve yapı elemanlarının davranışlarında bazı değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.109.'da gösterilmiştir. PZ-52AO analizinde patlayıcının çevresindeki orta kolonlar, kiriş ve temel birleşim bölgelerinde işlevini yitirmiştir. Dış orta kolon, orta noktasında ve temelde kalıcı deformasyon meydana gelmiştir.



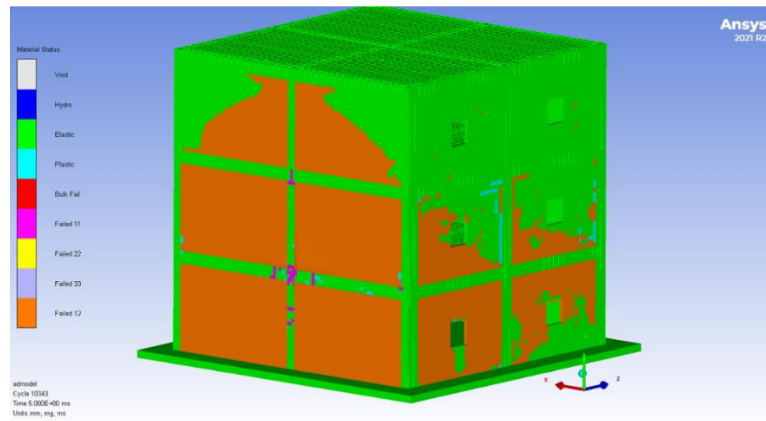
Şekil 4.109. PZ-52AO Yapısal davranış kontur diyagramı

Patlama noktasından uzaklaştıkça yapısal elemanlarda elastik davranışın daha hakim olduğu Şekil 4.110.'da verilen elastik davranış diyagramından görülmektedir.



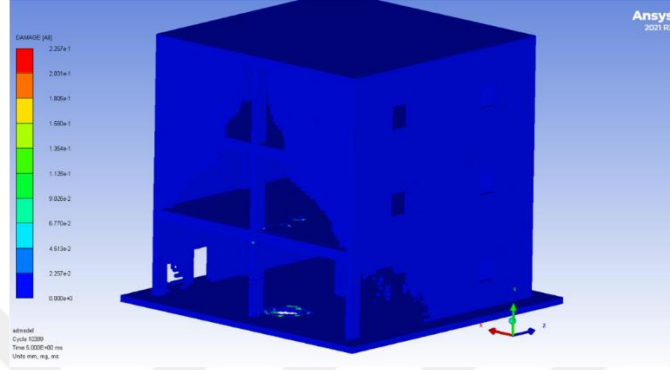
Şekil 4.110. PZ-52AO Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

52 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramları Şekil 4.111.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.111. PZ-52AO Duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

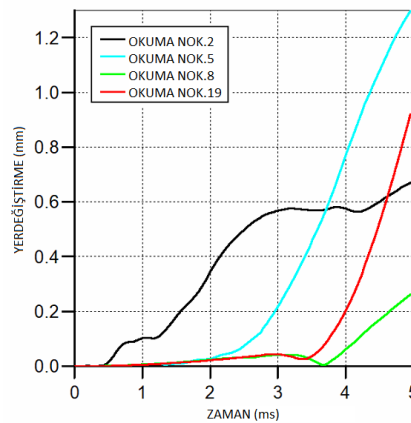
Şekil 4.111.'den görüldüğü üzere patlama şiddetiyle patlama noktasına yakın olan duvarlar parçalanmış ya da ağır hasar görmüştür. Deformasyonlar incelendiğinde en çok hasarı patlayıcı katındaki yapısal elemanlar almıştır. Patlama şok dalgası beton yüzeylerle ve duvarlarla etkileşime girdiğinde bu yüzeyler parçalanmaktadır. Şekil 4.112.'de nihai hasar kontur diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.112. PZ-52AO nihai hasar görüntüsü

4.2.12.3. PZ-52AO Yerdeğiştirmeler

52 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. 2, 5, 8, 19 nolu okuma noktalarında en büyük deplasmanlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.113.'de 2, 5, 8, 19 nolu okuma noktalarında meydana gelen deplasmanlar verilmiştir.



Şekil 4.113. PZ-52AO 2, 5, 8, 19 nolu okuma noktalarındaki yerdeğiştirme-zaman grafiği

PZ-52AO için okuma noktalarında meydana gelen deplasman değerleri Çizelge 4.37.'de verilmiştir.

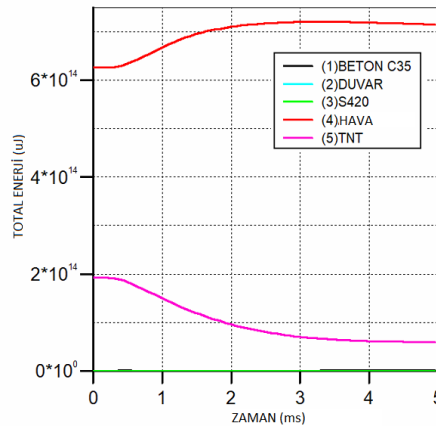
Çizelge 4.37. PZ-52AO için okuma noktalarındaki deplasman değerleri

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)	Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Yerdeğiştirme Değeri(mm)
1	0.0977	14	0.187
2	0.67	15	0.0692
3	0.0363	16	0.117
4	0.0717	17	0.0874
5	1.3	18	0.116
6	0.0708	19	0.92
7	0.114	20	0.107
8	0.261	21	0.112
9	0.117	22	0.136
10	0.006	23	0.124
11	0.14	24	0.128
12	0.009	25	0.0797
13	0.07	26	0.171

Birinci katta infilak eden patlama sonuçları incelendiğinde, okuma noktaları üzerinde yüzey çatlakları olduğu gözlemlenmektedir.

4.2.12.4. PZ-52AO Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. Patlayıcı miktarının çok olması durumunda ortamda yayılan enerji yapı elemanları tarafından sönmölemmezse elemanlar üzerinde kalıcı hasarlarla neden olur. TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarını sönmölediği Şekil 4.114.'de, patlama sonrası total enerji değerleri Çizelge 4.38.'de gösterilmiştir.

**Şekil 4.114.** PZ-52AO Toplam Enerji-Zaman Grafiği

Çizelge 4.38 PZ-52AO için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

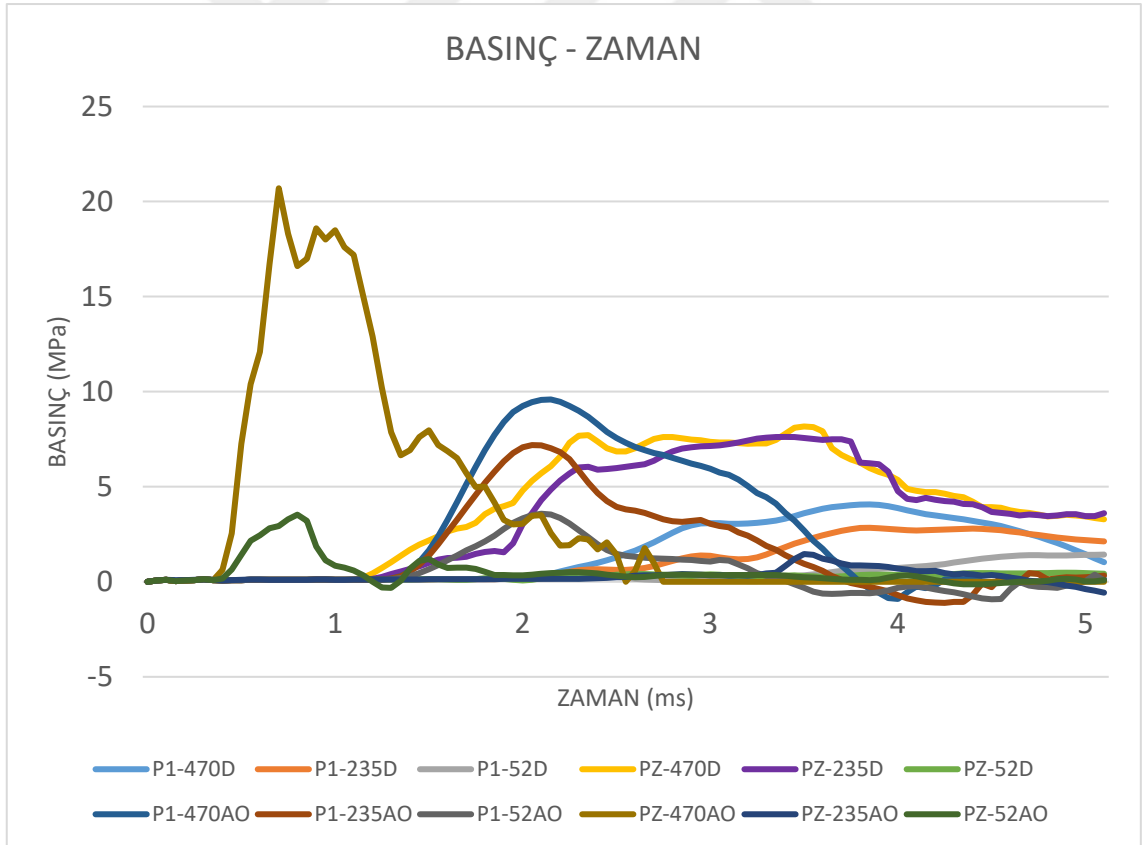
Malzeme	Enerji (uJ)
BETON	7.53E+11
DUVAR	9.38E+09
DONATI	9.43E+09
HAVA	7.15E+14
TNT	5.97E+13

4.3. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.3.1. Tüm Patlama Senaryolarında Patlama Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

4.3.1.1. Okuma Noktası 2 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 2 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.115.’de verilmiştir.

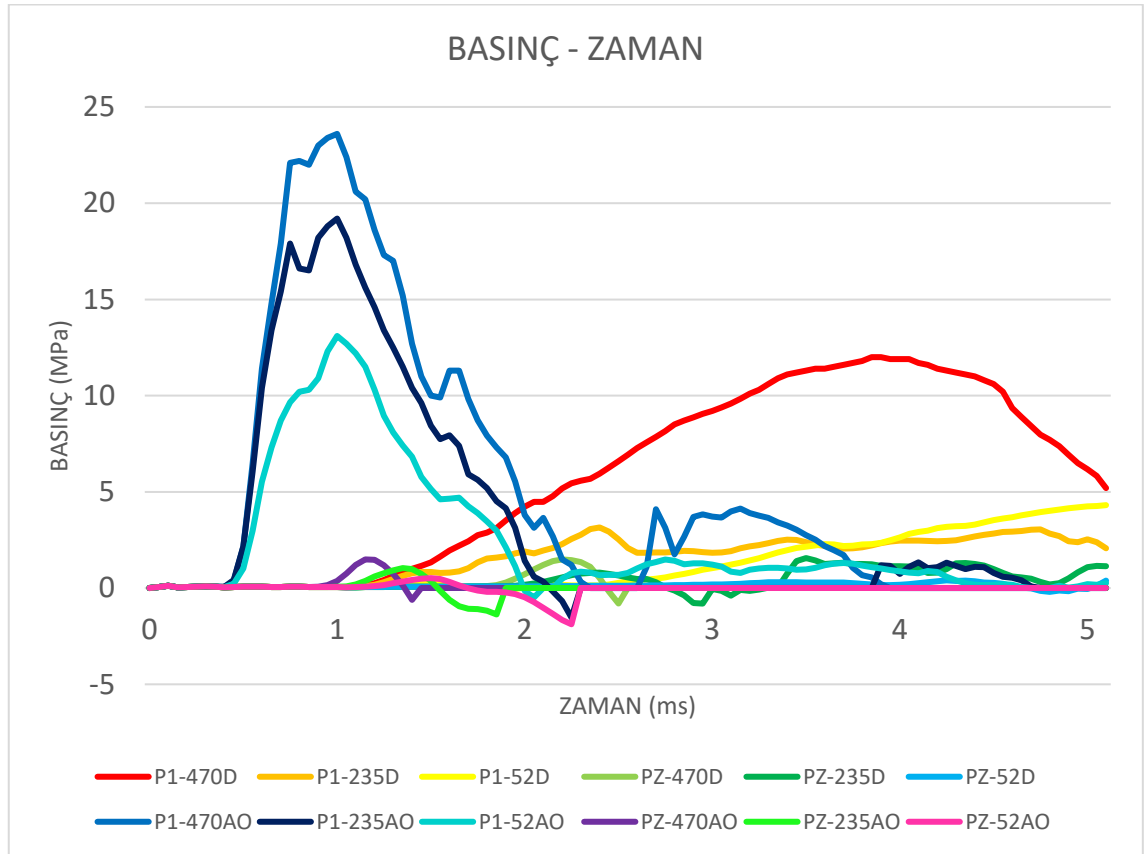
**Şekil 4.115.** 2 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Tüm patlama senaryoları sonuçları incelendiğinde Şekil 4.115.’den görüldüğü gibi 2 numaralı okuma noktasında en fazla basınç değerine 0,6-0,7 ms aralığında PZ-

470AO, ikinci en yüksek basınç değerine 2,0-2,1ms aralığında P1-235AO ve üçüncü en yüksek basınç değerine 3,4-3,5ms aralığında P1-52AO patlama senaryoları ulaşmıştır.

4.3.1.2. Okuma Noktası 5 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 5 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.116.’da verilmiştir.

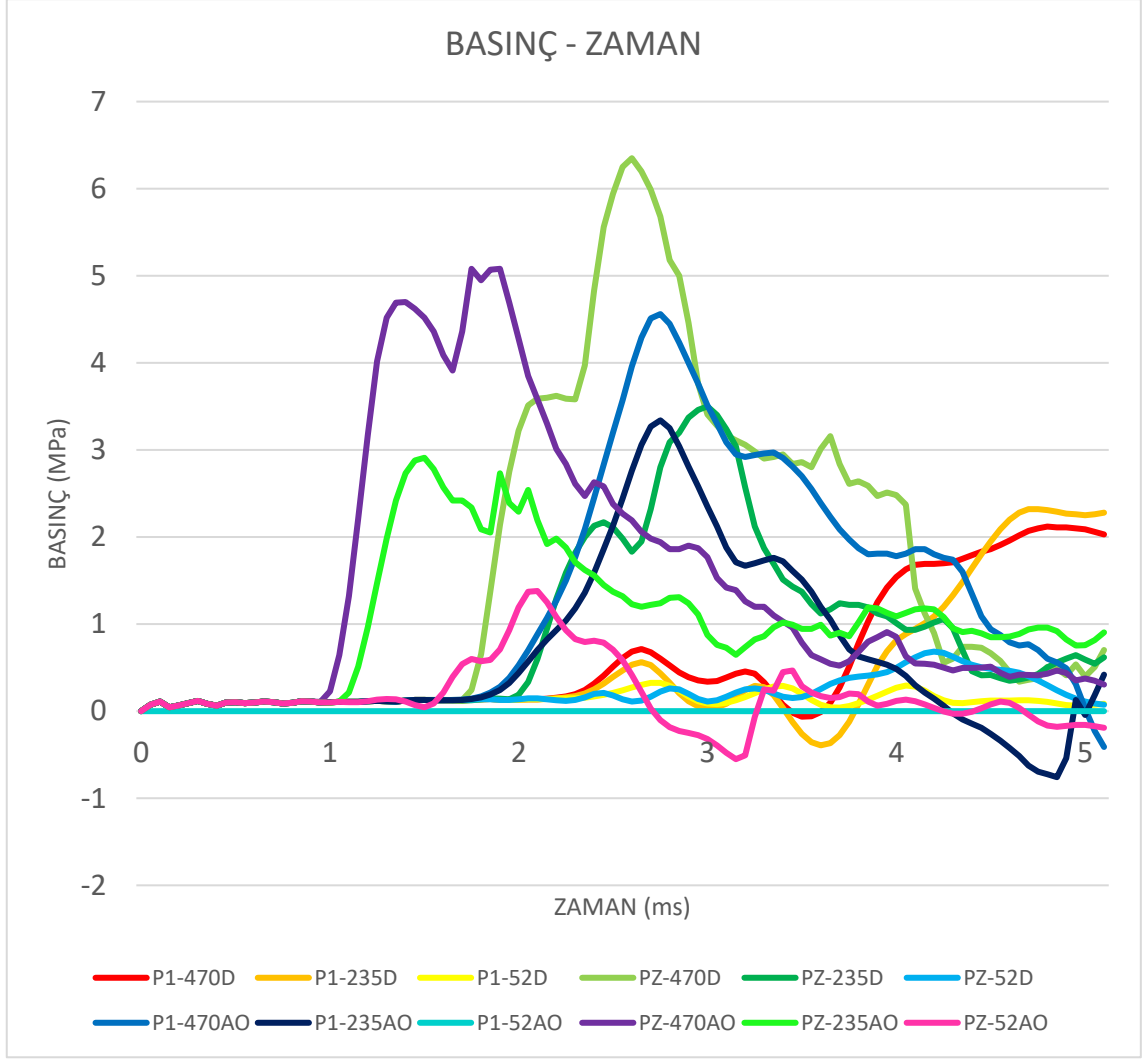


Şekil 4.116. 5 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Tüm patlama senaryoları sonuçları incelendiğinde Şekil 4.115.’den görüldüğü gibi 5 numaralı okuma noktasında en fazla basınç değerine 0,9-1 ms aralığında sırasıyla P1-470AO, P1-235AO ve P1-52AO patlama senaryoları ulaşmıştır. Ancak P1-470D patlama senaryosu en yüksek basınç değerine 3,7-3,8 ms aralığında ulaşmıştır.

4.3.1.3. Okuma Noktası 11 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 11 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.117.’de verilmiştir.

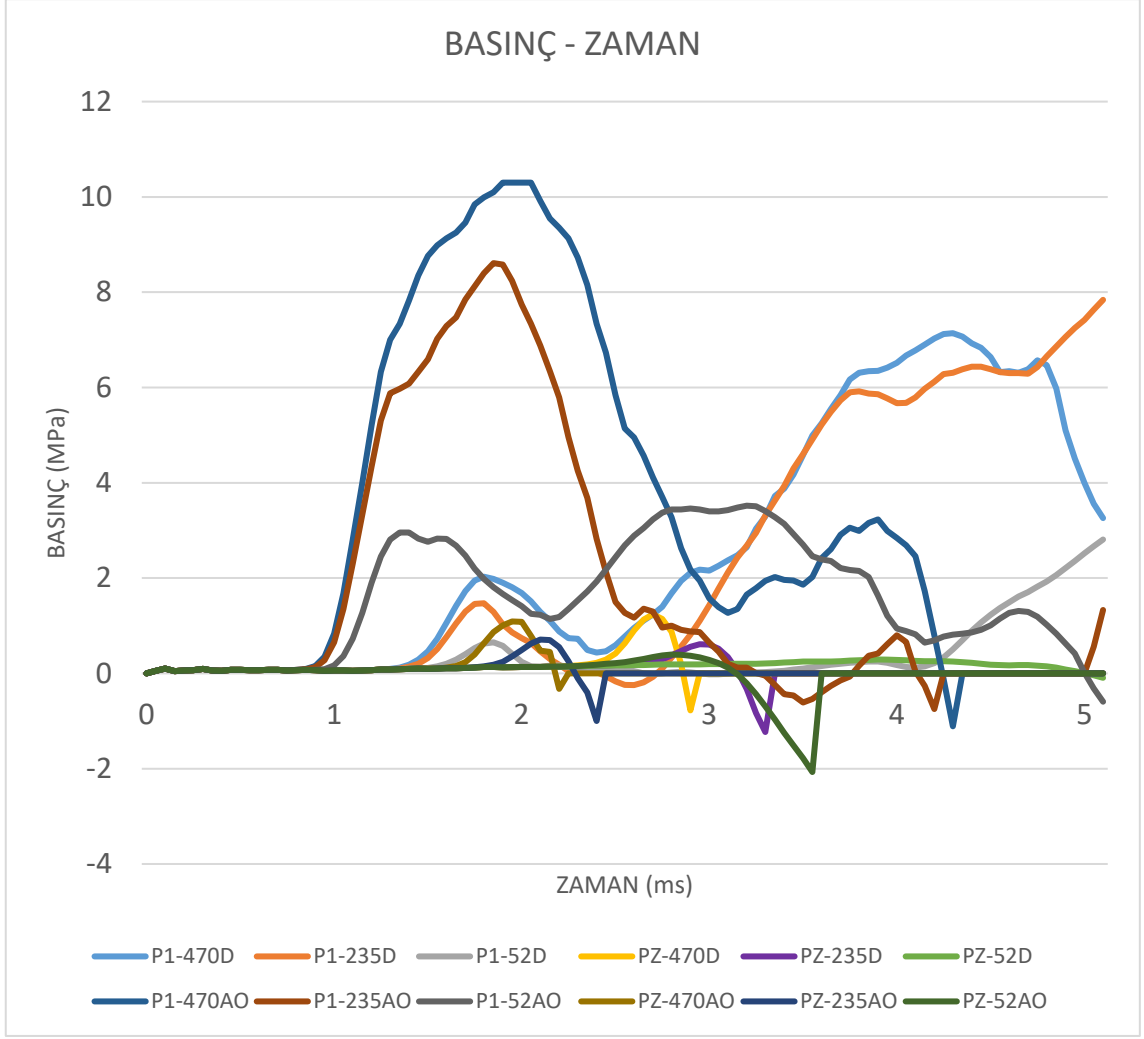


Şekil 4.117. 11 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Tüm patlama senaryoları sonuçları incelendiğinde Şekil 4.117.’den görüldüğü gibi 11 numaralı okuma noktasında en fazla basınç değerine 2,5-2,6 ms aralığında PZ-470D patlama senaryosu ulaşmıştır. İkinci en yüksek basınç değeri PZ-470AO patlama senaryosunda görülmüş olup, 1,8-1,9 ms aralığında ulaşmıştır. Üçüncü en yüksek basınç değeri P1-470AO patlama senaryosunda 2,6-2,7 ms aralığında görülmüştür.

4.3.1.4. Okuma Noktası 14 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 14 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.118.’de verilmiştir.



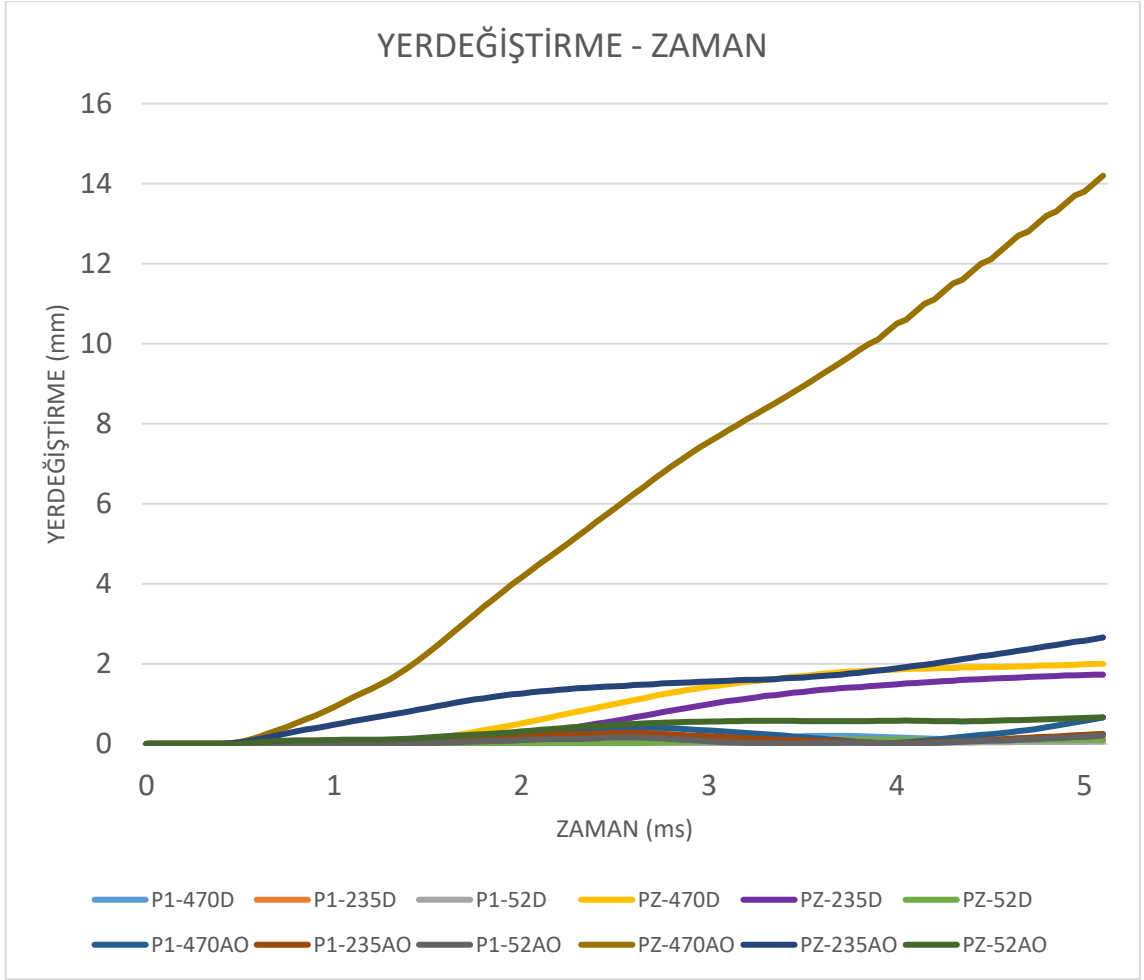
Şekil 4.118. 14 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Tüm patlama senaryoları sonuçları incelendiğinde Şekil 4.118.’den görüldüğü gibi 14 numaralı okuma noktasında en fazla basınç değerine 1,8-2,0 ms aralığında P1-470AO patlama senaryosu ulaşmıştır. İkinci en yüksek basınç değeri P1-235AO patlama senaryosunda görülmüş olup, 1,7-1,8 ms aralığında ulaşmıştır. Üçüncü en yüksek basınç değeri P1-235D patlama senaryosunda 5,0 ms’de görülmüştür.

4.3.2. Tüm Patlama Senaryolarında Patlama Yerdeğiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

4.3.2.1. Okuma Noktası 2 için Yerdeğiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 2 numaralı okuma noktası için elde edilen yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 4.119.’da verilmiştir.



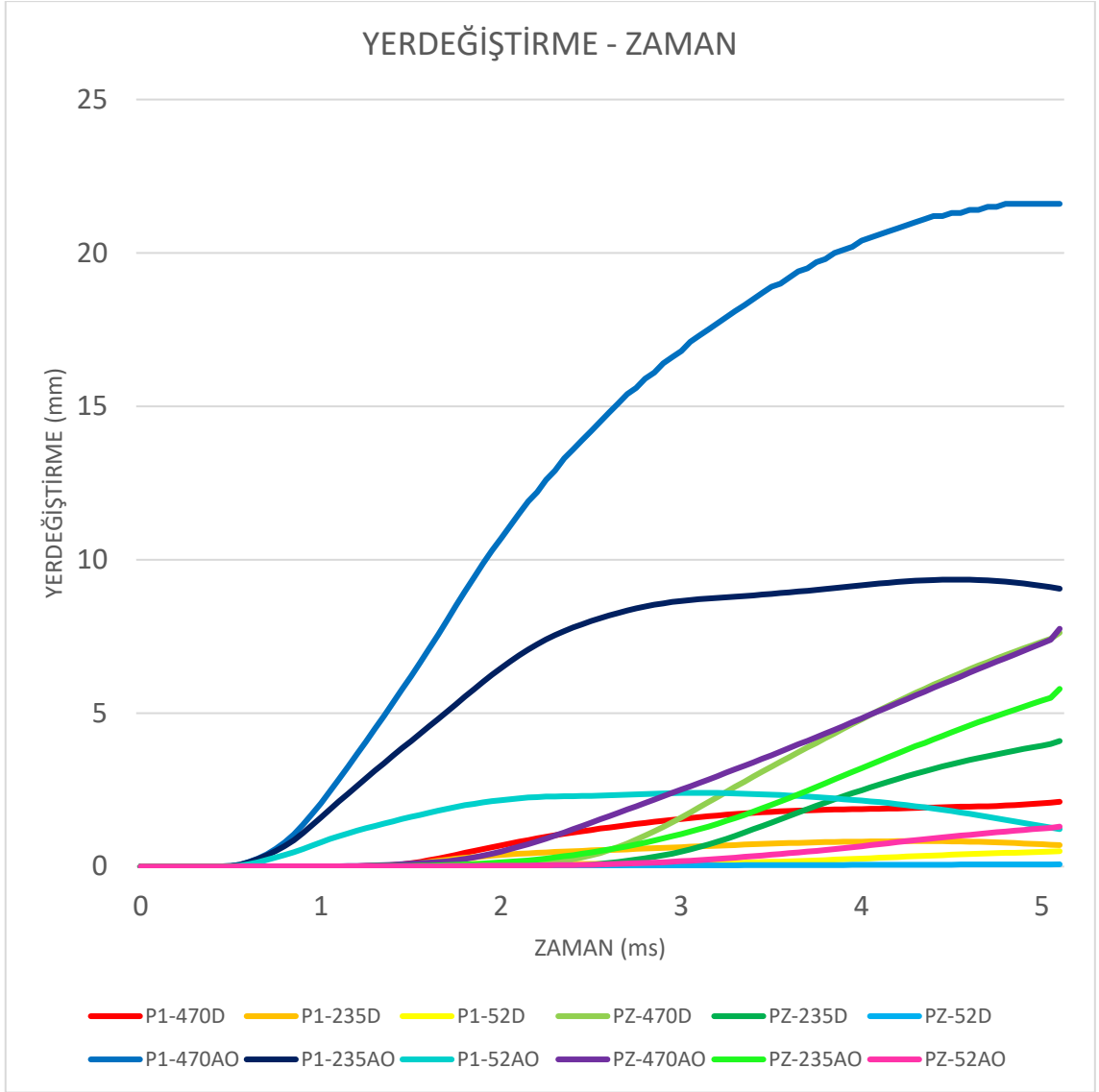
Şekil 4.119. 2 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için yerdeğiştirme–zaman grafiği

Tüm patlama senaryoları ele alındığında Şekil 4.119’da görüldüğü gibi sırasıyla PZ-470AO, PZ-235AO ve PZ-470D patlama senaryolarında 5ms süresinde tespit edilmiştir.

4.3.2.2. Okuma Noktası 5 için Yerdeğiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 5 numaralı okuma noktası için elde edilen yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 4.120.’de verilmiştir.

Tüm patlama senaryoları ele alındığında Şekil 4.120.’den P1-470AO patlama senaryosu en yüksek yerdeğiştirme değerine 5ms süresinde ulaşırken, P1-235AO patlama senaryosu 4,5-5 ms aralığında ulaşmıştır. Üçüncü en büyük yerdeğiştirme değeri PZ-470AO patlama senaryosunda 5ms süresinde tespit edilmiştir.

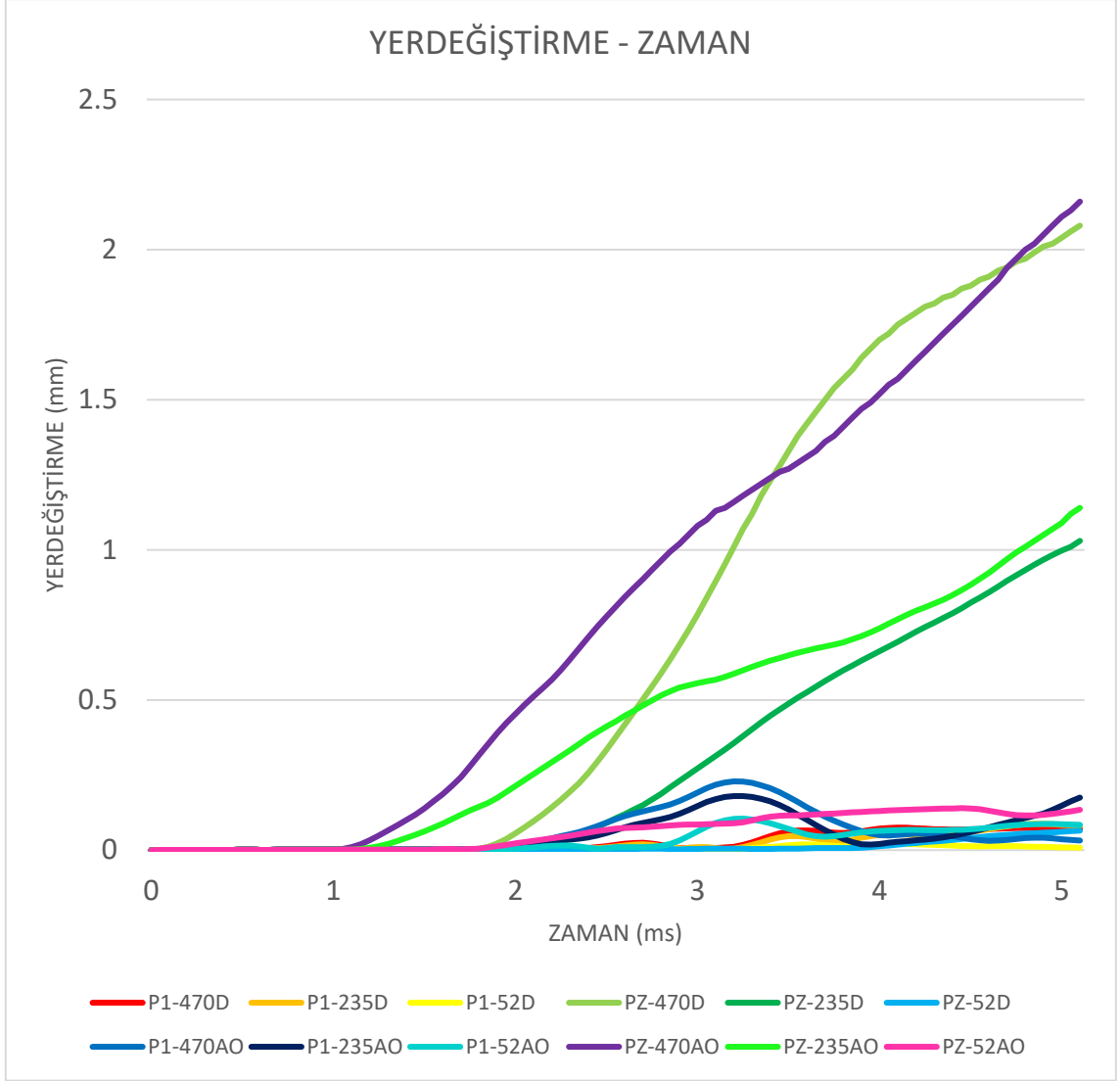


Şekil 4.120. 5 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için yerdeğiştirme–zaman grafiği

4.3.2.3. Okuma Noktası 11 için Yerdeğiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 11 numaralı okuma noktası için elde edilen yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 4.121.’de verilmiştir.

Tüm patlama senaryoları ele alındığında Şekil 4.121.’den en büyük yerdeğiştirme PZ-470AO patlama senaryosunda oluşmuş bu sonucu PZ-470D VE PZ-235AO patlama senaryoları izlemiştir. Şekil 4.121. incelendiğinde zeminde meydana gelen patlamalarda yerdeğiştirme değerlerinin daha yüksek olduğu dikkat çekmiştir.

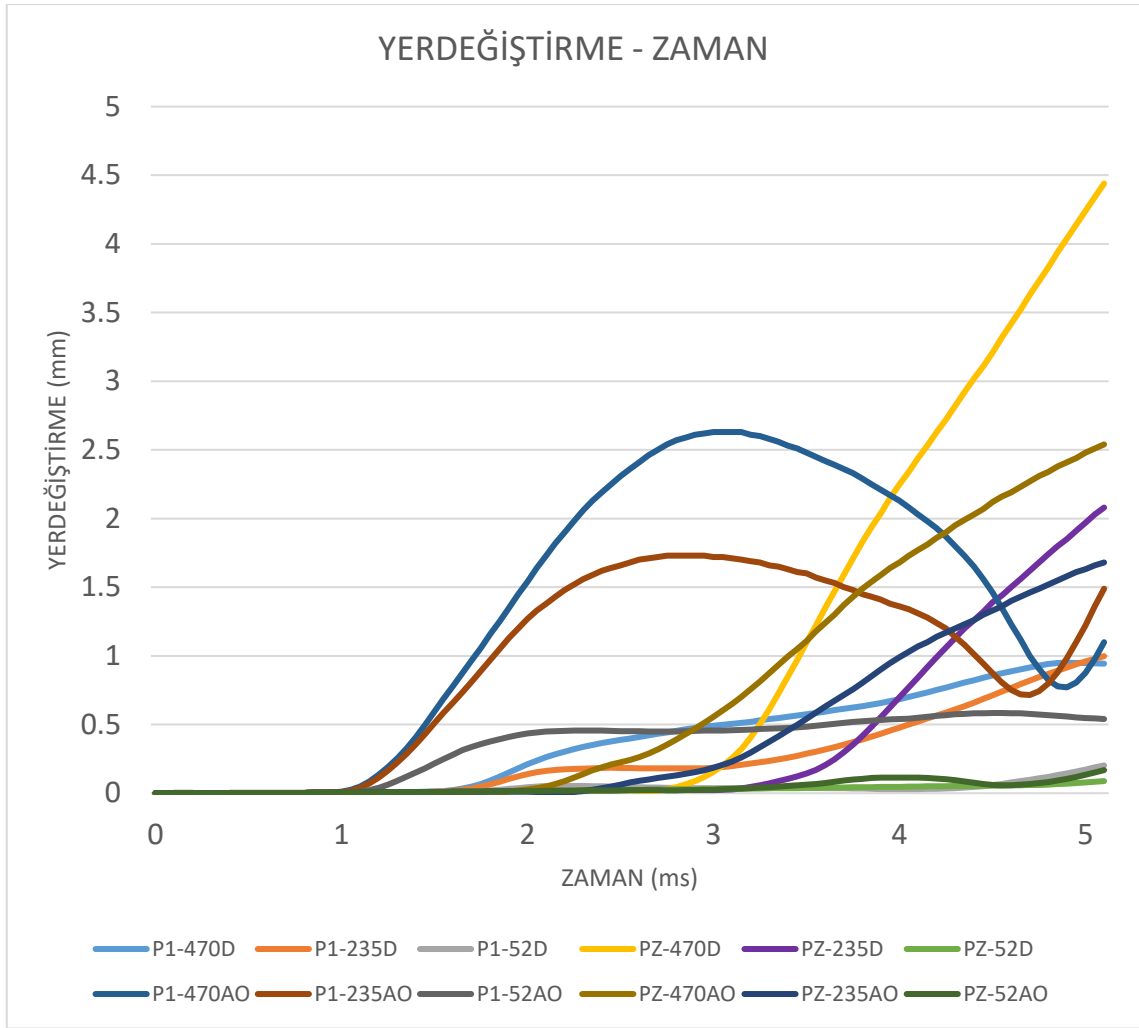


Şekil 4.121. 11 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için yerdeğiştirme–zaman grafiği

4.3.2.4. Okuma Noktası 14 için Yerdeğiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

12 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 14 numaralı okuma noktası için elde edilen yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 4.122.'de verilmiştir.

Tüm patlama senaryoları ele alındığında PZ-470D patlama senaryosu en yüksek yerdeğiştirme değerine 5ms süresinde ulaşırken, P1-470AO patlama senaryosu 3,0-3,1 ms aralığında ulaşmıştır. Üçüncü en büyük yerdeğiştirme değeri PZ-470AO patlama senaryosunda 5ms süresinde tespit edilmiştir.



Şekil 4.122. 14 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için yerdeğiştirme–zaman grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında; üç katlı betonarme bir yapıda, farklı ağırlıkta ve konumlardaki patlayıcının infilak etmesinin yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Patlama etkilerinin hesabında sonlu elemanlar yazılımları kullanılmıştır. Patlama katı modeli Ansys Workbench yazılımında modellenmiş daha sonrasında hava akışkan modellemesi için Ansys Autodyn yazılımıyla ilişkilendirilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Üç katlı betonarme yapı üzerinde toplamda 12 adet analiz yapılmıştır. 1. katta 3 farklı ağırlıkta ve 2 farklı konumda olmak üzere toplam 6 adet, zemin katta da aynı konum ve ağırlıklar baz alınarak 6 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Faydalanan bilgisayar yazılımlarında, önce Ansys Workbench Explicit Dynamics üzerinde sonlu elemanlar modeli (langrange model) oluşturulup, ağ tasarımı yapılmıştır. Ardından hava akışkan modeli (euler model) için Ansys Autodyn üzerinde oluşturulan modelin ağ tasarımı gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre patlayıcı etkisindeki yapı, basınç, yer değiştirme ve yapısal davranış bakımından incelenmiş olup patlayıcının, yakın çevresindeki yapısal elemanlara (kolon, kiriş, döşeme ve temel) ve yapısal olmayan elemanlara (duvar) ciddi hasar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca patlayıcı infilakından sonra döşemeye uygulanan itme etkisiyle üst katlarda gerilme yığılması ve buna bağlı olarak hasarların meydana geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlenebilir:

- Betonarme bina modelinde, patlayıcı malzemenin infilak etmesiyle patlama dalgaları her yönde hareket eder. Çevresinde bulunan kiriş ve döşemeleri yerçekiminin aksi yönünde harekete zorlayarak elemanların hasar almasına neden olur. Yapılan hesaplarda kuvvetlerin (ölü, hareketli vb.) yerçekimi yönünde etkidiği düşünülerek tasarım yapıldığı için patlama yüklerinin yerçekimi ve ters yönünde etkimesi durumunda yapısal elemanlarda hasarlar meydana gelmiştir.
- Patlama şok dalgaları kolon kiriş birleşimleri, temel kolon birleşimleri, kiriş döşeme birleşimleri üzerinde hasarlar oluşturmuştur.
- 470 kg patlayıcıyla gerçekleştirilen analizlerde patlayıcının sadece bulunduğu katta değil, diğer katlarda da hasar oluşturduğu analiz

sonuçlarında görülmektedir. Patlayıcı yakınında bulunan yapısal elemanlar plastik deformasyonlara uğrarken, şok dalgasının etkisini mesafeye bağlı olarak kaybetmesinden kaynaklı olarak uzak yapısal elemanlardaki deformasyonlar elastik düzeyde kalmıştır. Yapının bütünü irdelendiğinde patlama şiddetiyle yapının kullanılamaz derecede hasar aldığı ve kısmi veya toptan göçmenin kaçınılmaz olduğu görülmektedir.

- 235kg patlayıcıyla gerçekleştirilen analizlerde, 470 kg patlayıcıyla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Patlayıcıya yakın yapısal elemanlar kalıcı deformasyonlara uğrarken, elastik deformasyona uğrayan elemanların sayısı fazladır.
- 52 kg patlayıcıyla gerçekleştirilen analizler incelendiğinde, 470 ve 235 kg patlayıcılı senaryolara göre yapı daha az kalıcı deformasyon almıştır.
- 1. kat dış kolona 1m uzaklıkta olan 470, 235 ve 52 kg'lık patlama analizi sonuçları incelendiğinde, P1-470D analizinde 470 kg patlayıcı infilakı sonucunda 6 m'lik daire içerisinde kalan yapısal elemanların ciddi hasar aldığı gözlemlenmiştir. Patlama yüklerinin yerçekimi aksi yönünde (yukarı) etkidiği ani ve şiddetli durumda bu bölgelerde beton ve donatılar taşıyıcı özelliğini kaybetmiştir. P1-235D analizinde 235 kg patlayıcı infilakı sonucunda yine 6 m'lik daire içerisinde bulunan elemanlar zarar görmüş ancak daire dışındaki elemanlar P1-470D analizine göre elastik deformasyonlar göstermiştir. P1-470D ve P1-235D analizlerinde yapının hasar durumları göz önünde bulundurulduğunda yapının kullanılamaz durumda olduğu öngörülmektedir. P1-52D analizinde yapının hasar durumu P1-470D ve P1-235D analizlerine göre patlayıcı miktarına bağlı olarak daha azdır. Kolon kiriş bölgelerinde meydana gelen hasarlar güçlendirme uygulamalarıyla çözülebilecek düzeydedir.
- 1. kat açıklık orta noktasında gerçekleşen 470, 235 ve 52 kg'lık analiz sonuçları incelendiğinde, P1-470D, P1-235D ve P1-52D analizlerinden farklı olarak kiriş üzerinde gerçekleşen patlamada, P1-470AO ve P1-235AO analizlerinde ilk açıklıkta bulunan tüm kolonlar, kolon kiriş birleşim bölgeleri ve patlayıcının üzerinde bulunduğu kiriş kalıcı hasar almış, parçalanmış ve taşıyıcı özelliğini kaybetmiştir. P1-

52AO analizinde patlama enerjisi ve oluşan patlama kuvvetleri daha az olduğu için orta kolonlar ve patlayıcının üzerinde bulunduğu kiriş taşıyıcı özelliğini kaybetmiştir. Patlayıcı konumundan dolayı P1-470AO, P1-235AO ve P1-52AO analizlerinde binaların kullanılamaz hale geldiği tespit edilmiştir.

- Zemin kat dış kolona 1 m uzaklıkta gerçekleşen 470, 235 ve 52 kg'lık analiz sonuçları incelendiğinde, PZ-470D, PZ-235D, PZ-52D analizlerinin her birinde radye temel üzerinde hasar ve parçalanma meydana gelmiştir. PZ-470D analizinde ilk açıklık içerisinde kalan zemin kat kolonları ve 1. kat kirişleri işlevini yitirmiştir. Patlamaya uzak yapısal elemanlarda yer yer plastik deformasyonlar gözlenmiştir. PZ-235D analizinde PZ-470D analizine benzer olarak yapısal elemanlar hasar almış, ancak patlayıcı miktarına bağlı olarak kalıcı deformasyonlar azalmıştır. PZ-470D ve PZ-235D analizleri sonuçlarına göre iki senaryo içinde yapının kullanılamaz olduğu öngörülmektedir. PZ-52D analiz sonuçlarına göre yapı için güçlendirme yöntemleri kullanılarak tekrar işlevsel hale getirilebilir.
- Zemin kat açıklık ortasında gerçekleşen 470, 235 ve 52 kg'lık analiz sonuçları incelendiğinde, PZ-470AO analizinde P1-470AO analizine benzer olarak zemin kat ilk açıklıkta bulunan elemanların kalıcı deformasyon aldığı ve işlevini yitirdiği tespit edilmiştir. İlave olarak radye temel üzerinde de hasar meydana gelmiştir. PZ-470D ve PZ-235D analizlerinde yapı yapısal elemanlarında meydana gelen kalıcı deformasyonlar yapının bütünlüğü bozacak düzeyde olduğu için kullanılamaz halde olduğu tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Patlayıcı depoları, kritik sanat yapıları, stratejik barajlar ve yönetim binaları gibi önemli yapıların tasarımı aşamasında patlama yüklerinin dikkate alınması ilave maliyet artışı oluşturmakla beraber, ortaya çıkan büyük enerji nedeniyle oluşan ani ve şiddetli basınç etkileri yapılarda kısmi ve toptan göçmeler oluşturabilir. Yapılan çalışma sonuçlarında bu durum açıkça görülmektedir. Dış patlama etkilerine karşı bariyer gibi

önlemlerle bu hasarların önüne geçilmesi düşünülebilirse de özellikle bu çalışmadaki gibi iç patlama etkilerinde, oluşan yansımalarla beraber hasar artmaktadır. Dünya üzerinde artan terör faaliyetleri, patlayıcı depoları ve evlerde doğalgaz kaynaklı patlamalar göz önünde bulundurulduğunda, patlama yüklerinin insanların can güvenliği için tasarım aşamasında dikkate alınması daha sağlıklı sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

Patlamanın yapı üzerindeki etkileri, çok daha fazla incelemeyi gerektiren bir konudur. Farklı beton basınç dayanımına sahip yapılardaki davranış değişimleri, dış patlama etkileri, bariyer kullanımı ile ilgili senaryolar ve uygun bariyer uzaklığının ve tasarımının tespiti, eksenel yük düzeyinin kolon hasarları üzerindeki etkisi gibi farklı parametrelere göre patlama çalışmalarının yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir. Ayrıca deneysel çalışmalar ile elde edilen sonuçların doğrulanması amacıyla bu konuda deneysel çalışmalar desteklenmeli, teşvik edilmeli ve uygun deneysel alanlar oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Al-Juneed A., (2020). Patlama Yükleri Etkisindeki Betonarme Binaların Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Abbas M., Basma. M. F. Hassan, (2017). Energy absorption and damage of inelastic sdof structures under blast loads, Journal of Engineering Sciences Assiut University Faculty of Engineering Vol. 45 No. 3, PP. 301 – 323
- ANSYS AUTODYN, (2016). Swanson Analyses Systems, Ansys Inc. USA.
- ANSYS Workbench, (2016). Swanson Analyses Systems, Ansys Inc. USA.
- ANSYS LS-DYNA, (2016). Swanson Analyses Systems, Ansys Inc. USA.
- B. Hopkinson and C. Cranz, (1915). “Cube Root Scaling Law” www.structuremag.org/?p=2601structural-damage-and-occupant-safety-risks-due-to-explosive-blast-loading.
- Balcı B., (2018). Blast performance of brms structures with sliding foundation & effects of dynamic interaction of structural members on esdof blast analysis. Yüksek Lisans Tezi, Özyeğin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Brode, H.L., (1955). Numerical solution of spherical blast waves, Journal of Applied Physics, American Institute of Physics, 26(6), 766-775.
- Campbell K., (2001). When is 'terrorist' a subjective term?[online], Christian Science Monitor. <http://www.csmonitor.com/2001/0927/p16s2-wogi.html>. Retrieved 2010-01-11. [Ziyaret Tarihi: 20 Nisan 2023].
- Comité Euro-International du Béton (CEB), (1993). “ CEB-FIP model code 1990.”, Redwood Books, Wiltshire, UK.
- Cömert M. ve İlki A. (2010). Betonarme Yapıların Patlamalar Karşısındaki Performanslarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Cömert ve İlki, A., (2009). The Explosion Performance of a Ball Powder Production Facility, ASCE J. Perf. Const. Facilities, Online published: 29 December 2009, DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943- 5509.0000108
- Çapar Y., (2020). Sonlu Elemanlar Yönteminde Implicit vs. Explicit Yaklaşımı, <https://yasincapar.com/tr/sonlu-elemanlar-yontemde-implicit-vs-explicit-yaklasimi/#:~:text=Implicit%20analizi%2C%20istedi%C4%9Finiz%20zaman%20art%C4%B1%C5%9F%C4%B1n%C4%B1n,zaman%20art%C4%B1%C5%9F%C4%B1%20ger%C3%A7ekten%20h%C4%B1zl%C4%B1%20hesaplan%C4%B1r>. [Ziyaret Tarihi: 27 Ağustos 2022]

- Demirtaş G., Çağlar N. ve Sümer Y. (2018). 6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 09-11 November 2018 (ISITES2018 Alanya – Antalya - Turkey). 6:1126-1135
- Department of Defense., (2008). “Structures to resist the effects of accidental explosions.” UFC 3-340-02, Washington, USA.
- Draganić (2012). Blast loading on structures. Tehnički vjesnik 19, 3(2012), 643-652
- E. Yandzio and M. Gough, (1999). “Protection of Buildings against Explosions” Steel Construction Institute
- FEMA 426, “To Migrate Potential Terrorist Attacks against Buildings” www.fema.gov 2003.
- FEMA 427, “For Design of Commercial Buildings to Migrate Terrorist Attacks” www.fema.gov 2003.
- H. L. Brode, (1955). “Numerical Solution of Spherical Blast Waves,” Journal of Applied Physics, 26(6), 766-775.
- Hacıfendioğlu, K., & Köksal O., (2013). Patlama Kaynaklı Yer Hareketi Etkisindeki Ayaklı Çelik Su Depolarının Dinamik Analizi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, MKÜ-2013, Hatay, 1-8
- J. A. Zukas, (2004). “Introduction to Hydrocodes” Elsevier, Boston.
- J. Henrych, (1979). “The Dynamics of Explosion and Its Use”, Developments in atmospheric science”, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Jayasooriya, J. H. A. R. (2010). Vulnerability And Damage Analysis Of Reinforced Concrete Framed Buildings Subjected To Near Field Blast Events, Queensland University Of Technology.
- Koçmaz, Z., (2004). “Patlama yüklerine dayanıklı yapı tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Luccioni, B.M., Ambrosini, R.D. ve Danesi, R.F., (2003). Analysis of building collapse under blast loads, Engineering Structures, 26, 63-71.
- Mennatullah T., Ebtisam Y., Sherif A. Mazek., Magdy M.M. Genidi ve Alaa G. Sherif, (2022). Finite element analysis of RC buildings subjected to blast loading, Ain Shams Engineering Journal, Volume 13, Issue 4, 101689, ISSN 2090-4479.
- Mlakar, P. F., Corley, W. G., Sozen, M. A., ve Thornton, C. H., (1998). “The Oklahoma city bombing: Analysis of blast damage to the Murrah building”, Journal of Performance of Constructed Facilities, 12, 113- 119.

- Ngo, T., Mendis, P., Gupta, A., ve Ramsay, J., (2007). "Blast loading and blast effects on structures – an overview", EJSE Special Issue.
- Önalın F., (2019). Patlama Yüğüne Maruz Betonarme Binaların Dinamik Davranışlarının Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- P. Sherkar, A. S. Whittaker and A. J. Aref, (2010). "Modeling the Effects of Detonations of High Explosives to Inform Blast-Resistant Design" Earthquake Engineering to Extreme Events, Technical Report MCEER-10- 0009, issn 1520-295X.
- Salem Ö., A. Y., (2007). "Vulnerability of buildings to blast loads and progressive collapse", Master Tezi, University of Ottawa, Canada.
- Syed, Z.I., Mohamed, O.A., Murad, K. ve Kewalramani, M., (2017). Performance of earthquakeresistant RCC frame structures under blast explosions, Procedia Engineering, 180, 82- 90.
- Şibil R., (2019). Farklı Geometriye Sahip Oksidasyon Hendeklerinin Hidrolik ve Hidrodinamik Davranışlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğı ile Analizi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Tahmilci, F., (2007). Analysis Of Blast Loading Effect On Regular Steel BuildingStructures, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğı 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
- Toplu E., Kırtel O. (2020). Yığma yapılarda patlama etkilerinin incelenmesi. International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management 24-25 October 2020 (İSHAD2020 Bursa – Turkey) 4:950-959
- Toy A. T., (2022). Patlamaların Mühendislik Yapılarının Davranışlarına Etkisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Toy A., Sevim B., (2020). Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering (2020) 44:565–577.
- Url-1 www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/4b43c082500a6fb_ek.pdf (06.07.2019)
- Url-2 <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/sakaryadaki-havai-fisek-fabrikasindaki-patlamanin-uzerinden-2-yil-gecti/2628618> (25.06.2023)
- Url-3 <https://www.milliyet.com.tr/gundem/son-dakika-ankarada-roket-fabrikasinda-patlama-6960671> (25.06.2023)
- Url-4 <https://analizsimulasyon.com/mesh-cozum-agi/> (05.09.2022)

Zhang, R. ve Philips B.M., (2015). Performance and Protection of Base-Isolated Structures under Blast Loading, Journal of Engineering Mechanics, 142(1): 04015063.

TS 500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları,” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2007.

