



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DIŞ PATLAMA ETKİSİ ALTINDAKİ 2 KATLI BETONARME BİR YAPI
DAVRANIŞININ ÇEŞİTLİ PARAMETRELERE BAĞLI OLARAK
İNCELENMESİ**

Sariye ALTINTAŞ

YÜKSEK LİSANS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Sariye ALTINTAŞ tarafından hazırlanan “Dış Patlama Etkisi Altındaki 2 Katlı Betonarme Bir Yapı Davranışının Çeşitli Parametrelere Bağlı Olarak İncelenmesi ” adlı tez çalışması 03/10/2023 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

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.

Sariye ALTINTAŞ

03/10/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

DIŞ PATLAMA ETKİSİ ALTINDAKİ 2 KATLI BETONARME BİR YAPI DAVRANIŞININ ÇEŞİTLİ PARAMETRELERE BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ

Sariye ALTINTAŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Murat Öztürk

2023, 179 Sayfa

Jüri

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

Bu tez çalışması kapsamında patlamadan dolayı betonarme binalarda meydana gelen dinamik değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla meydana gelen değişimleri belirlemek için farklı beton sınıfı, patlayıcı ağırlığı, patlayıcının konumu ve kolonlardaki eksenel yük gibi değişken parametreler kullanılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konu ve çalışmanın içeriğine dair genel bir bilgilendirme yapılmıştır. İkinci bölümde konu ile ilgili daha önce yapılmış olan çeşitli araştırmacıların çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde geçmişte yaşanmış olan patlama olaylarına, yaşanan artışa ve patlama olaylarını meydana getiren sebeplere değinilmiştir. Aynı bölümde patlama kavramına, patlayıcı maddelere, patlama tiplerinin sınıflandırılmasına, patlama yüklerinin tespiti için çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış olan modellere, UFC 3-340-02 standartlarına göre patlama yükünün tespiti gibi konulara değinilmiştir. Dördüncü bölümde ANSYS Workbench programı ile iki katlı betonarme bir modelin sonlu eleman modeli sunulmuştur. Bu binada, 4 parametreye göre yapılan 16 adet patlama senaryosunun sonuçları, yapı üzerindeki etkileri ve karşılaştırılmaları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ansys, Betonarme, Patlama, Sonlu Eleman, TNT

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF A 2-STOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING UNDER THE EFFECT OF EXTERNAL EXPLOSION BASED ON VARIOUS PARAMETERS

Sariye ALTINTAŞ

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

Advisor: Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

2023, 179 Pages

Jury

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

Within the scope of this thesis, it is aimed to determine the dynamic changes that occur in reinforced concrete buildings due to explosion. For this purpose, variable parameters such as different concrete class, explosive weight, explosive position and axial load acting on the building were used to determine the changes occurring.

The master's thesis consists of 5 chapters. In the first chapter, general information about the subject and the content of the study was given. In the second chapter, previous studies of various researchers on the subject are included. In the third chapter, the explosion events that occurred in the past, the increase in the explosion and the reasons that caused the explosion events are mentioned. In the same section, topics such as the concept of explosion, explosive substances, classification of explosion types, models made by various researchers for the determination of explosion loads, and determination of explosion load according to UFC 3-340-02 standards are touched upon. In the fourth chapter, a finite element model of a two-storey reinforced concrete model is presented with the ANSYS Workbench program. In this building, the results of 16 explosion scenarios based on 4 parameters, their effects on the structure and their comparison are presented.

Keywords: Ansys, Reinforced Concrete, Explosion, Finite Element, TNT

ÖNSÖZ

Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans çalışmalarım ve seminer aşamasındaki çalışmalarım süresince gösterdiği yardım, destek, hoşgörüsünden ve bilgi ve tecrübelerini paylaşmasından dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Diğer taraftan sadece bu çalışma süresinde değil tüm hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, maddi manevi her zaman yanımda olan, her türlü destek ve özveriye esirgemeyen ve her zaman benim ve kardeşlerimin arkasında olan, babam Eyyüp ALTINTAŞ'a, annem Miyase ALTINTAŞ'a ve kardeşlerime minnettarlığımı bildiririm.

Son olarak, tez süresince bilgilerini çekinmeden benimle paylaşan bana destek olan İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ ENES BARIŞ YAŞAR'a teşekkür ederim.

Sariye ALTINTAŞ
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE METOT	9
3.1. Geçişte Yaşanmış Bazı Patlama Olayları.....	9
3.2. Patlama Kavramı	11
3.3. Ölçeklenmiş Mesafe	11
3.4. Emniyet Mesafesi	12
3.5. Patlayıcı Maddeler	12
3.5.1. TNT	14
3.6. Patlama Tiplerinin Sınıflandırılması.....	16
3.6.1. Sınırlandırılmamış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	17
3.6.2. Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	24
3.6.2.1. Tamamen Havalandırma Boşluklu Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	24
3.6.2.2. Kısmen Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	25
3.6.2.3. Tamamen Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar	25
3.7. Patlama Yüklerinin Tespitine İlişkin Analitik Çalışmalar	26
3.7.1. Brode Modeli.....	26
3.7.2. Newmark ve Hansen Modeli	27
3.7.3. Mills Modeli	27
3.7.4. Mays ve Smith Modeli	27
3.7.5. Henrych Modeli	28
3.7.6. Kingery ve Bulmash Modeli	28
3.7.7. Kinney ve Graham Modeli	29
3.7.8. Sadovsky Modeli	29
3.8. UFC 3-340-02 Standartları.....	30
3.9. ANSYS.....	30
3.9.1. Dolaylı Yöntem (Implicit Method).....	31
3.9.2. Açık Yöntem (Explicit Method).....	32
3.10. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEA)	32
3.11. Lagrangian ve Eulerian Denklemleri	33
3.11.1. Lagrangian Denklemleri.....	33
3.11.2. Eulerian Denklemleri	34
4. SAYISAL ÇALIŞMA, BULGULAR ve İRDELEMELER	37

4.1. İki Katlı Betonarme Bina ve Sonlu Eleman Modeli	37
4.1.1. Yapı Elemanlarının Malzeme Modellemesi	41
4.2. Okuma Noktaları	48
4.3. Patlama Modelleri	50
4.3.1. AO1-235-10/25 Patlama Senaryosu	50
4.3.2. AS2-235-10/25 Patlama Senaryosu	56
4.3.3. AO3-235-40/25 Patlama Senaryosu	62
4.3.4. AS4-235-40/25 Patlama Senaryosu	69
4.3.5. AO5-470-10/25 Patlama Senaryosu	76
4.3.6. AS6-470-10/25 Patlama Senaryosu	82
4.3.7. AO7-470-40/25 Patlama Senaryosu	89
4.3.8. AS8-470-40/25 Patlama Senaryosu	96
4.3.9. AO9-235-10/35 Patlama Senaryosu	102
4.3.10. AS10-235-10/35 Patlama Senaryosu	108
4.3.11. AO11-235-40/35 Patlama Senaryosu	114
4.3.12. AS12-235-40/35 Patlama Senaryosu	121
4.3.13. AO13-470-10/35 Patlama Senaryosu	127
4.3.14. AS14-470-10/35 Patlama Senaryosu	134
4.3.15. AO15-470-40/35 Patlama Senaryosu	140
4.3.16. AS16-470-40/35 Patlama Senaryosu	147
4.4. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	154
4.4.1. Patlama Senaryolarında Patlama Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması	154
4.4.1.1. Okuma Noktası 2 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması	154
4.4.1.2. Okuma Noktası 3 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması	155
4.4.1.3. Okuma Noktası 4 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması	156
4.4.1.4. Okuma Noktası 5 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması	157
4.4.3. Tüm Patlama Senaryolarında Patlama Hasar Diyagramlarının Karşılaştırılması	158
4.5. Ampirik Formüller ve UFC 3-340-02 Değerlendirmesi	160
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	163
5.1 Sonuçlar	163
5.2 Öneriler	164
KAYNAKLAR	165

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

P	Basınç (MPa)
t_a	Basınç dalgasının yüzeye ulaşma süresi
br^2	Birim kare
q_s	Dinamik basınç değeri (MPa)
C_D	Direnç katsayısı
$\emptyset$	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
$\dot{I}_s$	İmpuls (ms)
I	İtme (momentum)
Kg	Kilogram
kN	Kilonewton
KPa	Kilopascal (kN/m ²)
H_{exp}^d	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_o^-	Negatif faz süresi (ms)
$\dot{I}_{s-}$	Negatif fazın impuls değeri
P_{so}^-	Maksimum negatif basınç (MPa)

C_r	Maksimum aşırı basınç
P_r	Maksimum yansıyan basınç
P_o	Atmosfer basıncı (MPa)
Z	Ölçeklendirilmiş uzaklık ($m/kg^{1/3}$)
t_o	Pozitif faz süresi (ms)
P_a	Pascal (N/m^2) ,
L_w	Patlama dalga boyu (m)
W_x	Patlayıcının kütlesi
Q_s	Patlayıcının kütleye özgül enerjisi
W_{TNT}	TNT eşdeğer kütlesi
Q_{TNT}	TNT'nin kütleye özgül enerjisi
R	Yapı ile patlayıcı merkezi arasındaki uzaklık (m)

Kısaltmalar

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ANFO	Ammoniumnitrate-fueloil
ASCE	American Society of Civil EngineersANSYS Analysis System
AUTODYN	Autodyn System
FEMA	Federal Emergency Management Agency (ABD, Acil Durum YönetimKurumu)
W	Patlayıcı kütlesi
R	Patlayıcı ile yapı arasındaki uzaklık
PPV	Pozitif Basınç Ventilasyon
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

İnsanlar geçmişten bugüne temel ihtiyaçlarını gidermek için çeşitli mühendislik hizmetleri alma ihtiyacı duymuştur. Gereksinimler doğrultusunda yapılan binalar belirli sabit yüklere maruz kalmakla birlikte terör saldırıları sonucu oluşan patlamalar, deprem, rüzgâr, sel ve yangın gibi dinamik yüklere de maruz kalabilmektedir.

Geçmişten günümüze çok az sayıda yapı patlamaya karşı dayanıklı olarak inşa edilmiştir. Son zamanlarda kaza sonucu oluşan ya da çeşitli terör saldırılarından kaynaklanan patlamalarda artış görülmüştür. Bu durumda yeni yapıların tasarım aşamasında bu etkilerin göz önünde bulundurulması, mevcut binalarda ise patlama etkisi altındaki dayanımlarının kontrol edilmesi gibi bir gereklilik oluşmuştur. Patlamalar sonucunda can kayıpları ve yapılarda çökmeler meydana gelmiştir.

Patlamaya maruz kalan yapılardaki hasar oranını tahmin etmek, yapının kullanılabilirliğini belirlemede son derece önemlidir. Patlama etkisinde binaların davranışlarını, tepkilerini ve maruz kaldığı etkileri belirlemede deneysel yöntemler daha doğru sonuçlar sunmaktadır. Deneysel yöntemlerin uygulanması yüksek maliyetler gerektirdiğinden dolayı gerçekleştirilmesi zor olmakla birlikte literatürde belirli ölçeklerde deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte var olan patlayıcı maddelerin türleri ve etkileri artmıştır. Yine küreselleşme ve ekonominin gelişmesiyle birlikte stratejik anlamda önemli yapıların oluşumu, terör olaylarının artmasına sebep olmuştur. Geçmişten beri bu tür binalara olan saldırılar olsa bile son yıllarda bu sayıda artış gözlemlenmiştir. TNT ve amonyum nitrat gibi etkili patlayıcı taşıyan araçlar yardımıyla yapılara yakın yapılan saldırılar, taşıyıcı sistem bileşenlerinde ağır hasara neden olmaktadır. Bu şekilde hasar alan yapılar, kısmen ya da tamamen çökebilirler. Kasti olarak gerçekleşen patlamaların yanında kaza sonucunda da çeşitli patlamalar yaşanmaktadır.

Bu doğrultuda patlamalara karşı dayanımı yüksek yapı tasarımı yapılırken patlama koşulları ve yükleri dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır. Can ve mal kayıplarını engellemek için gereken eğitim ve bilgiler mimar ve mühendislere verilmelidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Köksal ve ark. (2017) çalışmalarında, bitişik bulunan iki katlı, iki binanın patlamadan kaynaklanan hareketinin yapılarda oluşturacağı çarpışma olayını ve etkilerini, sonlu elemanlar yöntemini esas alan ANSYS yazılımını kullanarak incelemiştir. Patlamadan kaynaklanan yer hareketinin oluşturulmasında BlastGM programı kullanılmıştır. Yapılan analizin sonucunda patlayıcı ağırlığına bağlı olarak ağırlık arttıkça bitişik nizam binada çarpışma etkilerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Depremden farklı olarak patlama gibi farklı dinamik etkilere karşı da bitişik nizamlı yapılar arasında hesaplamalar yapılarak binalar için uygun olan derz boşluğunun bırakılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Toy ve ark. (2016), bomba ve diğer patlayıcıların verdiği zararı ve binanın yapısal tepkisini değerlendirmek amacıyla sayısal bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada iki katlı ve iki açıklıklı betonarme bir bina ele alınmıştır. Betonarme kolon, kiriş ve döşemeler yapısal eleman, duvar ve pencereler ise yapısal olmayan elemanlar olarak alınmıştır. Bu doğrultuda ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak analitik bir model oluşturulmuştur. Binada patlayıcı olarak 2 ton TNT patlayıcısı tanımlanmış ve patlama 3 ms için gerçekleştirilmiştir. Binanın deforme olmuş hali, basınç değerleri ve hasar oranlarına bakılarak binanın patlama olayından çok etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Cömert (2010), betonarme yapıların patlama etkileri altındaki değerlendirmelerini adım adım anlatmıştır. Patlama çeşitleri, patlamanın yapılar üzerindeki etkileri ve patlama etkilerine karşı yapıların modellenmesi ele alınmıştır. . Betonarme elemanlar için çeşitli kaynakları kullanarak olabilecek patlamalar sonucundaki performanslarını belirlemiştir. Bu çalışmaların yanında ülkemizdeki şartları içeren iki farklı örnek incelenmiştir. İlk örnekte 2008 yılında yaşanan barut üretim tesisindeki bir patlamanın hasar değerlendirmesi ve patlama yükleri çözümlemeleri incelenmiştir. İkinci örnekte ise 1970’li yıllarda inşa edilen 4 katlı betonarme bir binaya saldırı senaryoları kurgulanmış ve NONLIN programı ile elemanların performans seviyeleri belirlenmiştir.

Shallan ve ark. (2014) patlama yüklerinin etkilerini, farklı en boy oranlarına sahip üç binada sayısal simülasyonlar yoluyla araştırmışlardır. Binaların modellenmesinde ANSYS AUTODYN sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. İki farklı konumda bulunan

ve binadan farklı mesafelerdeki patlama yükleri uygulanmıştır. Binadan uzaklaştıkça patlama yüklerinin etkisinin azaldığı ve binaların en boy oranının değişmesiyle kolonun patlama yükü karşısında yer değiştirmesinde bir değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır.

Sevim ve ark. (2019), patlamanın yapılar üzerindeki etkilerinin son yıllarda önemli hale gelmesiyle patlama etkisinin binalar üzerindeki yapısal tepkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında iki katlı betonarme bir binanın farklı patlayıcı ağırlıklarındaki patlama tepkisi analiz edilmiştir. Patlama grafik, tablolar ve deneye dayalı formüllerle açıklanmıştır. İki katlı betonarme binanın elemanları olan kolon, giriş, döşemeleri duvar ve pencereleri ANSYS Workbench yazılımında modellenmiştir. 100 kg, 250 kg ve 500 kg TNT patlayıcıları 3ms süreyle patlatılmıştır. Analizler malzemelerin darbe, yüksek basınç ve patlamadan kaynaklanmış olan kısa süreli şiddetli yüklere tepkisinin sayısal simülasyonu ANSYS Autodyn yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir patlamanın deformasyona uğramış şekilleri, basınç değerleri ve gerilmeleri, kontur diyagramları, tablolar ve grafikler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda TNT patlayıcı ağırlıklarının modellenen betonarme binanın tepkisini önemli derece etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Jayasooriya (2010) bu çalışmada, gelecekteki yapılar için kapsamlı ve ekonomik tasarım stratejisinin geliştirilmesi göz önüne alınarak betonarme çerçeveli binaların yük taşıyan temel yapısal elemanlarını yakın alan patlamalarındaki tepkisini ve hasarı incelemektedir. Araştırmada yapısal çerçeve sistemi ve elemanları incelemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. SAP2000 VE LSDYNA yazılımları kullanılarak bir analiz gerçekleştirilmiştir. Farklı patlama yükleri için betonarme çerçeve binanın hasar ve tepkileri araştırılmıştır. Kolonlarda kapasiteyi artırmak için iki tip tasarım önerilmiştir. Bunlardan biri çok katmanlı çelik takviye kafesleri ile detaylandırılan betonarme kolonlar diğeri ise merkezi bir yapısal çelik çekirdek içeren bir kompozit kolonlardır. Bu tasarımlarda kolonun yerçekimi kuvvetine dayanma kapasitesini artırmak amaçlanmıştır.

Toplu (2020) tarafından yapılan çalışmada, patlama yükleri deprem yüklerinden ayrı, ani bir yük olarak oluştuğundan sismik yalıtım araçlarının patlama yüklerine karşı etkisi olup olmadığı bilinmediği için sismik yalıtımlı olarak modellenen yapılarıdaki patlama etkileri incelenmiştir. Sismik yalıtımsız yapı ile karşılaştırması yapılmıştır. SAP2000 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak bina modellenmiş ve analiz edilmiştir.

Kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyiciler sismik yalıtım aracı olarak kullanılmıştır. Yapının farklı mesafe ve farklı patlayıcı ağırlıkları etkisi altındaki etki ve kapasiteleri değerlendirilmiştir. Bomba yüklü bir aracın hedeflenen yapıya çeşitli mesafelerde patlatılması sonucu patlama etkilerini dikkate alan bir senaryo kurgulanmıştır. Sismik yalıtımlı ve sismik yalıtımsız olarak tasarlanan binaların patlama yükleri altındaki dinamik davranışı incelenmiş ve performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda yalıtım malzemesi olarak kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk sönümleyicilerin patlamanın etkilerini sönümlemede etkili olduğu ve katlar arasındaki yer değiştirmeleri azaltarak yapıya etki eden darbe yüklerini sönümlediği görülmüştür.

Ma ve ark. (2000) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, yapıların maruz kaldığı zemin gerilmesini doğrusal olmayan dinamik analizi temel alarak yapılardaki hasar değerlendirmelerini ele almışlardır. ANSYS Autodyn sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak patlama hareketi modellenmiştir. İngiliz standartlarına uygun olarak tasarlanmış üç farklı tipteki betonarme çerçeve modeli kullanılmıştır. Yapının tipi, yük ile olan mesafesi, zemin ve patlama koşulları gibi parametreler kullanılarak bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda deneysel araştırmalara dayanan PPV (Pozitif Basınç Ventilasyon) değerinin belirli bir değerin aşağısında kalırsa patlamaların yapılar için güvenli olabileceği sonucuna varılmıştır.

Polat (2021) bu deneysel çalışmada, betonarme odaların tekrarlanan iç patlamalara maruz kalması durumundaki davranışı incelenmiştir. Çalışmada, tüm yapı elemanları betonarme olan bir oda yapılmıştır. Değişken olarak patlayıcı miktarının ve duvardan olan uzaklığın alındığı dört farklı patlama testi gerçekleştirilmiştir. Her patlama testi esnasında bir piezoelektrik basınçölçer cihaz tarafından basınç verileri elde edilmiştir. Daha sonra tüm duvar ve tavandaki çatlak oluşumlarının bir taslağı çizilmiştir. Her patlama testi basınç, çatlak ve deformasyon verileri kullanılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Testlerden elde edilen verileri değerlendirmek amacıyla ABAQUS yazılımı üzerinden betonarme odanın analizi gerçekleştirilmiş. Yapı elemanlarının analiz üzerinden elde edilen davranışı ve deneysel çalışmalar ışığında elde edilen ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

Draganic ve ark. (2018), patlama olaylarının sayısal analizlerinde elde edilen sonuçların çoğunlukla mesh boyutuna bağlı olduğunu belirleyen bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Analizler gerçekleştirirken çok uzun işlem süresi gerektirdiğinden hesaplamayı hızlandıracak ve yeterli sonuçlar verecek en uygun mesh boyutu belirlenmiştir. ANSYS Autodyn yazılımı patlamanın modellenmesi için kullanılmıştır. Yapılan analizler sonrasında sonuçların büyük ölçüde mesh boyutuna bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Altunışık ve ark. (2021), bu çalışmada betonarme binalarda patlama olayları üzerindeki beton mukavemeti ve dolgu duvardaki açıklıklar gibi tasarım kriterlerinin etkilerini, sayısal ve ampirik yöntemlerle araştırmışlardır. Deneysel testler ve sonlu eleman olarak modellenen çalışmadan oluşmaktadır. İlk olarak tuğla elemanlardan oluşturulmuş bir test numunesi üzerinde patlama gerçekleştirilmiştir. Patlama deneyinde 40, 150 ve 290 g TNT patlayıcısı kullanılmıştır. Daha sonra ise farklı bir uygulama olarak tek katlı iki farklı betonarme bina seçilmiştir. Sayısal ve ampirik yöntemlerle patlama analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapısal sonlu eleman modelleri ANSYS Workbench yazılımında modellenmiştir. Patlama analizi için model ANSYS Autodyn yazılımına aktarılmış ve 100 kg TNT patlayıcısı kullanılmıştır. Patlama basınçları, yer değiştirmeler, toplam enerjiler ve hasar oranları elde edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlar grafik ve tablolarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, beton dayanımının artmasıyla basınç değerlerinin ve maksimum yer değiştirmelerin azaldığı gözlemlenmiştir.

Cömert ve ark. (2009), son yıllarda dünyanın her yerinde insanların ve yapıların terör saldırılarına maruz kalması sonucu oluşan can ve mal kaybının azaltılması gerektirdiğini vurgulamıştır. Bu sonuçtan yola çıkarak binaların tasarımında patlama yükü etkisinin ihmal edildiğini düşünerek İstanbul'da 1970'lerde inşa edilmiş bir kamu binası iki farklı patlama senaryosu için analiz edilmiştir. Bu senaryolar patlayıcıların farklı konumlarda olması üzerine kurulmuştur. Analiz sonucunda patlama basınçları ve hasar verileri incelenmiştir. Binanın yapısal performansı ve yapı elemanlarının hasar özellikleri açısından değerlendirmeye alınmıştır.

Astaneh- Asl (2010), çalışmasında patlama etkileri altındaki çelik ve kompozit yapıların patlama aşaması sırasında patlama basınçları altında onarılabilir ve öngörülebilir hasar ve aşamalı bir çöküşün olması üzerinde durmuştur. Çelik ve kompozit

yapıların patlama etkisi altında sünek, küçük hasarlı, onarılabilir ve kısmen veya tamamen kademeli çökmesini sağlayacak şekilde tasarımlara öneride bulunmuştur. Örnek olarak 1993 yılında Dünya Ticaret Merkezine yapılan bombalı saldırıcı sonucu binada oluşan patlama hasarı incelenmiştir. Dünya Ticaret Merkezi 6 bodrum kat ve zeminden 4 kat olmak üzere oluşan bu 10 kat eş merkezli çapraz çekirdekli çelik çerçeve sistemde oluşan geleneksel bir yapıya sahipken diğer 100 kat kulenin dört tarafında bulunan sertleştirilmiş çelik levhanın ve çekirdekteki ağırlık kolonlarının yerçekimi yükünü taşıdığı “Çelik Taşıyıcı Duvar” sisteminden oluşmaktadır. Dört taraftaki çelik taşıyıcı duvarlar, rüzgâr yüklerine direnmek, yanal sertlik ve dayanıklılık sağlamak için tasarlanmıştır. Araştırmalara göre bombanın patlaması nedeniyle Dünya Ticaret Merkezi ana sütun ve braketlerinde hasar olduğu verilerine ulaşılmıştır. Çalışmada incelenen diğer bir örnek ise açık çelik kesitlerdeki flanş katlanmasının önlenmesidir. Patlamaya maruz kalan kolon bölümleri temsil eden çelik geniş flanş elemanın yapısal tepkisinin ölçmek ve flanş katlanmasının önlenmesi amaçlanmıştır. İncelenen kolon çekirdek kısmında bir adet W14x145 çelik bir flanşdan ve etrafında bulunan iki adet L şekilden prefabrike beton elemanlardan oluşmaktadır. Çelik flanş ilk olarak tek bir şekilde ikincisinde ise prefabrike betonarme elemanlarla muhafaza edilerek analiz edilmiş. Analiz sonucunda muhafaza edilerek oluşturulan elemanın flanşların katlanmasını önlemede oldukça etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Al- Zuhairi ve ark. (2016), askeri, ticari ve diğer binaların korunmasında betonarme duvarlar oldukça önemlidir. Bu çalışmada 50 kg ve 400 kg TNT patlayıcısına maruz kalan betonarme duvarın patlama etkileri incelenmiştir. Patlama analizinde ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Patlayıcı ile duvar arasındaki mesafe 2 m olarak belirlenmiştir. 50 kg patlayıcı ağırlığında betonarme duvar patlamaya karşı iyi bir şekilde direnç gösterirken, 400 kg patlayıcı ağırlığı kullanıldığında duvar tamamen yıkılmıştır.

Philip ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, kaza ile olan ve diğer patlama olayları altında, terör saldırılarını önlemede ve patlama yüküne maruz kalan yapılarda girişlerin hasar oranını analiz etmenin ve değerlendirmenin önemine dikkat çekmiştir. Bu çalışmada betonarme bir giriş elemanın yakın mesafe patlama yüklemesi altındaki etkileri araştırılmıştır. Analizde ANSYS Autodyn programı kullanılmıştır. Kullanılan patlayıcı ağırlığı 360 gr TNT’dir. Patlayıcı giriş merkezinden 0,5 m mesafede konumlandırılmıştır.

Analiz sonucunda toplam deformasyon, eşdeğer gerilme ve maksimum asal gerilme değerleri incelenmiştir.

Fairlie (1998), tarafından yapılan çalışmada, hava, su ve yer altındaki patlayıcı maddelerin davranışlarının etkileri incelenmiştir. Sayısal analiz çalışması olarak bir caddedeki patlamanın etrafındaki yapılara olan etkileri, askeri mühimmatların olduğu bir deponun patlama karşısındaki yapısal tepkisi, mermiler ve savaş başlığı gibi malzemelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler ANSYS Autodyn programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Hacıfendioğlu ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada yeraltında yaşanan rastlantısal patlamalar ve depremde kaynaklanan hareketlenmelerle karşı karşıya kalan ve yığma olarak inşa edilen minarelerin sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analiz çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analiz çalışmasında amaç, patlamadan kaynaklanan hareketlerin minare üzerindeki tepkisini ölçmektir. Farklı patlayıcı ağırlıkları ve farklı mesafe parametrelerine dayanan bir analiz yapılmıştır. Sonlu eleman modelinin oluşturmak için ANSYS programı kullanılmıştır. Rastlantısal patlama hareketinden kaynaklanan analiz sonucunda patlayıcı yükü arttıkça minarenin dinamik tepkisinin arttığı, mesafenin artmasıyla da azaldığı gözlemlenmiştir. Depremde kaynaklanan analiz sonucunda ise minarenin tepkisinin zemin yumuşaklığı ile arttığı sonucuna varılmıştır. Gerilme yığılmalarının en çok kapı çevresinde ve minarenin geçiş kısımlarında olduğu ortaya koyulmuştur.

Godio ve ark. (2021), donatısız yığma duvarın serbest bir alan patlamasına maruz kalmasıyla gerçekleşen tepkisini, sayısal ve deneysel yaklaşımları ele alarak incelemişlerdir. Yığma duvarlar büyük ve ağır oldukları için patlama hareketine karşı koruyucu olarak davranırlar. Donatısız olarak tasarladıkları için sınırlı eğilme ve burkulma kapasitesine sahip oldukları bilinmektedir. Donatısız yığma duvarların patlamalara olan tepkisi hem duvarın hem de patlama hareketinin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimleri incelemek için sayısal ve deneysel uygulamalardan yararlanılmaktadır. Deneysel uygulama kapsamında, test edilecek yapının tasarımı ve kurulumu, sınır koşulları ve ölçüm teknikleri dikkate alınarak bir çalışma yapılmıştır. Sayısal uygulamada ise ANSYS Ls- Dyna programında modellenen donatısız duvarın

analizi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra modeller arasında karşılaştırma yapılarak patlama senaryosu ve duvar tasarımı için öneriler sunulmaktadır.

Khan ve ark. (2019), iki farklı TNT ağırlığındaki patlamanın donatılı yığma duvarlara olan etkisini araştırmışlardır. Hesaplama adımlarını kolaylaştırmak için karşılıklı iki yapısal duvar dışına donatılı güvenlik duvarı konumlandırılmıştır. Duvarın yer değiştirmesi üç farklı ölçüm noktasından alınan veriler ile değerlendirilmiştir. Duvarın modelleme ve analizinde ANSYS Autodyn yazılımı kullanılmıştır. Duvarın, patlama etkisi karşındaki dayanımını artırmak için çelik şeritler kullanılmış ve iyi bir güçlendirme tekniği olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Wu ve ark. (2004) betonarme bir yapıda, patlamadan kaynaklı zemin uyarılarına maruz kalan yapı temeli, kum tabakası ile izole edildiğinde meydana gelen etkileri incelenmiştir. Analiz için ANSYS Autodyn yazılımı kullanılmıştır. Analiz sonucunda kum tabakası oluşturularak yapılan izolasyon işleminin yapısal tepki ve patlamadan dolayı oluşan hareketin etkisini ve hasarı azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Wu ve ark. (2005), patlama olayı esnasında yapılarda oluşan zemin yer hareketi ve hava basıncının etkisini incelemişlerdir. Hava basıncı yer hareketine göre yapıya daha geç ulaşmış olsa da yapının aldığı hasarda etkili olmaktadır. Hasar tahminin doğru bir şekilde yapılması için hem yer hareketinin hem de hava basıncının etkisi göz önüne alınmalıdır. Bu durumu incelemek için rijit bir duvar modeli kullanılmıştır. Duvar modeli etrafına hava tanımlaması yapılmıştır. Analizler ise ANSYS Autodyn programında gerçekleştirilmiştir. Basınç dağılımı, yer hareketinin zarf fonksiyonu, gecikme süresi ve güç spektrumu gibi parametreler üzerinden incelemeler yapılmıştır.

Wu ve ark. (2005) çalışmalarında, iki katlı yığma yapı ile iki katlı ve altı katlı dolgu duvarlı betonarme çerçeve sisteminde patlamadan dolayı oluşan yer hareketi etkilerini incelemişlerdir. Patlama analizleri ANSYS Autodyn yazılımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda aynı yer hareketine maruz kalan iki katlı yapılardan en çok hasarı yığma yapı almıştır. Altı katlı olan betonarme yapının ise en az hasar alan model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Geçişte Yaşanmış Bazı Patlama Olayları

Ülkemizde ve dünyada son zamanlarda artan terör saldırıları ve kaza sonucu meydana gelen birçok patlama, mevcutta bulunan binalar için bu etkilerin tekrar gözden geçirilmesine ve yeni yapılacak olanlar için patlama etkilerinin yapı tasarımıda göz önünde bulundurulmasına olan gerekliliği ortaya çıkarmıştır. Patlamalar sonucunda birçok can kaybı ve binalarda oluşan hasar sonucu maddi kayıp meydana gelmiştir (Cömert,2010).

Terörizm insan hayatını etkileyen ve insanların korku içinde yaşamasına sebep olan bir gerçek haline gelmiştir. Tehlike arz eden bu oluşum birkaç yüzyılda geçirdiği değişimler ile bugünkü boyutuna ulaşmıştır. Son yıllarda ülkemizde ve dünyada birçok önemli patlama yaşanmıştır (Cömert,2010).

19 Nisan 1995 yılında, Amerika'nın Oklahoma şehrinde bulunan Alfred P. Murrah Federal Binası terörist aracıyla bombalanmış ve binanın büyük bir kısmına hasar vermiştir. 168 kişi can vermiş ve 680'den fazla kişi yaralanmıştır. Yok olan binalar ve yok olan araçlarla birlikte zarar yaklaşık 652 milyon dolara ulaşmıştır. Patlama sonrası bina görüntüsü Şekil 3.1.' de gösterilmektedir (Saidou,2018).



Şekil 3.1. Alfred P. Murrah Federal Binası bombalanması sonrası (Cömert,2010)

26 Ağustos 2016'da Türkiye'nin Şırnak ilinin Cizre ilçesinde bulunan polis binasına bombalı saldırı yapılmıştır. Bu saldırıda 11 kişi ölmüş ve birçok kişi de yaralanmıştır (BBC).



Şekil 3.2. Türkiye'nin Cizre ilçesi polis karakolu önünde bomba yüklü araç saldırısı (BBC)

Kaza sonucu meydana gelen patlamalar, yakıt tesisleri, patlayıcı depoları, kimyasal üretim yapan tesisler, endüstriyel yapılarda ve havai fişek fabrikası gibi birçok yapıda pek çok nedenden dolayı oluşan patlamalardır.

3 Temmuz 2020'de Türkiye'nin Sakarya ilinin Hendek ilçesinde bulunan havai fişek fabrikasında patlama meydana gelmiştir. Bu patlamada 7 kişi can vermiş ve 127 kişi yaralanmıştır. 9 Temmuz 2020'de binadaki havai fişekler tahliye edilirken 3 jandarma hayatını kaybetmiş ve 10 kişide yaralanmıştır (Vikipedi).



Şekil 3.3. Türkiye'nin Hendek ilçesinde havai fişek fabrikasında patlama (Vikipedi)

20 Kasım 2003'te İstanbul'un Levent ilçesinde HSCS Genel Müdürlük Binası'na 5 metre mesafede bomba yüklü bir kamyonet patlatılmıştır. Patlayıcının 2350 kg'lık amonyum sülfat, nitrat, hidrojen peroksit, aseton ve suni gübreden oluştuğu belirlenmiştir. Patlama sonucunda 17 kişi hayatını kaybetmiş ve 205 kişide yaralanmıştır (Mimarlık Dergisi,2004).



Şekil 3.4. Türkiye'nin İstanbul ilinde HSCB binasında patlama (NTV)

3.2. Patlama Kavramı

Patlama, en basit haliyle kısa bir sürede gerçekleşen geniş çaplı kimyasal reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan ani bir enerji salınımı olarak ifade edilir. Bu enerji salınımı ortamdaki havayı yüksek bir sıcaklığa ($3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve çok yüksek bir basınca ($3 \times 10^7\text{ Pa}$) dönüştürür. Çok yüksek hızda (7000 m/s) hareket eden çok yüksek basınçlı gazın patlama kaynağından uzak bölgelere yayılmasıyla şok dalgaları oluşur (Jayasooriya, 2010; UFC 3-340-02, 2008).

3.3. Ölçeklenmiş Mesafe

Patlama olaylarındaki etkilerin verilerle desteklenmesi amacıyla deneysel yöntemlerle elde edilen verilere ihtiyaç duyulmuştur (Toplu, 2020). Patlama yükü hesap edilirken uzaklık ve patlayıcı kütlesi gibi parametrelere ihtiyaç duyulur. Bu parametreler birleştirilerek ölçeklenmiş mesafe olarak adlandırılan bir fonksiyon oluşturulmuştur (Toy, 2022). Bu fonksiyon üçüncü kök ölçekleme yasası veya Hopkinson-Cranz yasası olarak da adlandırılmaktadır. Ölçeklenmiş mesafenin matematiksel ifadesi aşağıda Denklem 3.1'de verilmiştir.

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \quad (3.1)$$

Bu ifade de;

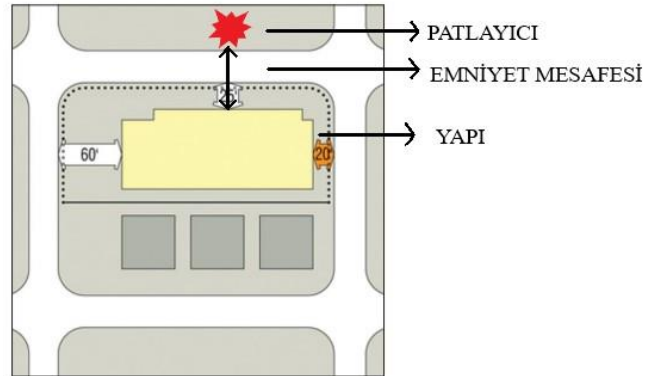
Z=Ölçeklenmiş mesafe (m/kg^{1/3})

R=Yapı ile patlayıcı merkezi arasındaki uzaklık (m)

W=TNT cinsinden patlayıcı kütlesi (kg)

3.4. Emniyet Mesafesi

Patlama parametrelerinin tamamı, patlamanın oluşmasından itibaren çevreye yayılan enerji miktarına ve patlamanın başlangıcından belirlenen hedefle arasında olan mesafeye bağlıdır (Jayasooriya, 2010). Binaya patlayıcı bir madde ya da cihazın yaklaşabildiği en yakın nokta emniyet mesafesi olarak adlandırılır (FEMA-426, 2011). Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

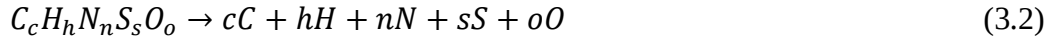


Şekil 3.5. Emniyet Mesafesi (FEMA-426, 2011)

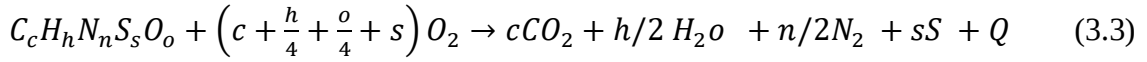
3.5. Patlayıcı Maddeler

Yakıldığı zaman hızlı bir şekilde genişerek gazlar oluşturup ortamda ani yüksek basınç ve şok dalgası oluşturan maddelere patlayıcı madde denir (Al-Juneed, 2020; Cömert, 2010). Patlama olaylarında ev yapımı, askeri ve ticari olarak elde edilebilen türlerde patlayıcı maddeler kullanılabilir. Patlayıcılar patlamanın hızına, patlayıcı miktarı ve sonucunda açığa çıkardığı enerjiye göre birbirlerinden ayrılırlar (Ekermen, 2022). Patlamaları değerlendirmek için patlayıcı maddenin özellikleri bilinmelidir (Jayasooriya, 2010). Genel olarak patlayıcılar karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen ve sülfür gibi

maddelerin farklı birleşimlerden oluşmaktadır (Cömert, 2010). Patlayıcı maddeler için Denklem 3.2.’deki gibi bir ayrışma denklemi yazılabilir.



Bu patlayıcılar için Denklem 3.3.’teki gibi bir yanma denklemi yazılabilir. Bu denklemde yanma sonucunda oluşan enerji Q yanma enerjisi olarak ifade edilir.



Patlayıcı maddeler patlamaların oluşum şekillerine göre ve patlayıcının fiziksel haline göre sınıflandırılır.

Patlamalar oluşum şekilleri incelenerek 3 temel kategoriye ayrılır. Kimyasal patlamalar, fiziksel patlamalar ve nükleer patlamalardır. Kimyasal patlamalar, karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarının tepkime hızı yüksek egzotermik reaksiyonları sonucunda oluşur. Fiziksel patlamalar, enerjisi sıkıştırılmış olan gazın bir anda ortaya çıkmasıyla oluşurken volkanik patlamalar farklı iki sıcaklıktaki iki sıvının karışımı sonucunda oluşan patlamalardır. Nükleer patlamalar, atom çekirdeğinde yeniden dağılan nötron ve protonların çekirdeği aktif hale getirmesiyle oluşan patlama türüdür (Kölemenoglu,2021; Toplu, 2020; Önalın, 2019).

Patlayıcı maddeler fiziksel haline göre katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılabilir. Sıvı ve gaz patlayıcılar kimyasal, yakıt ve itici gazların üretimi olmak üzere birçok alanda kullanımı mevcuttur. Katı patlayıcılar çok güçlü patlayıcı maddelerdir. Yanıcı kimyasal ve itici maddeler gibi diğer malzemelerde, katı patlayıcı malzemeler olarak tanımlanır (Al-Juneed, 2020; Önalın, 2019). Bu tür patlayıcılar ateşleme duyarlılıklarına göre birincil ve ikincil patlayıcı olarak 2 kategoride sınıflandırılır.

Birincil patlayıcılar oldukça duyarlı olup patlamaları için az miktarda enerjiye ihtiyaç duyarlar (Kar, 2022). Bu tür patlayıcılar yanma olayı olmadan patlamaya geçerler. Küçük bir ateş parçasıyla, ısı, şok, hafif bir darbe veya farklı bir etkileşimle basit bir şekilde patlatılabilen patlayıcılardır. (Şen, 2013; Ekermen, 2022). Güvenliğin sağlanması

açısından çok az miktarlarda kullanılmaya dikkat edilmelidir. Birincil patlayıcılar ikincil patlayıcılarla kıyaslandığı zaman çok fazla ısı ve şok dalgası oluşturur fakat patlama hızı ve basıncı ikincil patlayıcılardan genelde daha düşüktür (Şen, 2013). Civa fulminat, kurşun azit, gümüş azadür ve diazodinitrofenol örnek verilebilir (Kar, 2022; Şen 2013).

İkincil patlayıcılar birincil patlayıcılara kıyasla darbeye, sürtünmeye ve ısı gibi etkenlere daha az hassasiyet gösterdikleri için ateşlenmeleri daha zor gerçekleşir (Şen 2013). İkincil patlayıcılar daha çok güce sahip olduklarından dolayı yıkma ve parçalama gibi olaylarda tercih edilirler ve bu yüzden daha büyük hasara sebep olurlar (Kar, 2022; Al-Juneed,2020). TNT, ANFO, RDX, NG ve HMX gibi patlayıcılar örnek olarak verilebilir (Şen 2013).

3.5.1. TNT

En çok bilinen güçlü patlayıcı türlerinden biri TNT'dir. German Wilbrand tarafından 1863 yılında bir karbon atomuna bağlı nitro- patlayıcı çeşitleri arasında geliştirilmiştir. Sarımtırak renkli, katı, 80.6 °C eriyebilen, özgül enerjisi 4520 kJ/kg ve yoğunluğu 1,63 gr/ cm³ olan kimyasal patlayıcı bir maddedir. TNT üç adımda sentezlenip patlayıcı olarak kullanıma hazır hale gelir. Trinitrotoluen (TNT) olarak adlandırılan kimyasal bileşiğin formülü C₆H₂(NO₂)₃CH₃ şeklindedir (Önalın F, 2019). TNT patlayıcısının patlama tepkimesi Denklem 3.4.'deki gibi ifade edilmektedir.



3.5.1.1. TNT Eşdeğeri

Patlamalarda çeşitli patlayıcı maddeler kullanılabilir (Jayasooriya,2010). Patlayıcılar yandığı zaman farklı enerjiler açığa çıkarır. Bunun sonucunda da farklı etkiler ortaya çıkarır. Bu farklı etkileri değerlendirmek için TNT denklikleri kullanılmaktadır (Önalın, 2019). İfade edilen denklikler ile patlayıcının ağırlık olarak TNT eşdeğeri hesaplanmaktadır.

Farklı patlayıcı türlerinin TNT 'ye dönüşümünü sağlayacak olan denklik ifadesinde, ilk olarak patlayıcı yük kütlesinin TNT 'nin eşdeğer kütlesine dönüşümü

gerçekleştirilir. Patlayıcı yük kütlesi bulunurken bir dönüşüm faktörünün kendi özel enerjisiyle ve TNT ile çarpılmasıyla elde edilir (Al-Juneed, 2020; Cömert, 2010; Jayasooriya,2010). Bu ifade Denklem 3.5.'te verilmiştir. Çizelge 3.1.'de bazı patlayıcı maddelerin TNT eşdeğerleri verilmiştir.

$$W_{TNT} = \frac{Q_S}{Q_{TNT}} W_X \quad (3.5)$$

W_{TNT} = TNT eşdeğer kütlesi

W_X = Patlayıcının kütlesi

Q_S = Patlayıcının kütleye özgül enerjisi

Q_{TNT} = TNT'nin kütleye özgül enerjisi

Çizelge 3.1: Patlayıcı maddelerin TNT dönüşüm faktörleri (Al-Juneed, 2020)

Patlayıcı	Spesifik Enerji	TNT Eşdeğeri
	Q_S (Kj/kg)	$\frac{Q_S}{Q_{TNT}}$
Compound B (%60 RDX %40 TNT)	5190	1.148
RDX (Cyclonite)	5360	1.185
Nitroglcerin	6700	1.481
TNT	4520	1.000
Blasting Gelatin	4520	1.000
Semtex	5660	1.250
C4	6057	1.340
HMX	5680	1.256

Yapılan çalışmalar sonucunda terör saldırılarında kullanılan araçların patlayıcı yükleme kapasiteleri aşağıdaki Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Araçların tahmini patlayıcı yük kapasiteleri (Toy,2022)

Araç Tipi	Yük Kapasitesi (Kg)
Binek Araba Bagajı	115
Geniş Araba Bagajı	230
Kapalı Kamyonet	680
Kapalı Kamyon	2270
Römorklu Kamyon	13610
Çift Römorklu Kamyon	27220

3.6. Patlama Tiplerinin Sınıflandırılması

Patlamaların yapılar üzerindeki etkileri incelendiği zaman patlayıcının miktarı ve çeşidi, yapıdaki konumu, yapının iç kısmında veya dışarda bir konumda yer alması, zeminden belirli bir mesafe yükseklikte ya da yerin altında bulunması, açık veya sınırlandırılmış ortamlarda meydana gelmesi gibi farklılıklar oluşan hasarda en önemli etkenler olarak öne çıkar (Önalın, 2019).

Patlamaların yapılar üzerinde olan etkileri sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış ortamlarda oluşan patlamalar olarak iki farklı sınıfta incelenmektedir. Bu noktada Amerikan Ordusu tarafından hazırlanan UFC 3-340-02 yönetmeliğinden faydalanılabilir. Çizelge 3.3.'e bakıldığında, patlama sınırlandırılmış ve serbest ortam olmak üzere iki temel ve şiddetli yük kategorisine göre altı alt gruba ayrılmıştır (Önalın, 2019).

Çizelge 3.3: Patlama yük kategorileri (Önalın, 2019; UFC 3-340-02,2008)

Patlama Yük Kategorisi		
Kapalılık Durumu	Sınıflandırma	Basınç Yükleri
Sınırlandırılmamış (Serbest)	Serbest Ortamda Patlama	Yansıtılmamış
	Yerden Belirli Bir Yükseklikte	Yansıyan
	Meydana Gelen Patlama	
	Zemin Yüzeyinde Oluşan Patlama	Yansıyan
Sınırlandırılmış (Kapalı)	Tamamen Havalandırma Boşluklu	İç şok
		Sızıntı
	Kısmen Sınırlandırılmış	İç şok
		İç gaz
	Tamamen Sınırlandırılmış	Sızıntı
		İç şok
		İç gaz

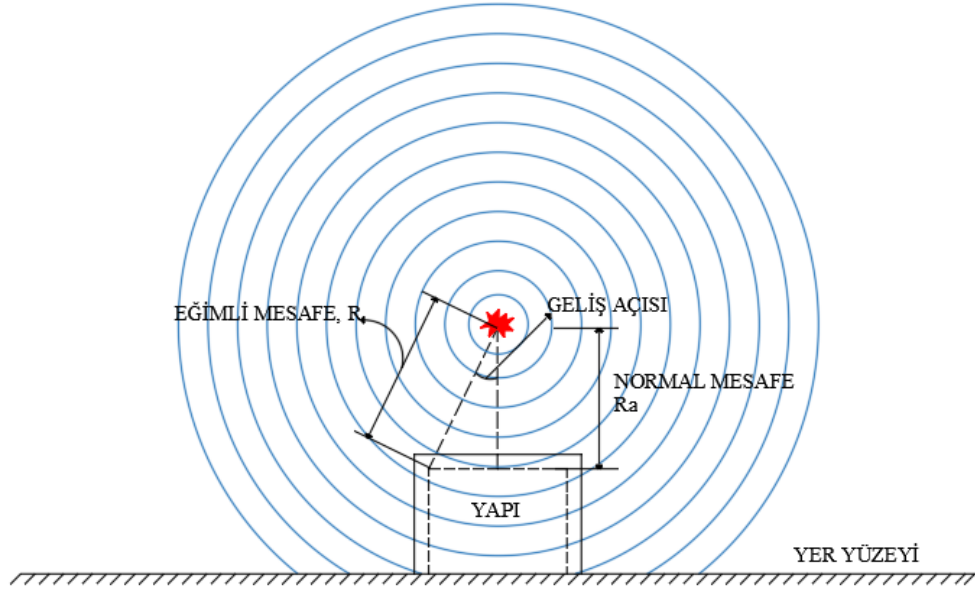
3.6.1. Sınırlandırılmamış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar

Yapının dışında bir konumda meydana gelen bir patlama türüdür. Serbest ortamda, yerden belirli bir yükseklikte ve zemin yüzeyinde meydana gelen patlamalar olmak üzere 3 farklı sınıfa ayrılır.

3.6.1.1. Serbest Ortamda Yaşanan Patlamalar

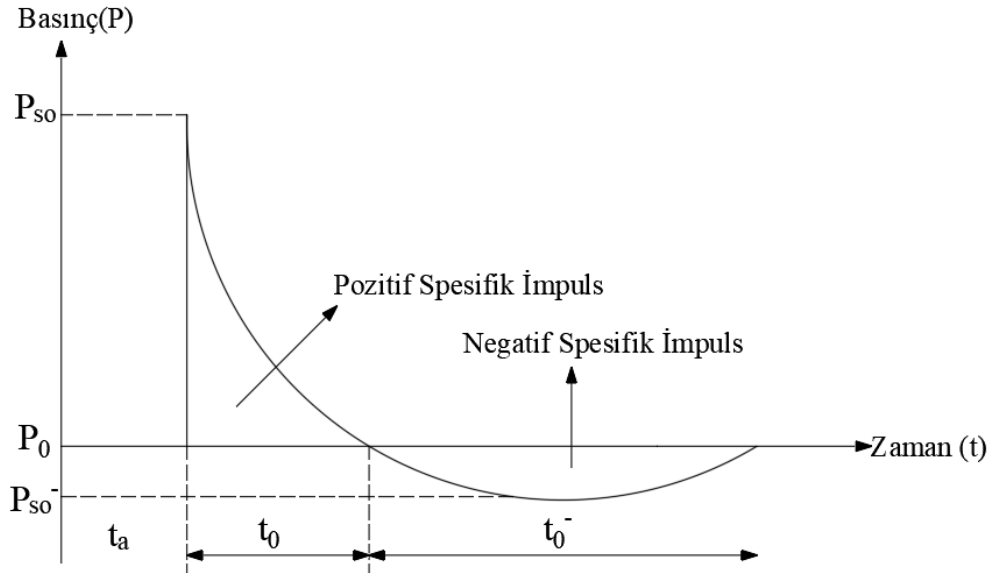
Serbest ortamda yaşanan bir patlamada patlamanın merkezi yapının hemen yanında veya üstünden konumlanmıştır (Al-Juneed, 2020). Patlayıcının havada patlamasıyla birlikte patlama dalgaları yapıya doğru hareket ederken küresel dalgalar halinde yayılır. (Al-Juneed, 2020; Toplu, 2020). Zemin veya başka bir engelle takılmadan direkt olarak yapıya etki eder (Önalın, 2019; Toplu, 2020). Patlama dalgası yapı ile karşılaştığında aşırı basınç, dinamik basınç ve yansıyan basınç olmak üzere üç farklı basınç tipi şeklinde yapıya etki eder. Yansıyan basınç, patlamanın merkezinde oluşan şok dalgalarının yapı ile karşılaşarak sıkışmasıyla oluşur. Patlama dalgasını takip eden rüzgâr emme kuvveti de dinamik basınca bağlı olarak değişir. Çoğunlukla atmosfer basıncına eşit ya da daha büyüktür. Aşırı basınç ve dinamik basınç etkisini kısa bir zamanda kaybederek basınç değeri atmosfer basıncının altına düşer ve vakum etkisi oluşur

(Önalın, 2019).Serbest hava patlamasında oluşan şok dalgası yayılımı Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Serbest havada yaşanan patlama dalgasının yayılımı (UFC 3-340-02,2008)

Serbest bir ortamda yaşanan patlamaya ait patlama dalgası basınç- zaman grafiği Şekil 3.7.' deki gibidir.



Şekil 3.7. Patlama dalgası basınç-zaman grafiği (UFC 3-340-02,2008)

P_{so} : Maksimum pozitif pik basınç

P_o : Atmosfer basıncı

P_{so}^- : Maksimum negatif pik basınç

t_a : Basınç dalgasının yüzeye ulaşma süresi

t_o : Pozitif faz süresi

t_o^- : Negatif faz süresi

İmpuls kavramı patlamadan kaynaklı yapıya etki eden basıncın bir ölçüsüdür (Cömert,2010; Önalın, 2019). İmpulsun matematiksel ifadesi Denklem 3.6.'da gösterilmiştir. Matematiksel ifadeden de anlaşılacağı gibi Şekil 3.7.'de verilen basınç-zaman grafiğinin altında kalan alan İmpuls değerini vermektedir (Cömert,2010). (Denklem 3.7).

$$I_s = \int P(t)dt \quad (3.6)$$

$$I_s = \frac{1}{2} t_o P_{so} \quad (3.7)$$

Burada;

I_s : İmpuls (MPa-ms)

$P(t)$: Basınç fonksiyonu

t : zaman(s)

Patlamanın merkezinden yayılan şok dalgası bir yapı yüzeyiyle karşılaştığında oluşan basınç, yapı yüzeyinden yansır ve arkadan yayılarak ilerleyen patlama dalgasıyla çarpışmasıyla ortamdaki basınç değeri birden yükselir ve maksimum yansıyan basınç değeri (P_r) oluşur. Maksimum aşırı basınç ve maksimum yansıyan basınç arasındaki ilişki, (C_r) maksimum aşırı basınç ve şok dalgasının çarptığı yüzey ile şok dalgasının yaptığı izdüşüm açısına (α) bağlıdır (Cömert,2010; Önalın, 2019). Oluşan bu ilişki Denklem 3.8.'de verilmiştir.

$$P_r = C_r P_{so} \quad (3.8)$$

Basınç dalgasının yüzeye ulaşma süresinin (t_a) belirlenmesine ilişkin matematiksel ifade olan Friedlander denklemi ile patlama dalgası basınç-zaman ilişkisi Denklem 3.9.'daki gibi ifade edilir (Önal, 2019).

$$P(t) = P_o + P_{so} \left(\frac{t-t_a}{t_o} \right) e^{-b \left[\frac{t-t_a}{t_o} \right]} \quad (3.9)$$

Aşağıda verilen Denklem 3.10.'daki b ifadesi çarpışma sonucunda oluşan enerji kaybını veren bir katsayıyı ve Z ise ölçeklenmiş mesafeyi ifade etmektedir. Azalım gösteren yöndeki eğrinin eğiminden bulunmaktadır (Önal, 2019).

$$b = 5.2777 \times Z^{-1.1975} \quad (3.10)$$

Pozitif faz süresini (t_o) bulabilmek için ölçeklenmiş mesafe ve patlayıcı ağırlığına bağlı olarak yazılan denklemlerden yararlanılmaktadır (Önal, 2019). Pozitif faz denklem 3.11 ile ifade edilmektedir.

$$\frac{t_o}{W^{1/3}} = \frac{980 \left[1 + \left(\frac{Z}{0.54} \right)^{10} \right]}{\left[1 + \left(\frac{Z}{0.02} \right)^3 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{0.74} \right)^6 \right] \left[1 + \left(\frac{Z}{6.9} \right)^2 \right]} \quad (3.11)$$

Pozitif faz süresinin belirlenmesinde Denklem 3.6.'daki ifadeden pozitif faz süresi çekilirse Denklem 3.12. elde edilir ve buradan sürenin yaklaşık değerine ulaşılabilir (Önal, 2019).

$$t_o = \frac{2I_s}{P_{so}} \quad (3.12)$$

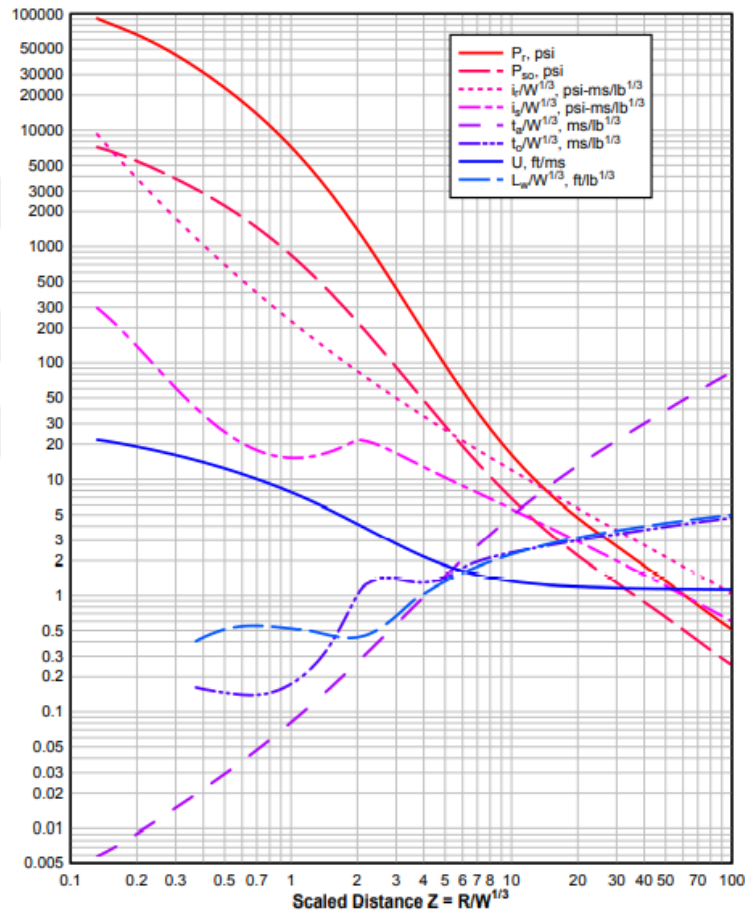
Genelde ihmal edilmesine rağmen bazı durumlarda negatif fazı hesaplamak gerekmektedir. Bu durumda da negatif pik basınç değeri, ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak Brode tarafından belirlenen ve Denklem 3.13.'te gösterilen bar cinsinden ifade ile elde edilmektedir (Önal, 2019).

$$P_{so} = -\frac{0.35}{Z} \quad (3.13)$$

Negatif faza ait impuls değerini belirlemek için Denklem 3.14.'ten yararlanabilir.

$$I_s^- \gg I_s \left[1 - \frac{1}{2Z} \right] \quad (3.14)$$

Amerikan Savunma bakanlığının hazırlamış olduğu UFC 3-340-02 (2008)'de ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak yukarıda formüle edilen yansıyan basınç, pik basınç, impuls ve süre vb. değerler hazırlanan abaklar üzerinden okunmaktadır (Önalın, 2019).

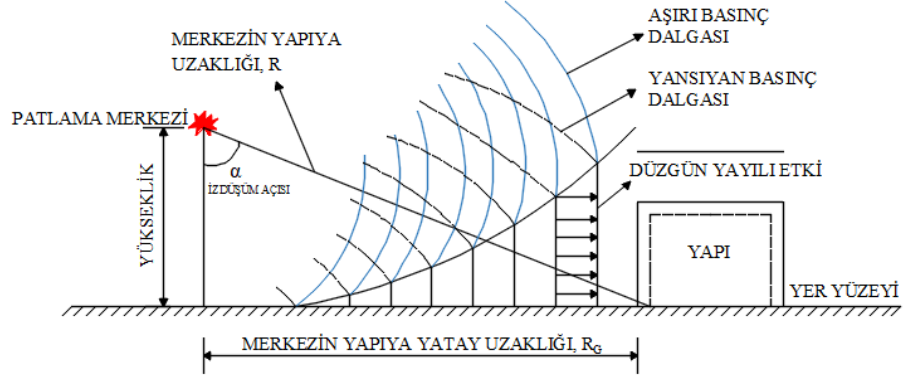


Şekil 3.8. Serbest ortamda yaşanan patlama sonucu oluşan pozitif faz şok dalgası parametreleri (UFC 3-340-02, 2008).

3.6.1.2. Yerden Belirli Bir Yükseklikte Yaşanan Patlamalar

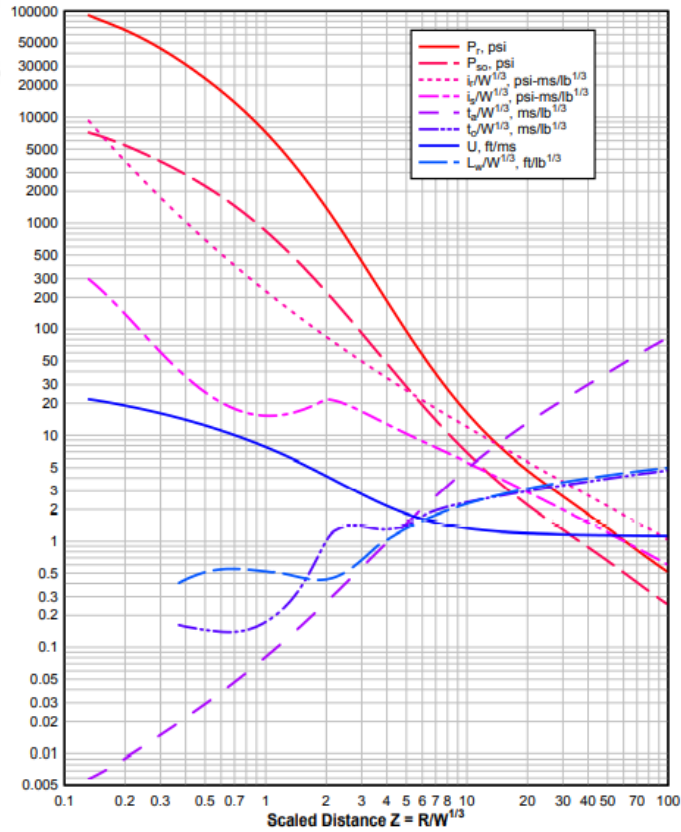
Patlayıcının konumu yer yüzeyinden belirli bir mesafe yüksekte olduğu zaman ilk aşamada patlama dalgaları yapı yüzeyine ulaşmadan önce zemine çarparak hava basıncını oluşturur (Önalın,2019). Şok dalgası yayılırken ilk gelen ve yansıyan dalgalar etkileşime geçerek Mach önü olarak adlandırılan yansıyan dalgaları oluşturmaktadır (Önalın, 2019; Toplu, 2020). Bu kısımda yapıya ulaşan dalgaların belirli bir yüksekliğe kadar yapıya

düzgün yayılı yük olarak etki ettiği kabul edilmektedir (Önalın, 2019; Cömert, 2010). Bu tür patlamalarda dalgalar birleşerek yapıya ulaştığından dolayı serbest ortamda yaşanan patlama türüne göre daha tehlikelidir (Al-Juneed,2020). Yerden belirli bir yükseklikte yaşanan şok dalgasının yayılımı aşağıda Şekil 3.9.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Yerden belli bir mesafede yaşanan patlamanın şok dalgası yayılımı (UFC 3-340-02, 2008).

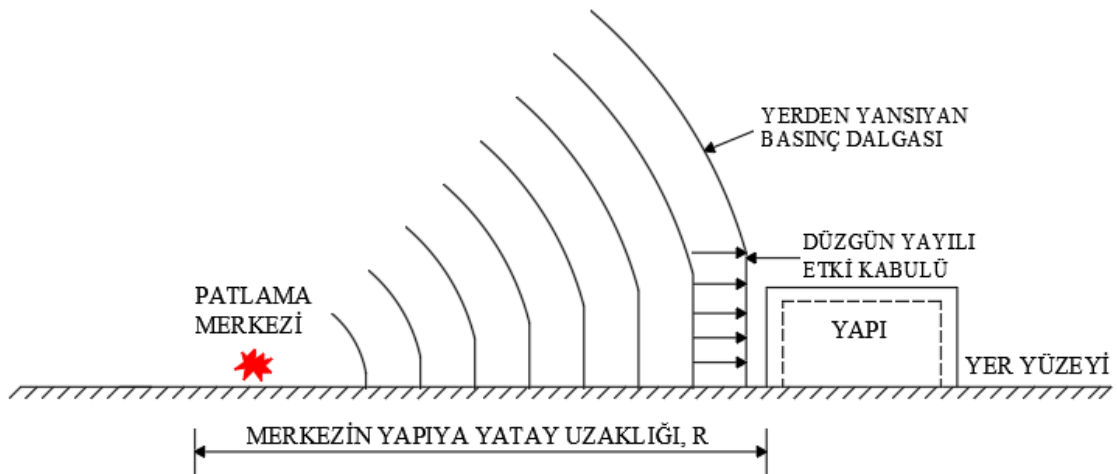
Yerden belirli bir yükseklikte yaşanan patlamaların şok dalgası parametrelerini belirlemek için UFC 3-340-02 (2008)'de ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak hazırlanan Şekil 3.10.'daki abak kullanılmaktadır (UFC 3-340-02, 2008).



Şekil 3.10. Yerden belirli bir yükseklikte yaşanan patlama sonucu oluşan pozitif faz şok dalgası parametreleri (UFC 3-340-02, 2008).

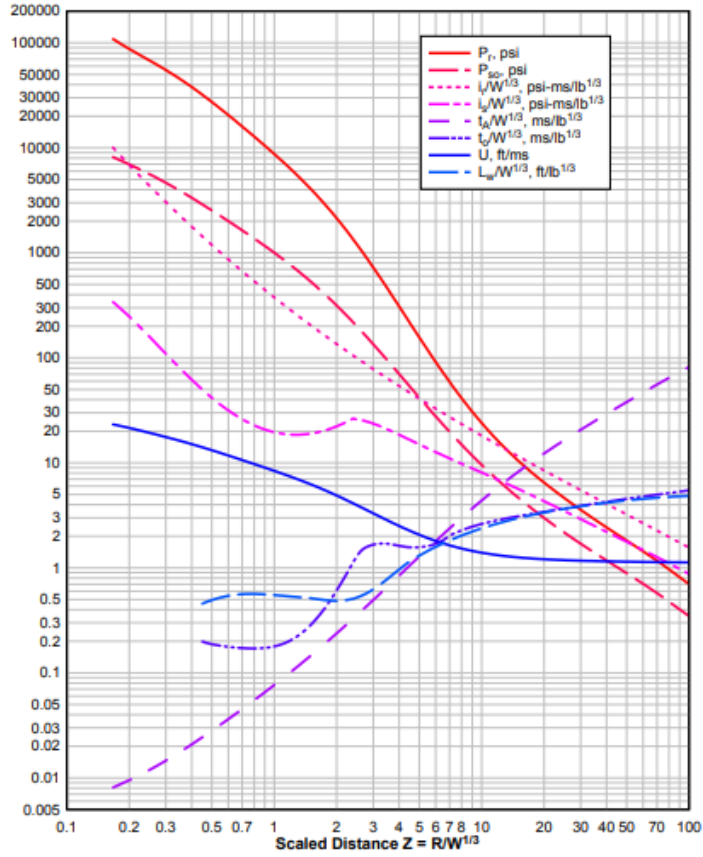
3.6.1.3. Zemin Yüzeyinde Meydana Gelen Patlamalar

Patlamanın zemin üzerinde veya zemine çok yakın bir mesafede meydana geldiği patlama türüdür (Cömert, 2010; Önalın, 2019). Bu patlama türünde ilk çıkan dalga zemine çarpar ve bu yansılardan dolayı şiddetlenerek ilerler. Mach dalgası oluşumu bu patlama türünde gözlenmez çünkü patlama gerçekleştiği anda yansımalar gerçekleşir. Yerden belirli bir yükseklikte meydana gelen patlamadan farkı, yansıyan dalganın patlama noktasından gelen dalga ile birleşip tek bir dalga oluşturmasıdır. (UFC 3-340-02, 2008). Serbest ortamda meydana gelen patlamalar ve yerden belirli bir yükseklikte meydana gelen patlamalara göre 1,8 kat daha fazla basınç etkisine sahiptir (Önalın, 2019). Bu patlamada şok dalgası küresel bir biçimde hareket eder. Basınç gerilmelerinin, yerden belirli bir mesafede gerçekleşen patlama türünde olduğu gibi yapıya düzgün yayılı yük şeklinde etki ettiği kabul edilmektedir (Cömert, 2010). Şekilde 3.11.'de zemin yüzeyinde meydana gelen patlama dalgalarının yayılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Zemin yüzeyinde yaşanan patlamalarda şok dalgası yayılımı (UFC 3-340-02, 2008).

Zemin yüzeyinde yaşanan patlamaların şok dalgası parametrelerini belirlemek için UFC 3-340-02 (2008)'de ölçeklenmiş mesafeye bağlı olarak hazırlanan Şekil 3.12.'deki abak kullanılmaktadır (UFC 3-340-02, 2008).



Şekil 3.12. Zemin yüzeyinde yaşanan patlama sonucu oluşan pozitif faz şok dalgası parametreleri (UFC 3-340-02, 2008).

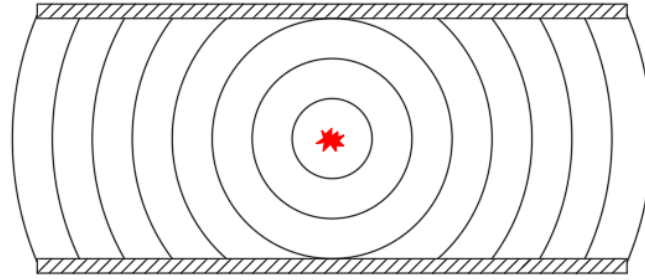
3.6.2. Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar

Sınırlandırılmış(kapalı) ortamlarda gerçekleşen patlamalarda patlama yapının içinde meydana gelir (Al-Juneed, 2020). Patlamayla birlikte oluşan dalgaların yüzeye çarpmasıyla beraber yansımalar meydana gelir. Yansıyan dalgaların yapıya etkiyecek olan basınç yükü serbest ortamda yaşanan patlamalara göre daha fazla olmaktadır (Toplu vd. 2021). Bu tür patlamalarda alan içerisinde boşlukların olması yapı içinde oluşacak olan zararın ve gaz basıncının etkisini azaltmaktadır (Al-Juneed, 2020).

3.6.2.1. Tamamen Havalandırma Boşluklu Ortamlarda Yaşanan Patlamalar

Tamamen havalandırılmış olan ortamda yapının bir veya daha fazla yüzeyi tam olarak atmosfere açılmaktadır. Yapının içinde veya hemen yakınında meydana gelen patlamalardır. Bu tür bir patlama sırasında ilk çıkan şok dalgası ve patlayan ürünler

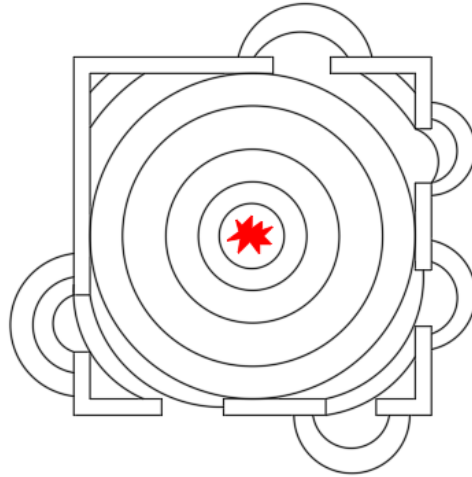
yapının atmosfere açılan boşluklarından dışarıya doğru serbest bırakılır (Al-Juneed, 2020; Önalın, 2019; Yandzio vd., 1999). (Şekil 3.13.)



Şekil 3.13. Tamamen havalandırma boşluklu ortamlarda yaşanan patlamalar (Yandzio,1999).

3.6.2.2. Kısmen Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar

Kısmen sınırlandırılmış patlamalar, genel olarak kırılabilen yüzeyler veya belirli ölçüde olan açık yüzeyi bulunan yapılarda meydana gelen patlama türüdür. İlk çıkan dalga kırılabilen yüzeyler ve bulunan açıklıkların içinden geçerek atmosfere yayılır (Al-Juneed, 2020; Önalın, 2019; Yandzio vd., 1999). (Şekil 3.14.)

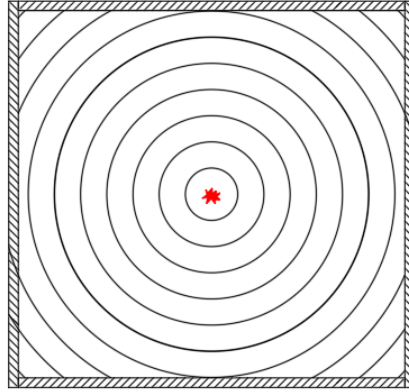


Şekil 3.14. Kısmen Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar (Yandzio vd.,1999).

3.6.2.3. Tamamen Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar

Patlamanın kapalı bir ortamda ya da yapının tamamında açıklıkların bulunmadığı bir durumda gerçekleşen patlamalardır. Bu şekilde gerçekleşen patlamalarda maksimum

şok önü pozitif basıncı, yapının içinde birçok kez yüzeylere çarparak etkisini artırmaktadır (Al-Juneed, 2020; Önalın, 2019; Yandzio vd., 1999). (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Tamamen Sınırlandırılmış Ortamlarda Yaşanan Patlamalar (Yandzio vd.,1999).

3.7. Patlama Yüklerinin Tespitine İlişkin Analitik Çalışmalar

1950’den bu yana araştırmacılar tarafından, patlayıcı maddelerin yapı üzerindeki basınç etkisinin tespiti için farklı analitik çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Çalışmalar incelendiği zaman kullanılan parametreler genel olarak ölçeklenmiş mesafeyle ilişkilendirilmektedir (Önalın, 2019).

3.7.1. Brode Modeli

Brode yaptığı çalışmada, küresel patlamalardan dolayı oluşan yaklaşık pik basınç (P_{so}) değerinin ölçeklenmiş uzaklığa bağlı olduğunu söylemiştir belirtmiştir. $Z=R/W^{1/3}$ ölçeklenmiş mesafe, (R) uzaklık (W) ise kütle olmak üzere P_{so} ’nun 10 bardan büyük ve küçük olması duruma göre denklemlerini iki farklı şekilde düzenlemiştir. Denklem 3.15. ve Denklem 3.16.’da ilgili ifadeler gösterilmiştir (Brode, 1955; Toy, 2022).

$$P_{so} = \frac{6,7}{Z^3} + 1(\text{bar}) \quad (P_{so} > 10 \text{ bar}) \quad (3.15)$$

$$P_{so} = \frac{0,975}{Z} + \frac{1,455}{Z^2} + \frac{5,85}{Z^3} - 0.019(\text{bar}) \quad (0,1\text{bar} < P_{so} < 10 \text{ bar}) \quad (3.16)$$

3.7.2. Newmark ve Hansen Modeli

Newmark ve Hansen yaptıkları çalışmada, yerin üzerinde oluşan patlamanın pik basınç değerinin bulunması için Denklem 3.17.'deki bağıntıyı önermişlerdir. (Önalın, 2019; Toy, 2022).

$$P_{so} = 6784 \cdot \frac{W}{R^3} + 93 \cdot \left(\frac{W}{R^3}\right)^{1/2} \text{ (bar)} \quad (3.17)$$

3.7.3. Mills Modeli

Mills tarafından yapılan çalışmadan elde edilen denklemde pik basınç (P_{so}) kPa cinsinden elde edilmiştir ve patlama yükü ifadesi Denklem 3.18. de verilmiştir (Önalın, 2019; Toy, 2022).

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} \text{ (kPa)} \quad (3.18)$$

3.7.4. Mays ve Smith Modeli

Mays ve Smith tarafından yapılan çalışmada ise patlama anında çıkan ilk dalganın hızı U_s için ve dinamik basınç değeri q_s için bağıntılar geliştirilmiştir. P_r yansıyan basınç değeri için öngörülen uzaklık (R) ve ağırlık değerlerine (W) bağlı olarak yansıyan basınç değerini veren bir çizelge oluşturulmuştur ve Çizelge 3.4.'te gösterilmektedir (Önalın, 2019; Toy, 2022).

$$U_s = \alpha_0 \sqrt{\frac{6p_s + 7p_0}{7p_0}}, \text{ (m/s)} \quad (3.19)$$

$$q_s = \frac{5p_s^2}{2(p_s + 7p_0)}, \text{ (bar)} \quad (3.20)$$

Çizelge 3.4: P_r (Mpa) 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

3.7.5. Henrych Modeli

Henrych yaptığı çalışmaların sonucu olarak Brode tarafından önerilen bağıntılara benzeyen ve ölçeklendirilmiş mesafeye bağlı olan 3 farklı bağıntı geliştirmiştir. Çalışmaları sonucunda elde edilen veriler ile deneysel, AUTODYN ve UFC 3-340-02 sonuçları benzerlik göstermiştir (Toy, 2022). Önerilen bağıntılar Denklem 3.21., Denklem 3.22. ve Denklem 3.23.'te gösterilmiştir.

$$P_{so} = \frac{14,072}{Z} + \frac{5,54}{Z^2} - \frac{0,375}{Z^3} + \frac{0,00625}{Z^4} \quad (0,05 \leq Z \leq 0,3) \quad (3.21)$$

$$P_{so} = -\frac{6,194}{Z} - \frac{0,326}{Z^2} + \frac{2,132}{Z^3} \quad (0,3 \leq Z \leq 1) \quad (3.22)$$

$$P_{so} = \frac{0,662}{Z} + \frac{4,05}{Z^2} + \frac{3,288}{Z^3} \quad (1 \leq Z \leq 10) \quad (3.23)$$

3.7.6. Kingery ve Bulmash Modeli

Kingery ve Bulmash 1984 yılında yaptıkları çalışmada yapının yüzeyine temas eden en büyük patlama yükü hesabı için ölçeklenmiş mesafeye (Z) bağlı olan ve çok fazla

sabit içeren Denklem 3.24.'teki denklemi önermişlerdir. Bu denklem Autodyn yazılımının hesaplamalarında kullanılan bağıntılardan biridir (Toy, 2022).

$$\Delta P_f = \text{Exp} [A + B. \ln Z + C. (\ln Z)^2 + D. (\ln Z)^3 + E. (\ln Z)^4], (\text{kPa}) \quad (3.24)$$

Denklem (3.24) polinomunda verilen A, B, C, D ve E sabitleri Çizelge 3.5.'te ölçeklendirilmiş mesafe değerine karşılık gelen sabitler olarak alınmaktadır (Toy, 2022).

Çizelge 3.5: Polinomdaki (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

3.7.7. Kinney ve Graham Modeli

Kinney ve Graham tarafında yapılan çalışmada yapı üzerinde oluşan pik basınç değerini veren denklem aşağıda verilmiştir (Toy, 2022).

$$P_{so} = P_0 \frac{808 \left[1 + \frac{Z^2}{4,5} \right]}{\left\{ \left[1 + \frac{Z^2}{0,048} \right] \left[1 + \frac{Z^2}{0,32} \right] \left[1 + \frac{Z^2}{0,35} \right] \right\}^2}, (\text{bar}) \quad (3.25)$$

3.7.8. Sadovsky Modeli

Sadovsky yaptığı çalışmada patlama sırasında yapı üzerinde oluşan pik basıncı (kPa) bir polinom olarak tanımlamıştır ve ölçeklendirilmiş mesafeye bağlı olarak Denklem (3.26)'da ki gibi ifade etmiştir (Toy, 2022).

$$\Delta P_f = \frac{0,085}{Z} + \frac{0,3}{Z^2} + \frac{0,8}{Z^3}, (\text{kPa}) \quad (3.26)$$

3.8. UFC 3-340-02 Standartları

Bu kılavuz, patlayıcı maddelerin geliştirilmesi, test edilmesi, üretilmesi, depolanması, bakımı, değiştirilmesi, denetlenmesi ve imha edilmesi için tasarım yöntemleri sunar. Bunu yaparken patlamanın yayılmasını engelleme, kitlesel patlamanın önlenmesi, personelin ve değerli ekipmanların korunabileceği tasarım, metot ve yapım tekniklerini belirler (UFC 3-340-02, 2008). Adım adım analiz ve tasarım aşamaları, patlama yükü hesap yöntemleri ve çok sayıda önleme dair bilgi içerir (Toy, 2022).

3.9. ANSYS

ANSYS sonlu elemanlar yazılımı, ısı transferi, elektromanyetik, titreşim, akışkanlar mekaniği, hidrolik, düşme, patlama ve çarpışma gibi statik ve dinamik analizlerin yapıldığı, sonuçların görsel olarak simüle edildiği birçok alanda kullanılan bir yazılım paketidir. Ele alınan ürünlerin üretilmeden önce sanal olarak test edilmesine olanak sağlayarak ekonomik çözümler üretir. ANSYS, tarım, çeşitli mühendislik dalları, otomotiv, havacılık, elektronik ve makine gibi hizmetler tarafından tercih edilmektedir. ANSYS programı kendi yazılımına uygun formatlardan oluşturulmuş CAD verilerini alarak kendi içinde kullanılmasına imkân sağlamaktadır. İçindeki farklı modüller sayesinde elemanların geometrisi tanımlanır. Tanımlanan geometriden sonra farklı eleman tiplerinin kullanılmasını sağlayarak sonlu eleman ağını oluşturur. Elemanların başlangıç ve sınır şartlarının, malzeme özelliklerinin tanımlanmasından sonra analizler gerçekleştirilerek sayısal ve grafiksel olarak sonuçlara erişim sağlanır (Ağbaba, 2019; Şibil, 2019).

ANSYS sonlu elemanlar programı, problemlerin karmaşıklık seviyesine göre farklı modüller belirleyerek çözümler yapılmasını sağlar. Karmaşıklık seviyesi az olan problemler ANSYS Mechanical (Implicit Dynamics) ile çözümlenirken; ileri seviye doğrusal olmayan analizler ANSYS Explicit Dynamics modülü ile çözümlenir. Karmaşıklık seviyesi en üst seviyede olan patlama analizi gibi problemlerde ANSYS AUTODYN modülüne ihtiyaç duyulur (Toy, 2022).

3.9.1. Dolaylı Yöntem (Implicit Method)

Dolaylı yöntem (Implicit Method) statik ve dinamik problemlerin çözümüne uygundur. Genellikle sınır koşullarının yapı üzerindeki etkilerinin yavaş gerçekleştiği analizlerde kullanılır. Implicit analiz, istenilen zaman artışının büyüklüğünün seçilmesine olanak tanır. Analizde global dengenin her bir zaman adımı için yakalanıp yakalanmadığı kontrol edilir. Artan zaman içerisinde yakınsamanın sağlanması kontrol edilerek çözüm ilerlemektedir. Yakınsama her adım için sağlandığından büyük zaman adımlarında da hesaplama kolaylıkla gerçekleşir (Çapar, 2020; Erdil, 2022).

Dolaylı yöntemin kullanılmasında bazı matematiksel ifadelerden faydalanılabilir (Toy, 2022).

$$[M]\{\ddot{D}\} + [C]\{\dot{D}\} + [K]\{D\} \quad (3.27)$$

Denklem (3.27), time history metodu ve Denklem 3.28. ve 3.29. matematiksel ifadeleri ile çözümlenir.

$$\dot{D}_{n+1} = \dot{D}_n + \Delta t [\gamma \ddot{D}_{n+1} + (1 - \gamma) \ddot{D}_n] \quad (3.28)$$

$$D_{n+1} = D_n + \Delta t \dot{D}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 [2\beta \ddot{D}_{n+1} + (1 - 2\beta) \ddot{D}_n] \quad (3.29)$$

İşlemcinin yapısını kontrol edebilmek amacıyla (hassasiyet, keskinlik ve nümerik stabilite gibi) γ ve β parametreleri seçilmiştir. Bu yönteme “dolaylı” ya da implicit metot denir. Mevcut zaman adımıdaki tepkiler sadece zamansal bilgiye değil aynı zamanda mevcut bilgiye de bağlıdır ve tekrarlanan adımlar (iterasyon) sadece bir zaman adımına ihtiyaç duymaktadır (Toy, 2022).

3.9.2. Açık Yöntem (Explicit Method)

Dolaylı yöntemin aksine açık yöntem (Explicit Method) zamana bağlı olarak gerçekleşir. Dinamik analizleri çözümlmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Explicit analiz metodunda yer değiştirmeler zamanın ilerlemesine bağlı olarak hesaplanır. $T=0$ anında herhangi bir etki oluşmadığı için deformasyon gözlenmez. Nonlineer özellikte olan ve implicit (kapalı) metodun yeterli olmadığı durumlarda explicit method kullanılır. Ayrılma, yırtılma, penetrasyon, çarpışma, metal şekillendirme, düşme ve patlama analizleri explicit metodun yoğun kullanıldığı durumlardır (Çapar, 2020; Korkut, 2019).

Explicit method Denklem 3.27. ile çözülürken aşağıdaki denklemler kullanılır.

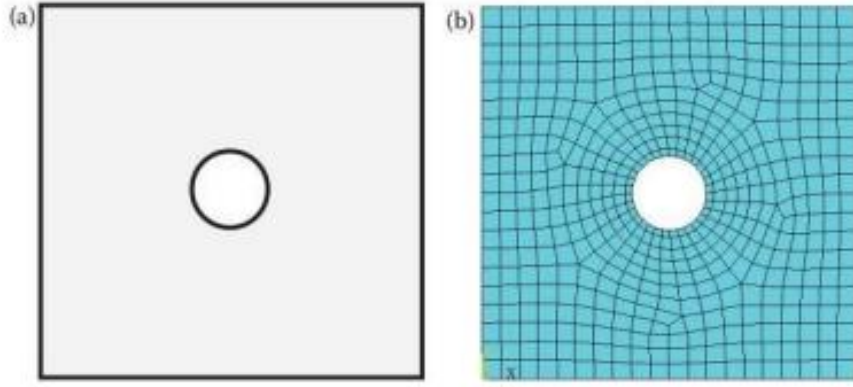
$$\dot{D}_{n+\frac{1}{2}} = \dot{D}_{n-\frac{1}{2}} + \ddot{D}_n \Delta t \quad (3.30)$$

$$D_{n+1} = D_n + \dot{D}_{n+\frac{1}{2}} \Delta t \quad (3.31)$$

3.10. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEA)

Sonlu elemanlar yöntemi (FEA), Turner ve arkadaşları tarafından ilk olarak 1956 yılında yayınlanan çalışma ile ana fikri oluşturulmuştur (Güler, 2015; Şibil, 2019; Turner ve ark., 1956). Fizik ve mühendislik gibi birçok alanda karşılaşılan problemlerin çözülmesi için geliştirilen yaygın ve etkili bir yöntemdir (Çayiroğlu, 2022).

Sonlu elemanlar yöntemi genel anlamıyla “parçadan bütüne gitme” prensibi ile çözümlerini ele almaktadır (Güler, 2015). Karmaşık bir yapıyı kolay ve hızlı hesaplamalar yapılabilecek olan daha küçük yapı ve modellere dönüşmesini esas alır. Modeli oluşturan elemanların birbirine bağlandıkları noktalara düğüm noktası denilmektedir. Yapıyı daha küçük parçalara bölerek fazla düğüm noktasının oluşturulmasını sağlamak daha duyarlı sonuçların alınmasını sağlamaktadır. (Şibil, 2019; Çayiroğlu, 2022).



Şekil 3.16. Delikli bir plaka ve sonlu elemanlara ayrılmış şekli (Şibil, 2019).

3.11. Lagrangian ve Eulerian Denklemleri

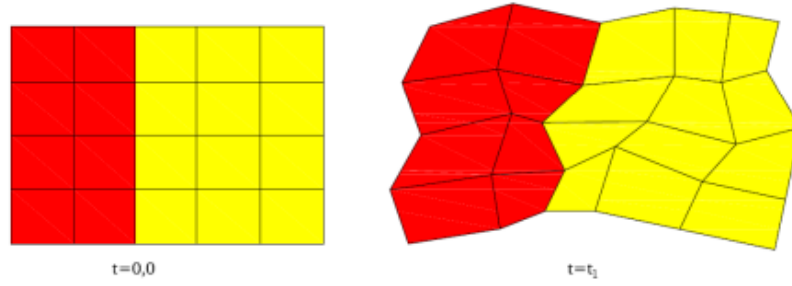
Bu tez çalışması kapsamında yapıların patlama etkisi altındaki davranışını incelemek için ANSYS Workbench ve ANSYS Autodyn programları kullanılmıştır (ANSYS Workbench,2021; ANSYS Autodyn,2021). Autodyn programında modellenecek olan elemanlar katı ve akışkan formda olmalarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yapılacak olan analizlerde öncelikle katı model daha sonra da akışkan hava modeli oluşturulur. Katı ve akışkan modellemelerin beraber çalışması sağlanarak çözümler gerçekleştirilir. Bu çözüm gerçekleşirken Lagrangian ve Eulerian denklemlerine ihtiyaç duyulur (Önalın, 2019; Fairlie, 1998).

Modelleme esnasında her iki çözümünde birbirleri ile olan etkileşimi doğru sonuca ulaşmak için önem taşımaktadır. Lagrangian – Lagrangian ve Eulerian – Lagrangian etkileşimleri analiz hazırlanırken oluşturulmaktadır (Önalın,2019).

3.11.1. Lagrangian Denklemleri

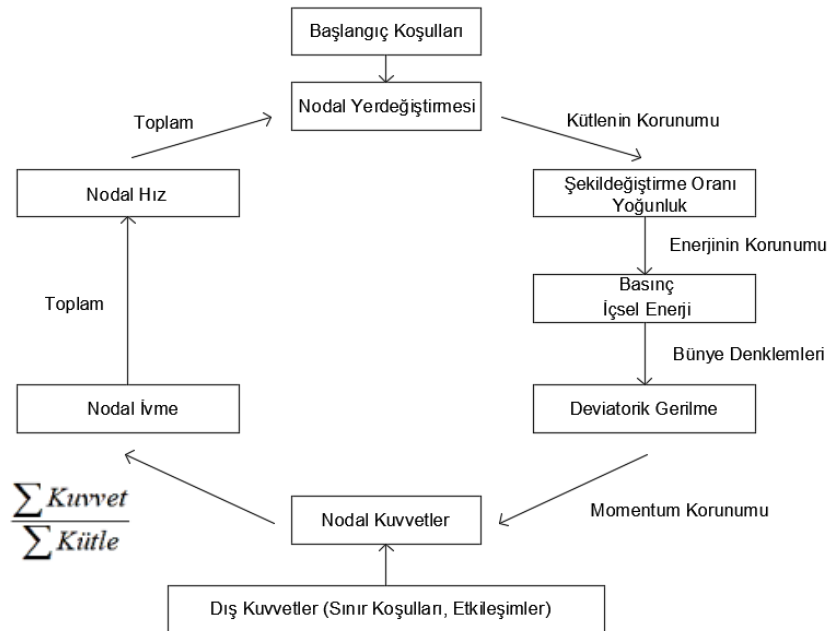
Lagrangian analizi yapısal kodların çözümü için kullanılır. Bu analiz şeklinde, eleman içerisinde bulunan madde elemanın içinde kalır ve elemanın dışına çıkmaz veya başka bir eleman madde içerisine giremez (Toy, 2022; Draganic, 2018). Lagrangian çözümü, büyük deformasyon ve şok yüklemesine bağlı olarak yapı bileşenleri için hızlı ve etkili çözüm sunmaktadır (Önalın,2019). Lagrangian modeli, yapısal tepkideki

ölçümlerin hesaplanmasında uygun ve doğru bir yöntemdir (Önalın, 2019; Toy, 2022). Lagrangian çözümü ağ yapısındaki deformasyon Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Lagrangian çözümü ağ yapısı deformasyonu (Toy, 2022).

Lagrangian modelinde, katı elemanlar için kütle, momentum ve enerjinin korunması temel alınarak hız, ivme ve yerdeğıştirmeler hesaplanabilmektedir. ANSYS AUTODYN yazılımı içindeki Lagrangian çözümlemesinin şematik gösterimi Şekil 3.18.'de verilmiştir (Önalın,2019).

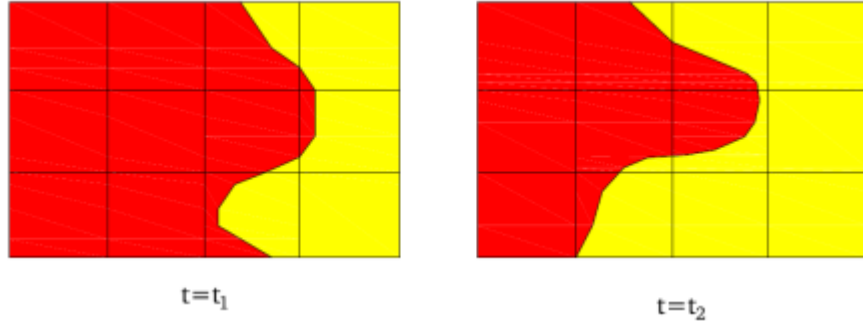


Şekil 3.18. Autodyn programında lagrangian çözümü akış diyagramı (Önalın, 2019).

3.11.2. Eulerian Denklemleri

Eulerian çözümü sıvı ve gazların modellenmesinde kullanılan bir denklemdir (Draganic, 2018). Lagrangian çözümlemesinde tanımlanan madde aktığı zaman deformasyona uğrarken, Eulerian analizinde madde akışı durağan olarak hareket etmektedir. Madde akışı Eulerian çözümünde akışkan malzemenin iletim algoritmasına

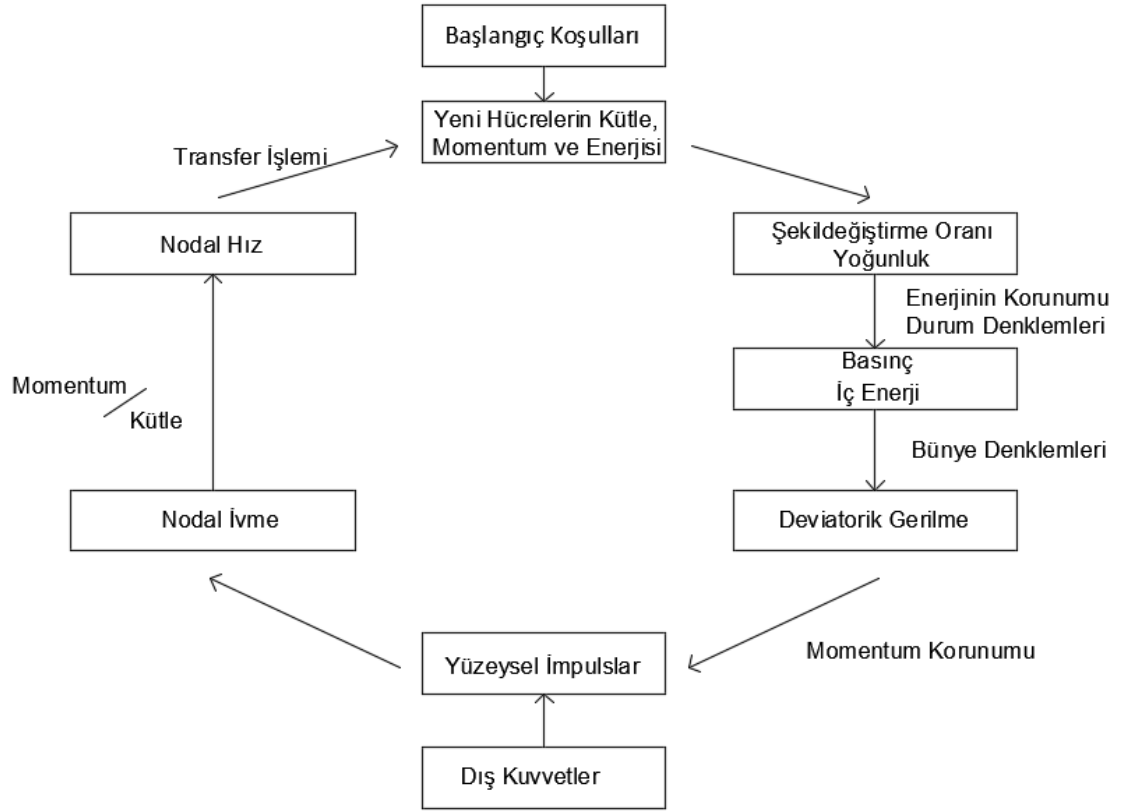
bağlı olarak çalışır. Lagrangian analizine göre daha zorlu ve karmaşık bir durumu ortaya çıkarır (Toy, 2022). Eulerian çözümündeki sabit ağ boyunca oluşan malzeme akışı Şekil 3.19.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Eulerian çözümü malzeme akışı (Toy, 2022).

Eulerian çözümünde belirli bir hacim içerisindeki akışkan maddelerin hesaplamaları yapıldığı için gerçekleşecek olan malzeme transferi, sonlu eleman parçaları arasında bozulma olmaksızın bir aktarım sağlamaktadır. Bozulma olmadığından dolayı da hacim değişmeden kalmaktadır. ANSYS Autodyn yazılımı içindeki Eulerian çözümlemesinin şematik gösterimi Şekil 3.20.'de verilmiştir. (Önalın,2019).

Eulerian çözücülerde ilk olarak Lagrangian yaklaşımına bağlı bir hesap gerçekleşir. Ağ gözü akışkan madde ile hareket ettiği için kütle korunumu sağlanmış olur. Hız ve yer değiştirmeler hesaplanır ve düğüm özellikleri güncellenir. Bu süreç; ağın hasar görmeden sonuçlanıp yeniden işlemlerin düzenlenmesinin sonrasında, ağ deformasyonunun kabul edilebilir veya çok hasar görmemesine kadar devam eder. Malzeme bir elamandan diğerine doğru yatay hareketlerle ilerler. Bu durumda ağ miktarının yeniden düzenlenmesi ile tespit edilir. Sonuç olarak da her bir hesap adımı sonrası ağ sabit kalır, malzeme ise konumunu değiştirerek hareket eder (Toy, 2022).



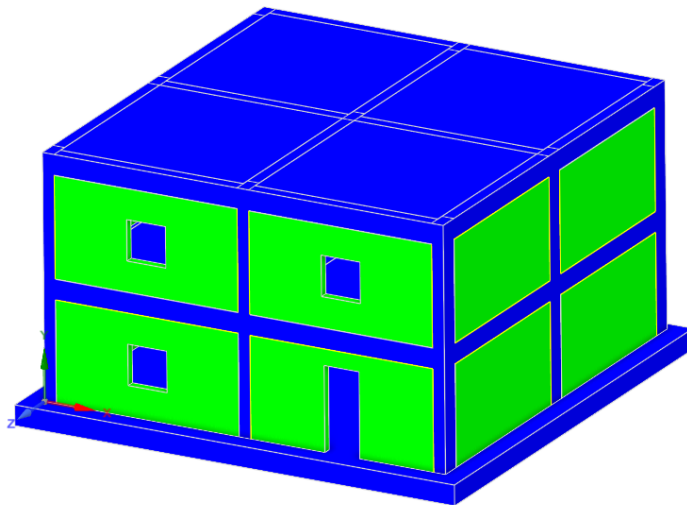
Şekil 3.20. Autodyn programında Eulerian çözümü akış diyagramı (Önalın, 2019).

4. SAYISAL ÇALIŞMA, BULGULAR ve İRDELEMELER

4.1. İki Katlı Betonarme Bina ve Sonlu Eleman Modeli

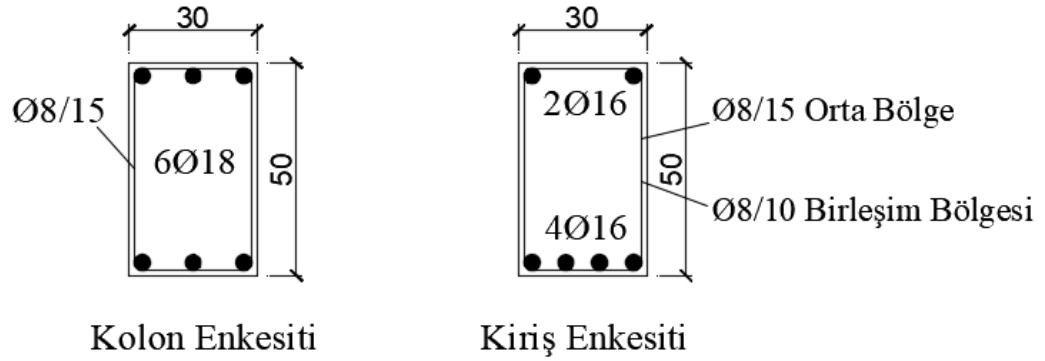
Bu tez çalışmasında, betonarme bir yapının kaza yoluyla ya da herhangi bir terör saldırısıyla patlama yüküne maruz kalması durumunda, betonarme çerçeve taşıyıcı sistemine sahip yapının dinamik ve yapısal davranışlarındaki değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, iki katlı, iki açıklıklı ve farklı iki beton sınıfına sahip betonarme bina modellenmiştir. Analizde patlayıcı madde olarak iki farklı ağırlıkta TNT patlayıcısı kullanılmış olup patlayıcılar patlama senaryolarına göre farklı yer ve sabit yüksekliklerde konumlandırılmıştır. Modelleme bölümü ANSYS Workbench 2021 programında, patlama modeli ise ANSYS Autodyn programında oluşturulmuştur. Analiz sonrasında elde edilen sonuçlar ile çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen ve Bölüm 3.7. de verilen matematiksel formüller ve UFC 3-340-02’ de verilen abaklara bağlı olarak patlama yüklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma yapmak için ölçüm noktaları belirlenmiş ve o noktalardaki basınç değerleri kıyaslanmıştır. Yapının davranışını incelemek için patlama basınçları, hasar durumu, yer değiştirmeler ve patlama enerjisi olmak üzere farklı parametreler üzerinden de karşılaştırmalar yapılmıştır.

Ele alınan yapı, her iki yönde de eşit iki açıklığa sahip olan ve dolgu duvar modeli ile birlikte incelenen bir yapıdır. Taşıyıcı sistemi, kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve sistemdir. Binaya ait model Şekil 4.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yapının modeli

İki kolon arası akstan aksa 500 cm açıklığa sahiptir. Binada toplamda 18 adet $30 \times 50 \text{ cm}^2$ boyutlarında kolon mevcuttur. Kolonda boyuna donatı olarak 6Ø18 donatı kullanılmış, kolon etriyeleri ise Ø8/15 olarak tasarlanmıştır. Kirişler ise $30 \times 50 \text{ cm}^2$ boyutlarında olup boyuna donatı olarak çekme bölgesinde 4Ø16, basınç bölgesinde ise 2Ø16 donatı kullanılmıştır. Kiriş etriyeleri ise birleşim bölgesinde Ø8/10, orta bölgede Ø8/15 olarak modellenmiştir. Döşeme kalınlığı 12 cm olarak seçilmiş olup, donatı olarak Ø10/20 seçilmiştir. Radye temel ise $12 \times 12 \text{ m}^2$ boyutlarında olup kalınlığı 50 cm olarak dikkate alınmıştır. Binanın sadece ön cephesinde kapı ve pencere boşluğu modellenmiştir. Kolon ve kirişin en kesit detayları Şekil 4.2.'de gösterilmektedir.



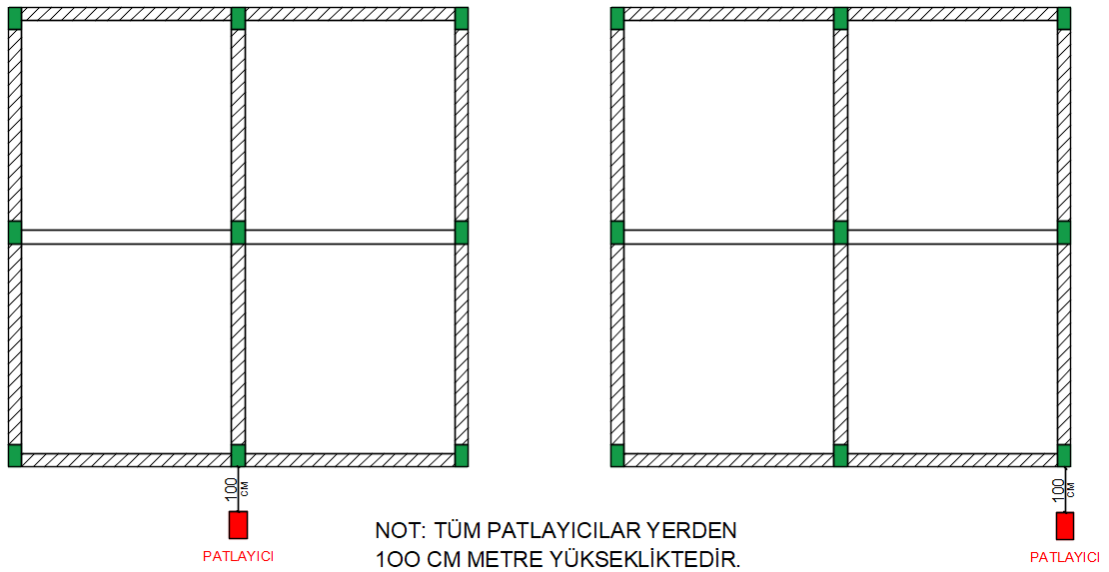
Şekil 4.2. Kolon ve kiriş enkesit boyutları (cm)

Patlama senaryosu 4 farklı kategori altında oluşturulmuştur.

Parametreler;

1. 235 kg ve 470 kg TNT ağırlığı
2. Kolonlara %10 ve %40 oranında iki farklı eksenel yük verilmesi
3. Patlayıcının orta kolon ve sağ yan kolon karşısında olması (Şekil.4.3.)
4. C25 ve C35 beton sınıfları,

olmak üzere toplamda 16 farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Parametrelere göre analiz detayları ve isimlendirmeler Çizelge 4.1. de verilmiştir.



Şekil 4.3. Patlayıcı konumu

Çizelge 4.1. Gerçekleştirilen patlama senaryoları

Analiz Numarası	Beton Sınıfı	Patlatıcı Ağırlığı	Eksenel Yük Kapasitesi	Yapıya Olan Konumu	Patlama Senaryo İsimleri
1	C25	235 kg	10%	Orta kolon karşısında	A01-235-10/25
2	C25	235 kg	10%	Sağ yan kolon karşısında	AS2-235-10/25
3	C25	235 kg	40%	Orta kolon karşısında	A03-235-40/25
4	C25	235 kg	40%	Sağ yan kolon karşısında	AS4-235-40/25
5	C25	470 kg	10%	Orta kolon karşısında	A05-470-10/25
6	C25	470 kg	10%	Sağ yan kolon karşısında	AS6-470-10/25
7	C25	470 kg	40%	Orta kolon karşısında	A07-470-40/25
8	C25	470 kg	40%	Sağ yan kolon karşısında	AS8-470-40/25
9	C35	235 kg	10%	Orta kolon karşısında	A09-235-10/35
10	C35	235 kg	10%	Sağ yan kolon karşısında	AS10-235-10/35
11	C35	235 kg	40%	Orta kolon karşısında	A011-235-40/35
12	C35	235 kg	40%	Sağ yan kolon karşısında	AS12-235-40/35
13	C35	470 kg	10%	Orta kolon karşısında	A013-470-10/35
14	C35	470 kg	10%	Sağ yan kolon karşısında	AS14-235-10/35
15	C35	470 kg	40%	Orta kolon karşısında	A015-470-40/35
16	C35	470 kg	40%	Sağ yan kolon karşısında	AS16-235-40/35

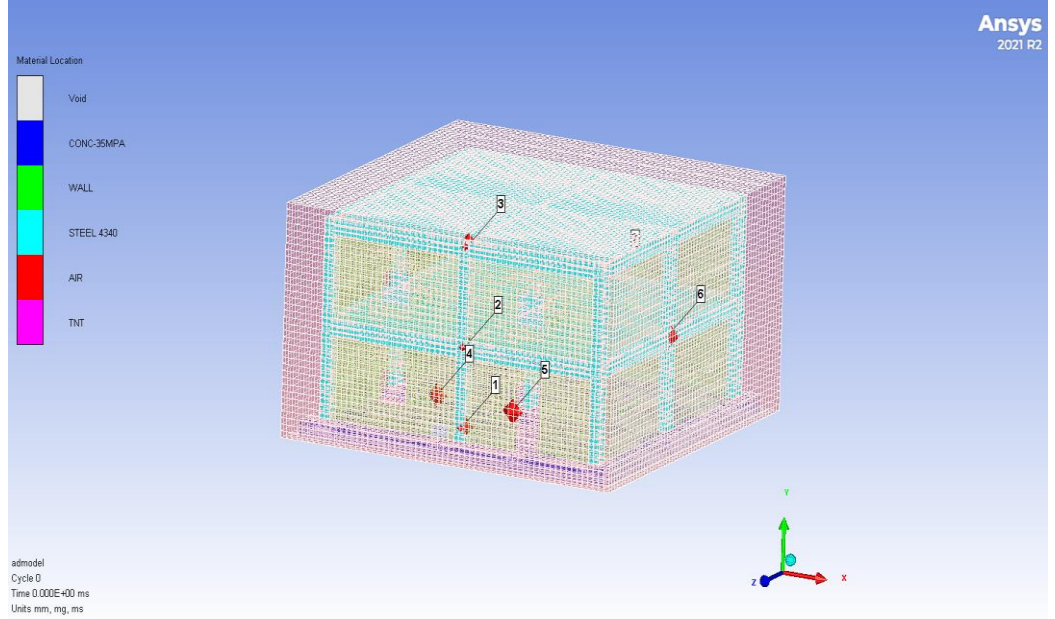
Sonlu elemanlar modelinde meshler ANSYS Workbench Explicit Dynamics yazılımıyla tanımlanmış olup, birim mesh uzunluğu 200 mm olarak seçilmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Sonlu eleman modeli mesh geometrisi

Mesh aralığı seçiminde dikkat edilecek olan husus analiz süresini optimum seviyede tutmak ve gerçeğe yakın sonuçlar almaktır. Mesh aralığının küçük seçilmesi analiz süresini uzatarak elde edilen sonuçları incelemeyi zorlaştırmaktadır. Mesh aralığının büyük seçilmesi ise gerçeklikten uzak sonuçlar vermektedir. Yapılan çalışmalarda mesh aralığının 100 mm ile 500 mm arasında seçildiği görülmüş ve bu çalışmada 200 mm mesh aralığı seçilmiştir.

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 sırasıyla x, y, z eksenlerinde 12.000 mm x 8.000 mm x 12.000 mm olarak, katı (lagrangian) modeli kapsayacak dikdörtgenler prizması şeklinde 200 mm boyundaki mesh aralığı kullanılarak tanımlanmıştır. Şekil 4.5.'te akışkan model ve meshler görülmektedir.



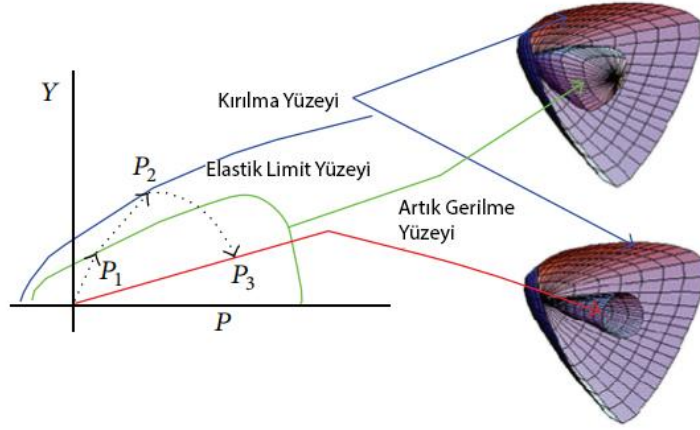
Şekil 4.5. ANSYS Autodyn hava-akışkan modeli mesh geometrisi

4.1.1. Yapı Elemanlarının Malzeme Modellemesi

Patlama olayları çok kısa bir zaman diliminde gerçekleştiği için, malzeme özellikleri belirlenirken bu kısa süre içerisinde oluşan aşırı yükleri temsil edecek seviyede olmasına dikkat edilir. Bunu dikkate alarak beton malzemesinin mukavemeti için RHT (Riedel-Hiermainer-Thoma) modeli seçilmiştir. Seçilen bu beton modeli, literatürde deneysel numunelerin impulsif yüklemelere maruz bırakılmasıyla test edilmiş ve beton davranışını yeterli biçimde yansıttığı görülmüştür. [Önalın,2019].

RHT (Riedel-Hiermainer-Thoma) dayanım modeli Riedel ve arkadaşları tarafından kırılan malzemeler için geliştirilmiş bir modeldir (Hu ve ark.,2016). Bu model çekme dayanımı, basınç dayanımı ve şekil değiştirme oranı gibi özellikleri dikkate aldığı için betonun dinamik ve mekanik davranışını daha iyi yansıtmaktadır (Wang ve ark,2017). Model kırılan malzemenin basınç altındaki mukavemetini de içeren birleşik bir modeldir (Hansson, 2002).

RHT modeli kırılma(yenilme) yüzeyi, elastik limit yüzeyi ve artık gerilme yüzeyi olarak adlandırılan üç yüzeyi temel alan bir modeldir. Şekil 4.6.'da yüzey grafiği görülmektedir.



Şekil 4.6. RHT modeli gerilme yüzeyleri [Hu ve ark.,2016]

Kırılma yüzeyi hidrostatik basıncın, şekil değiştirme oranının ve dönme açısının bir fonksiyonu olarak ifade edilir (Wang ve ark,2017).

$$Y_{fail}(P, \theta, \dot{\epsilon}) = Y_{TXC}(P) F_{Rate}(\dot{\epsilon}) R_3(\theta) \quad (4.1)$$

Burada $Y_{TXC}(P)$ fonksiyonu aşağıdaki gibi formülize edilmiştir.

$$Y_{TXC}(P) = f_c \times A \times [P^* - (P^*_{parçacık} F_{Rate})]^N \quad (4.2)$$

$$P^* = \frac{P}{f_c} \quad (4.3)$$

$$P^*_{parçacık} = \frac{f_t}{f_c} \quad (4.4)$$

Denklemlerde f_c tek eksenli basınç gerilmesi, f_t tek eksenli çekme gerilmesi, A ve N malzeme sabitleri, P hidrostatik basınç, P^* normalize edilmiş basıncı temsil etmektedir.

$F_{Rate}(\dot{\epsilon})$ dinamik artım faktörü, şekildeğiştirme oranı göz önüne alınarak geliştirilmiştir.

$$F_{Rate}(\dot{\epsilon}) = \begin{cases} \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}\right)^\alpha & \text{for } P \geq \frac{f_c}{3}, \dot{\epsilon} = 30 \times 10^{-6} s^{-1} \\ \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0}\right)^\delta & \text{for } P < \frac{f_t}{3}, \dot{\epsilon} = 3 \times 10^{-6} s^{-1} \end{cases} \quad (4.5)$$

Denklemden ifade edilen α , basınç şekil değiştirme oranı, δ , çekme şekil değiştirme oranı faktörüdür.

$R_3(\theta)$ malzemenin yüzeyinde meydana gelen kırılmayı azaltan faktör olarak açıklanır ve hidrostatik eksen üzerindeki dönme (θ) açısına bağlı olarak ifade edilir.

$$R_3(\theta) = \frac{2(1-Q_2^2)\cos\theta + (2Q_2-1)[4(1-Q_2^2)\cos^2\theta + 5Q_2^2 - 4Q_2]^{1/2}}{4(1-Q_2^2)\cos^2\theta + (1-2Q_2)^2} \quad (4.6)$$

Denklemden bulunan Q_2 gevreklikten sünekliğe geçiş oranıdır ve Denklem 4.7. ile ifade edilir.

$$0.5 < Q_2 = Q_{2.0} + B_Q P^* \leq 1 \quad (4.7)$$

$$\cos 3\theta = \frac{3\sqrt{3}J_3}{2(J_2)^{3/2}} \quad (4.8)$$

Denklem 4.7.'de verilen $Q_{2.0}$ ifadesi gevrek davranıştan sünek davranışa geçişin referans değeri, B_Q basınç eğrisinin üçgen formdan dairesel forma geçişinin yani gevreklikten sünekliğe geçiş parametresidir. J_2 ve J_3 deviatorik gerilmenin ikinci ve üçüncü sabitleridir [Önalın,2019].

Elastik yüzeyin elastik limitinden kırılma limitine olan geçişi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Y_{\text{elastik}} = Y_{\text{kırılma}} F_{\text{elastik}} F_{\text{cap}} \quad (4.9)$$

Burada F_{elastik} , kırılma yüzeyindeki dayanımın elastik gerilmeye oranıdır.

Tamamen hasar almış olan betonun dayanımını temsil eden bir artık dayanım yüzeyi tanımlanır ve aşağıdaki gibi ifade edilir [Hu ve ark.2016].

$$Y_{\text{artık}} = f_c \times B \times \left(\frac{P}{f_c}\right)^M \quad (4.10)$$

B ve M deneysel verilerden elde edilen sabit parametrelerdir.

Durum denklemi olarak ise P-alfa eşitliğinden faydalanılmıştır. Bu denklemin avantajı, yüksek basınca maruz kaldığında termodinamik etkiyi doğru bir şekilde yansıtabilmesidir. Gözenekli yapıya sahip olan malzemelerde başlangıç koşullarındaki iç enerjinin, aynı basınç ve sıcaklıktaki boşluksuz yapıya sahip katı malzemeler ile eşdeğer özellikleri yansıttığı kabul edilmektedir. Tamamen sıkıştırılmış olan malzemenin durum denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir [Önalın,2019].

$$p(\rho, e) = \begin{cases} (B_0 + B_1\mu)\rho_0 e + A_1\mu + A_2\mu^2 + A_3\mu^3 & p \geq 0 \\ B_0\rho_0 e + T_1\mu + T_2\mu^2 & p < 0 \end{cases} \quad (4.11)$$

Burada $A_i, B_i,$ ve T_i katsayılar olarak tanımlanır. ρ_0 başlangıçtaki hacmi ve μ hacimdeki değişimi ifade eden katsayıdır ve Denklem 4.12.de verilmiştir.

$$\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1 \quad (4.12)$$

Gözenekli yapıdaki malzeme için Denklem 4.12'de ρ yerine αp_p yazılarak denklem aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\bar{\mu} = \frac{\alpha p_p}{\rho_0} - 1 \quad (4.13)$$

$$p(\rho, e) = \begin{cases} (B_0 + B_1\bar{\mu})\rho_0 e + A_1\bar{\mu} + A_2\bar{\mu}^2 + A_3\bar{\mu}^3 & p \geq 0 \\ B_0\rho_0 e + T_1\bar{\mu} + T_2\bar{\mu}^2 & p < 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

Burada α poroziteyi, p_p ise gözenekli yapıdaki malzemenin yoğunluğunu ifade eder.

ANSYS Workbench malzeme kütüphanesi Explicit Materials bölümünde, tüm parametreler patlama analizine uygun malzeme türleri için özel olarak tanımlanmıştır. Ayrıca analiz aşamasında beton ve donatı çeliği için değişen parametreler doğrultusunda kayma modülü, hacimsel genleşme modülü, çekme ve basınç gerilmeleri yönetmelikler kullanılarak hesaplanmış ve programa revize edilerek girilmiştir.

Analizlerde iki farklı beton sınıfı için kullanılan model ve parametreler Çizelge 4.2.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Beton malzeme parametreleri

Beton Sınıfı	Durum Denklemi	Dayanım Modeli	Hacimsel Genleşme Modülü K(MPa)	Kayma Modülü G(MPa)
C25	P-alpha	RHT (Riedel-Hiermainer-Thoma)	$1,67 \times 10^4$	$1,25 \times 10^4$
C35	P-alpha	RHT (Riedel-Hiermainer-Thoma)	$1,94 \times 10^4$	$1,46 \times 10^4$

Beton sınıflarının tamamında poisson oranı 0,2 ve birim hacim ağırlığı $2,40 \text{ g/cm}^3$ olarak alınmıştır. Çizelge 4.3.'te analizlerde kullanılan iki farklı beton sınıfına ait malzeme özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Beton malzeme özellikleri

Beton Sınıfı	Basınç Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
C25	25	1,8	30×10^3
C35	35	1,9	32×10^3

Modelde kullanılacak olan donatının, lineer elastik, izotropik ve pekleşme özelliklerine sahip olduğu kabul edilmiştir. Donatının şekil değiştirme oranı termal yumuşamadan dolayı oluşan plastisitesine bağlıdır. Uygulanan hidrostatik yük sonucu oluşan hidrostatik gerilmenin hacimsel şekil değiştirmeye olan oranı hacimsel genleşme modülü olarak adlandırılmaktadır. Hacimsel genleşme oranı Denklem 4.15.'teki gibi ifade edilmektedir.

$$K = \frac{E_s}{3(1-2\nu)} \quad (4.15)$$

Burada E_s çelik için elastisite modülü, ν ise poisson oranıdır. Donatının plastik durumda iken deformasyonunun devam etmesi için gereken gerilmedeki artışı pekleşme olarak ifade edilir. Sünek çelikte pekleşme oranı 0,20-0,30 arasında bir değerdir. Bu

özellikler göz önüne alınarak Johnson-Cook dayanım modeli tercih edilmiştir. Modelde akma gerilmesi aşağıdaki gibi [Önalın,2019].

$$Y = [\sigma_0 + B_s(\epsilon^p)^{ns}][1 + C_s \log \dot{\epsilon}_p^*][1 - T_H^{ms}] \quad (4.16)$$

Burada σ_0 , başlangıçtaki akma gerilmesini, ϵ^p plastik şekil değiştirmeyi, $\dot{\epsilon}_p^*$ şekil değiştirme oranını, B_s ve ns pekleşme sabitlerini, C_s ve ms malzemeye ait sabitleri ve T_H eşdeğer sıcaklık değerini ifade etmektedir. Eşdeğer sıcaklık Denklem 4.17. deki gibi ifade edilir.

$$T_H = \frac{T - T_{oda}}{T_{erime} - T_{oda}} \quad (4.17)$$

Malzeme sıcaklığı T , erime sıcaklığı T_{erime} , oda sıcaklığı T_{oda} olarak ifade edilir. ANSYS Workbench kütüphanesinde malzemeler bölümünden Steel 4340 malzemesi seçilerek çelik için tanımlanan bu özelliklerin programa tanıtımı sağlanmıştır. Çeliğin hacimsel genleşme modülü ve kayma modülü, elastisite modülü ve poisson oranı gibi değerlere bağlı olarak hesaplanarak malzeme kütüphanesinde revize edilmiştir. Donatı çeliğine ait malzeme parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çelik malzeme parametreleri

Çelik Sınıfı	Durum Denklemi	Dayanım Modeli	Hacimsel Genleşme Modülü K(MPa)	Kayma Modülü G(MPa)
S420	Lineer	Johnson-Cook	$1,67 \times 10^5$	$7,69 \times 10^4$

Hava gaz halinde olduğu için içerisinde gerilmeler meydana gelmez ve bu yüzden de gerilme ve kırılma gibi olaylardan etkilenmez. Sadece patlama sırasında oluşan patlama dalgalarının iletimini sağlar. Yapıyı ve patlayıcıyı kapsayan hava hacmi ideal gaz olarak modellenmiştir. İdeal gaz durum denklemi Denklem 4.18. de, hava modelinde kullanılan değerler ise Çizelge 4.5. de verilmiştir [Önalın,2019].

$$P = (\gamma - 1)\rho E_a \quad (4.18)$$

Burada γ sabit bir değer, ρ havanın yoğunluğu ve E_a başlangıç enerjisi olarak ifade edilmektedir.

4.5. Hava hacmi parametreleri

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

Patlayıcı olarak tüm patlayıcı malzemeler için eşdeğerliği bulunan TNT malzemesi kullanılmıştır. Patlayıcı programda tanımlanırken Jones-Wilkens-Lee (JWL) durum denklemi seçilmiştir. Bu denklem patlayıcı malzemenin genleşme ve yayılma özelliklerini iyi bir şekilde yansıtmaktadır. JWL durum denklemi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir [Önalın,2019].

$$P = A \left(1 - \frac{\omega \rho}{R_1 \rho_0} \right) e^{-R_1 \rho / \rho_0} + B \left(1 - \frac{\omega \rho}{R_2 \rho_0} \right) e^{-R_2 \rho / \rho_0} + \omega \rho E_m \quad (4.19)$$

Burada A, B, ω , R_1 , R_2 , patlayıcının türüne bağlı deneysel olarak elde edilen katsayıları, E_m ise TNT 'nin birim ağırlığına denk spesifik enerjiyi ifade eder. TNT 'nin malzeme özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.6. TNT parametreleri

Parametre	Değer
Yoğunluk (g/cm ³)	1,63
İnfilak Hızı (km/s)	6930
Birim Hacim Enerjisi (kJ/m ³)	6×10^6
Basınç Değeri (kPa)	2×10^7
Başlangıç Enerjisi (Mj/mg)	$3,681 \times 10^6$

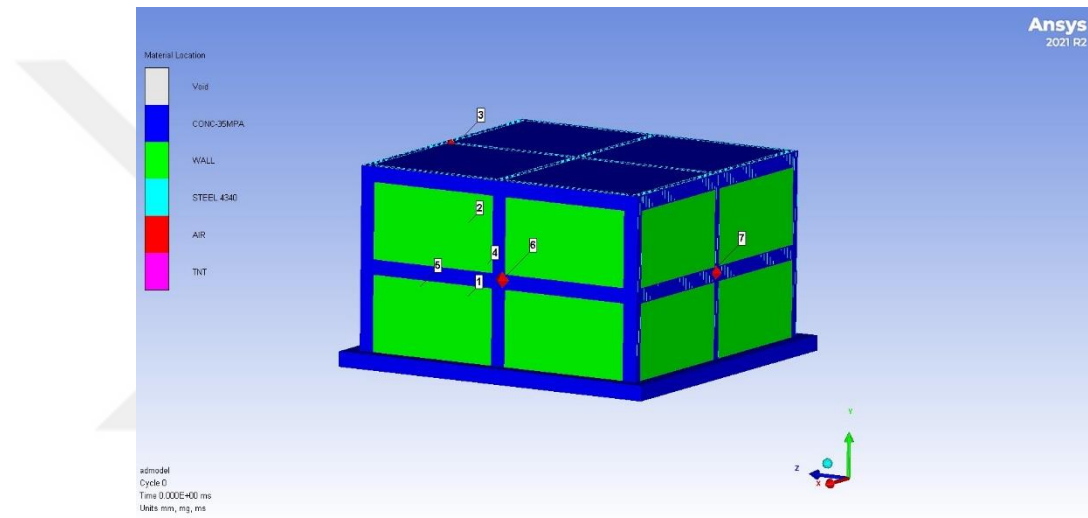
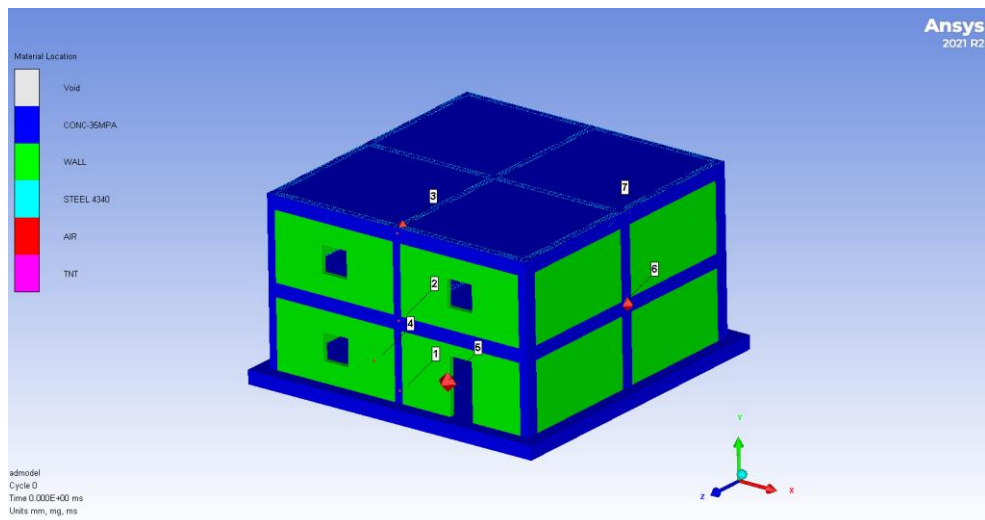
Bu sonlu elemanlar analizinde dolgu duvar malzemesi olarak tuğla kullanılmış olup malzemeye ait teknik özellikler Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Tuğla malzeme özellikleri

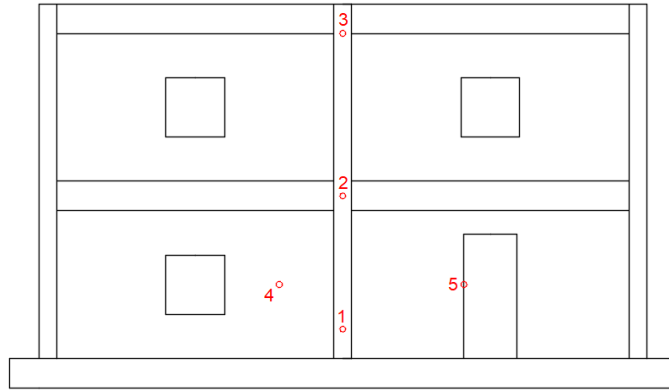
Malzeme	Referans yoğunluk (g/cm ³)	Basınç Gerilmesi (MPa)	Çekme Gerilmesi (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
Tuğla	2,4	5	0,5	$7,8 \times 10^3$

4.2. Okuma Noktaları

Patlama analizi sonrası sonuçların elde edilebilmesi ve analiz sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için, on altı analizde de yerleri sabit 7 nokta seçilmiştir. Okuma noktaları Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de görülmektedir.

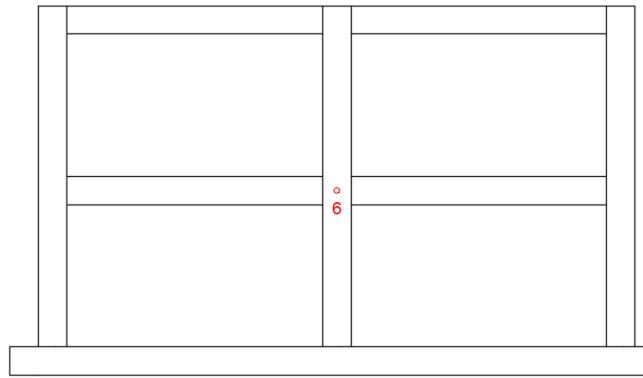
**Şekil 4.7.** Sonlu eleman modeli üzerine yerleştirilen okuma noktaları**Şekil 4.8.** Sonlu eleman modeli üzerine yerleştirilen okuma noktaları

Okuma noktalarının plan üzerindeki gösterimi Şekil.4.9., Şekil.4.10. ve Şekil.4.11.'de verilmiştir.



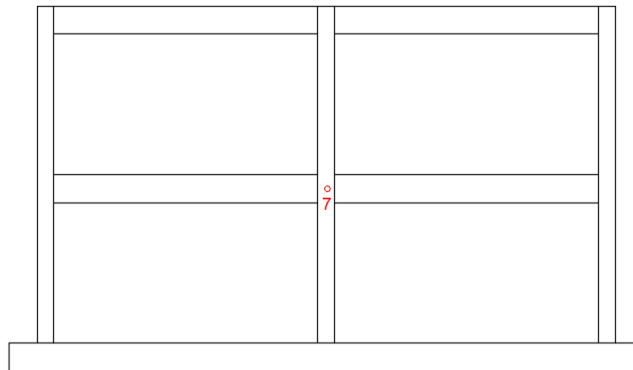
ÖN CEPHE

Şekil 4.9. Plan üzerine yerleştirilen okuma noktaları



SAĞ CEPHE

Şekil 4.10. Plan üzerine yerleştirilen okuma noktaları



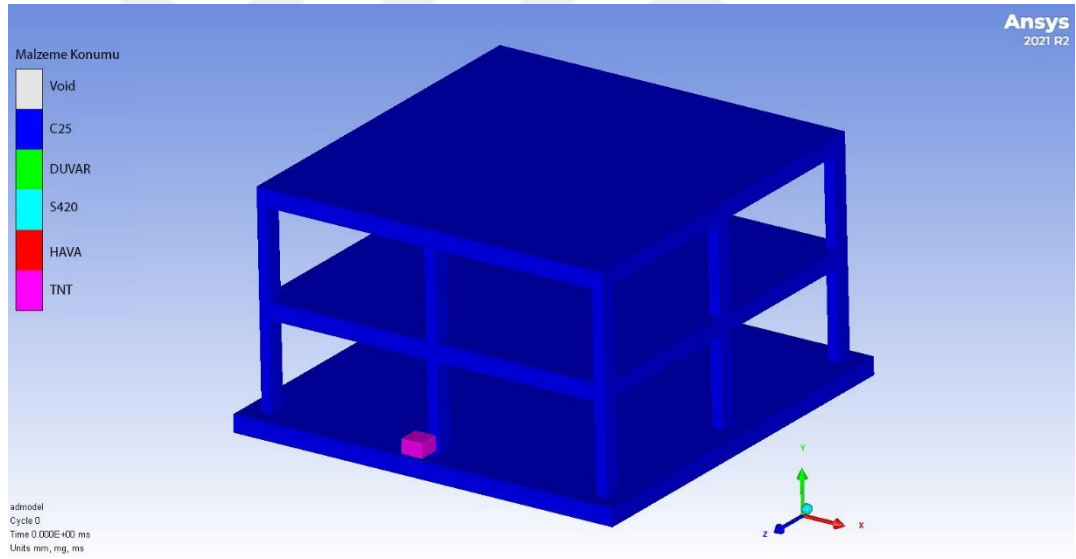
ARKA CEPHE

Şekil 4.11. Plan üzerine yerleştirilen okuma noktaları

4.3. Patlama Modelleri

4.3.1. AO1-235-10/25 Patlama Senaryosu

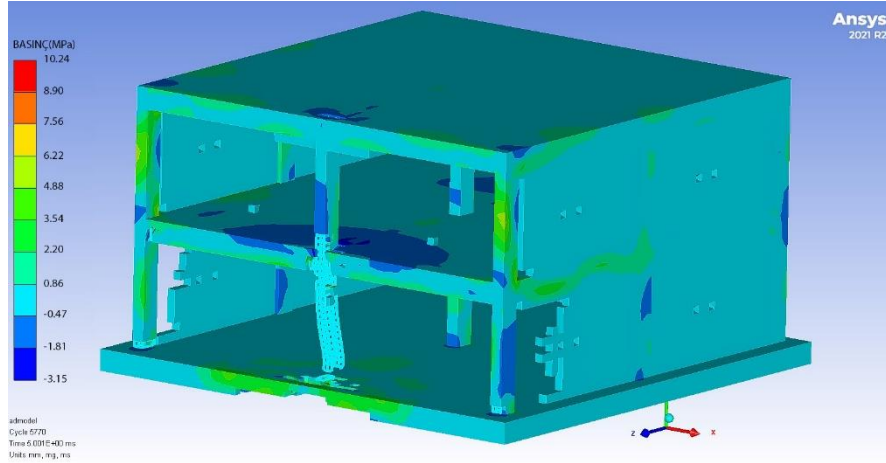
Birinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisinde orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde 25 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ 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. Kolonlarının üzerine %10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AO1-235-10/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.12.'de görülmektedir.



Şekil 4.12. AO1-235-10/25 patlayıcı (TNT) konumu

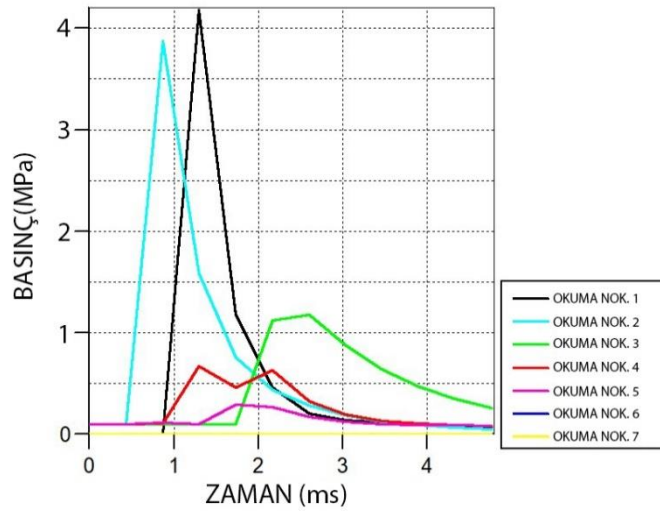
4.3.1.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinde incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 10,24 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. AO1-235-10/25 basınç gerilmesi diyagramı

AO1-235-10/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.14.'de verilmiştir. En yüksek basınç değerinin okuma noktası 1'de okunan 4,18 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.14. AO1-235-10/25 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

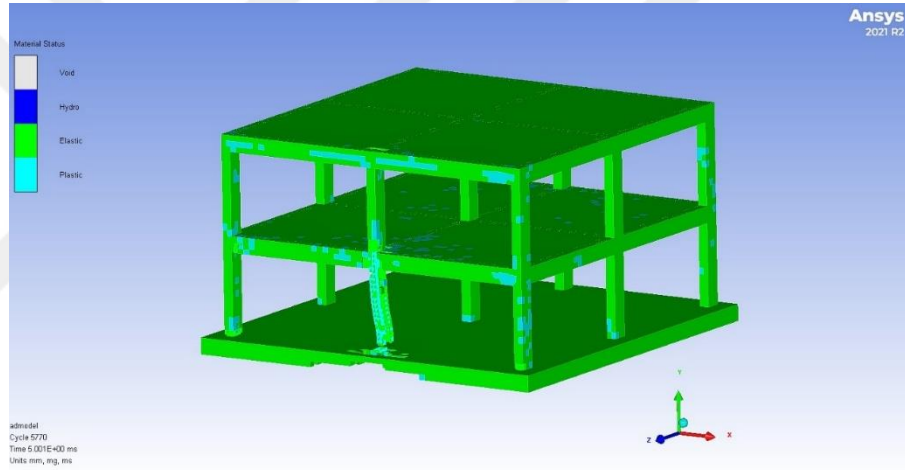
Çizelge 4.8. AO1-235-10/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	4,18
2	3,87
3	1,18
4	0,67
5	0,29
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,29 Mpa, maksimum ise 1 noktasında 4,18 Mpa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.1.2. Hasar Durumu

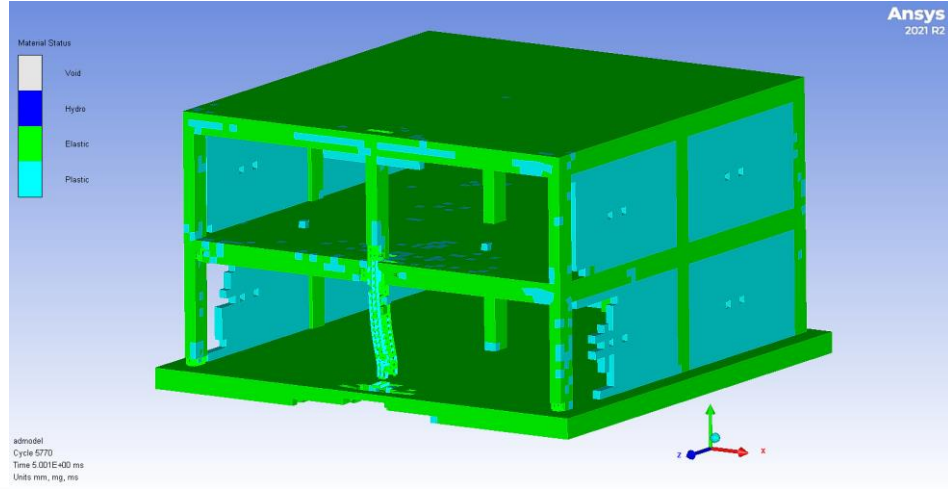
235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.15.'te gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.15. AO1-235-10/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

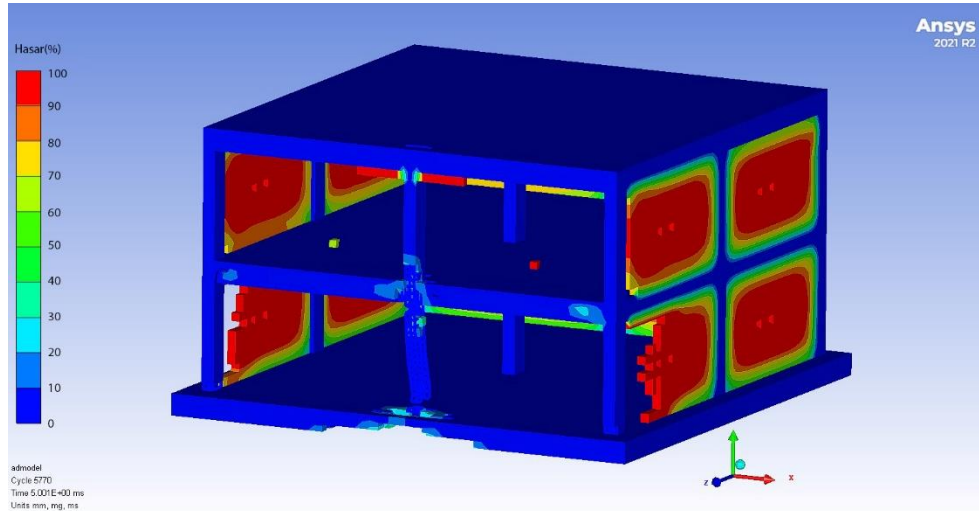
Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar oluştuğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönmelenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki alanda özellikle büyük hasar oluşturduğu, bu mesafeyi geçen kısımlarda ise hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan deformasyonlara ait kontur diyagramı Şekil 4.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. AO1-235-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

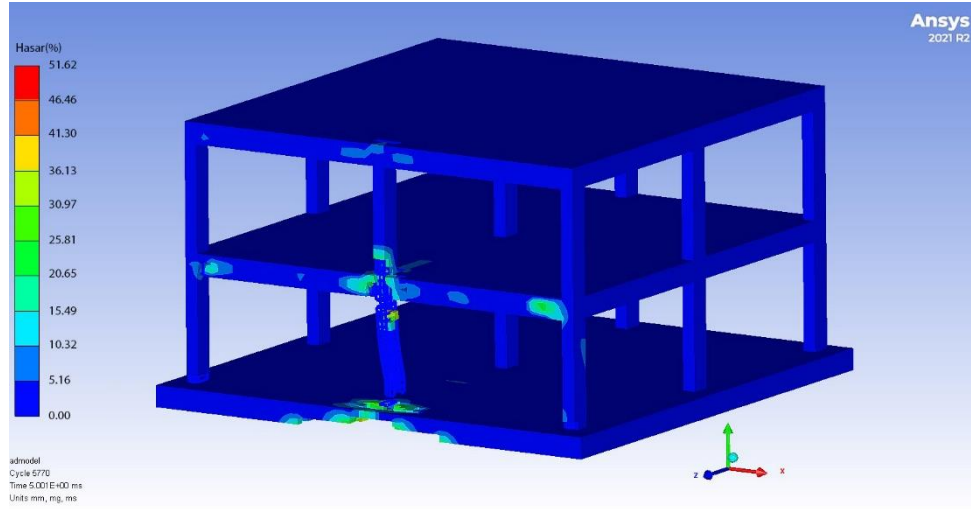
Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17. AO1-235-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şekil 4.17. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.18.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

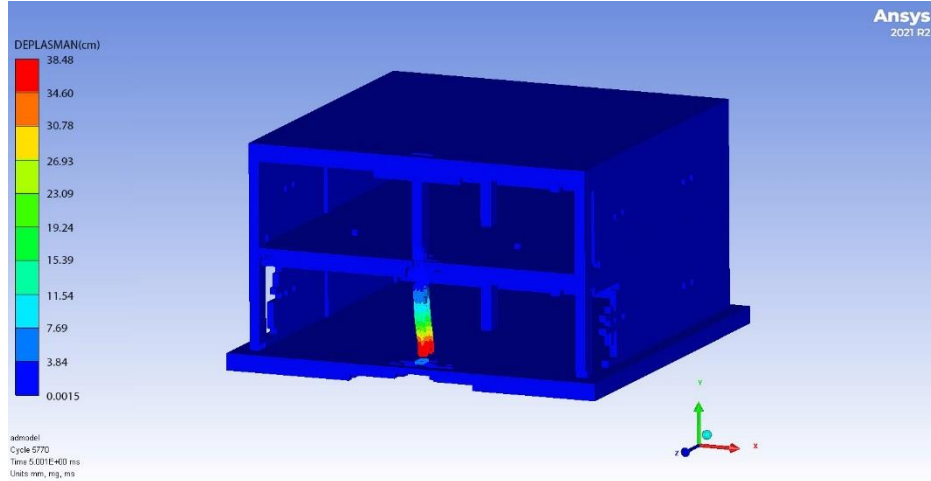


Şekil 4.18. AO1-235-10/25 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.18.'deki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 51,62 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.1.3. Yer değiştirme

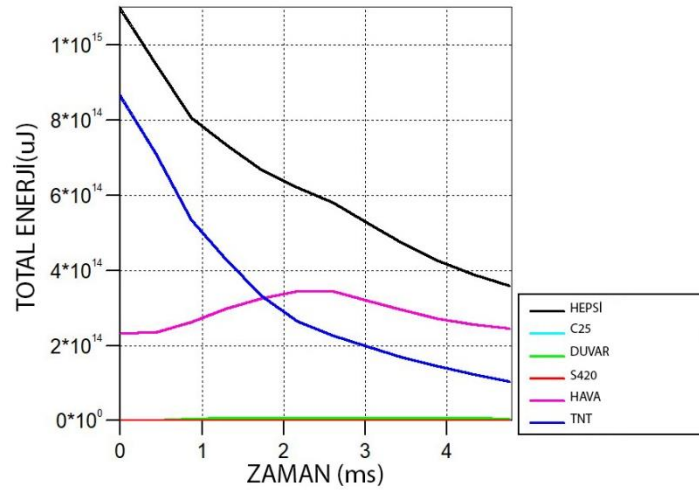
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.19.'da verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 38,48 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.19. AO1-235-10/25 yer değiştirme görünümü

4.3.1.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlemeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler duvarlar ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 1. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.20.'de verilmiştir.



Şekil 4.20. AO1-235-10/25 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.9.'da gösterilmiştir. C25 beton tarafından 2,83E+13 uJ,

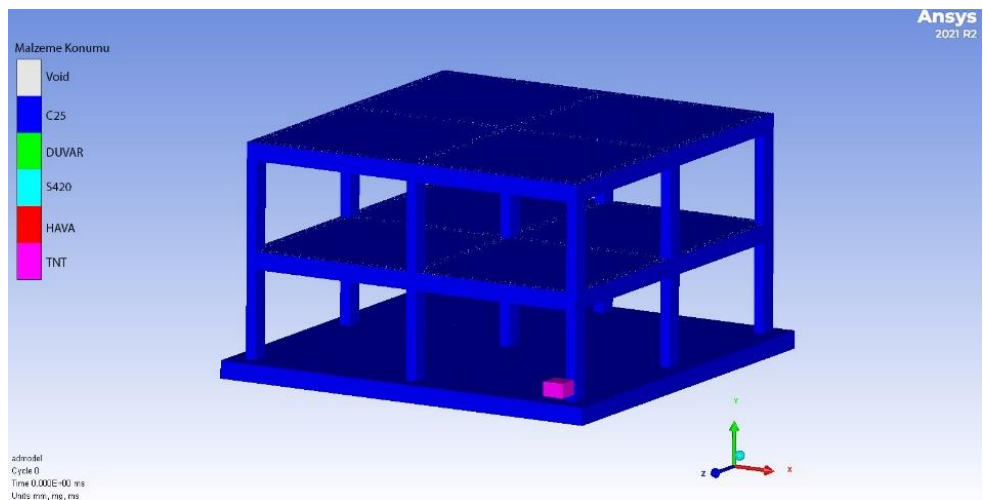
donatı tarafından $1,12\text{E}+12$ uJ, duvar tarafından $6,80\text{E}+13$ uJ, hava tarafından $3,45\text{E}+14$ uJ ve patlayıcı tarafından $8,64\text{E}+14$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. A1-235-10/25 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$2,83\text{E}+13$
DUVAR	$6,80\text{E}+13$
DONATI	$1,12\text{E}+12$
HAVA	$3,45\text{E}+14$
TNT	$8,64\text{E}+14$

4.3.2. AS2-235-10/25 Patlama Senaryosu

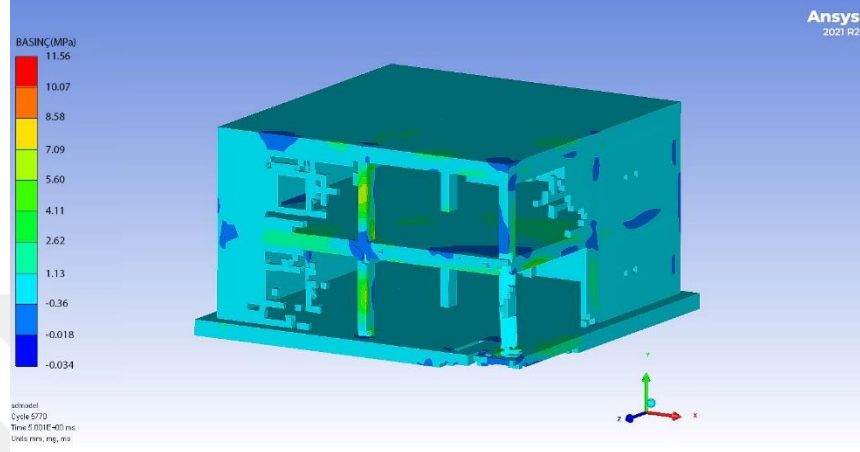
İkinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine sağ yan kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C25 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ 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. Kolonlarının üzerine %10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AS2-235-10/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.21.'de verilmiştir.



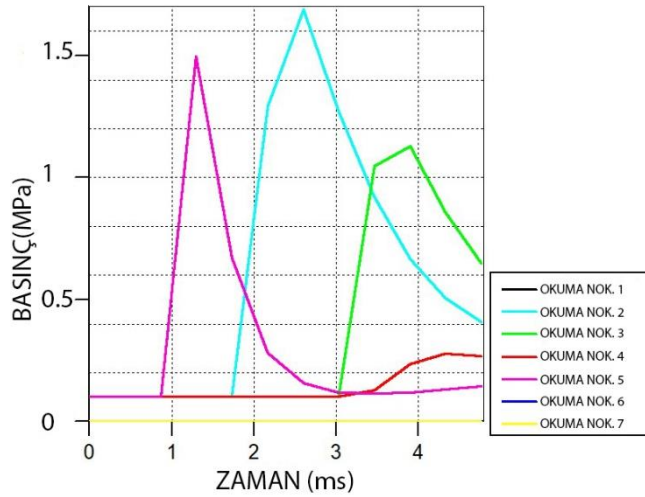
Şekil 4.21. AS2-235-10/25 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.2.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 11,56 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.22.).



Şekil 4.22. AS2-235-10/25 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.23. AS2-235-10/25 analizinde noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AS2-235-10/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.23.'te verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 1.69 MPa olduğu görülmüştür.

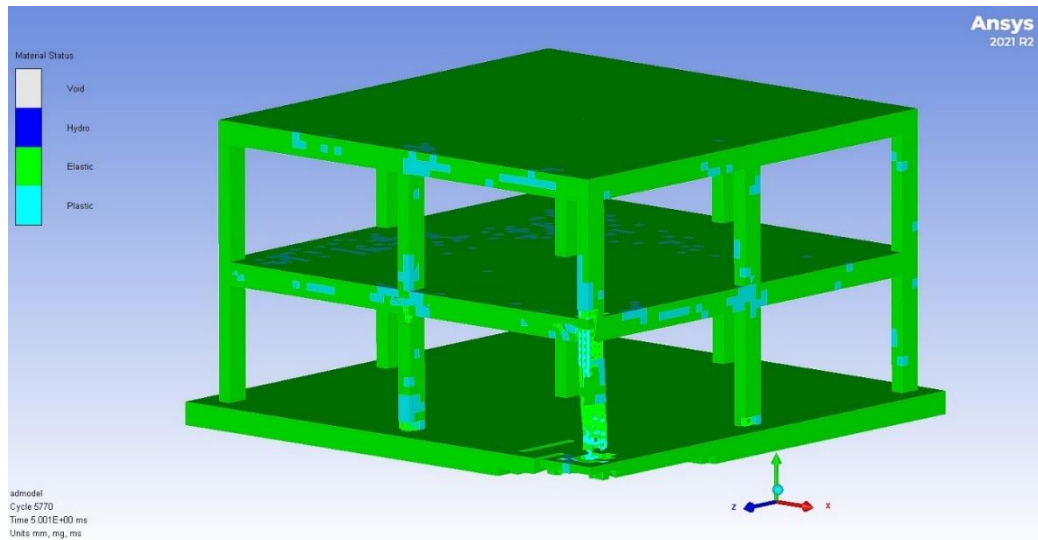
Çizelge 4.10. AS2-235-10/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	1,69
3	1,13
4	0,28
5	1,5
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimumu 0,28 MPa, maksimum ise 2 noktasında 1,69 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

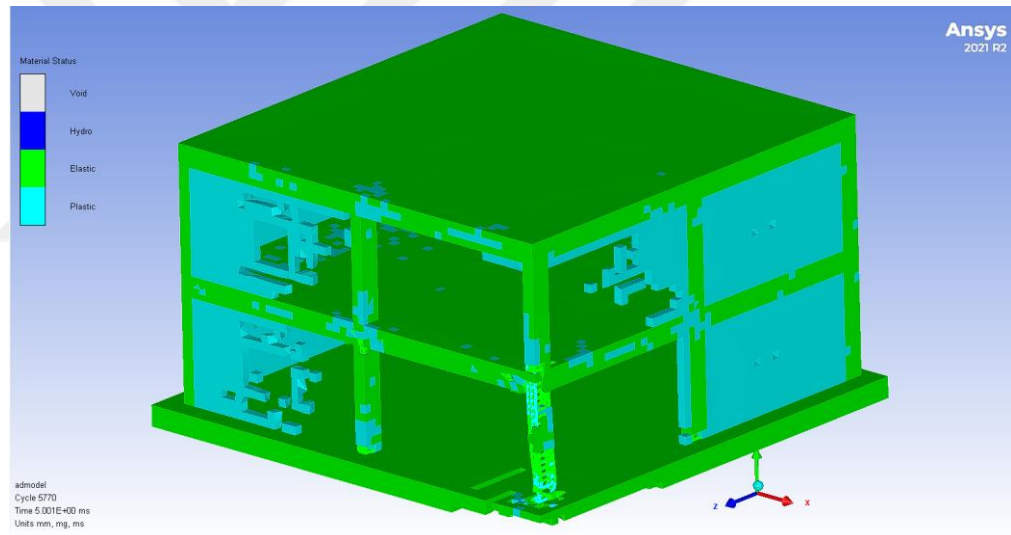
4.3.2.2. Hasar Durumu

235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.24.'te gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgelerdeki yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.

**Şekil 4.24.** AS2-235-10/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

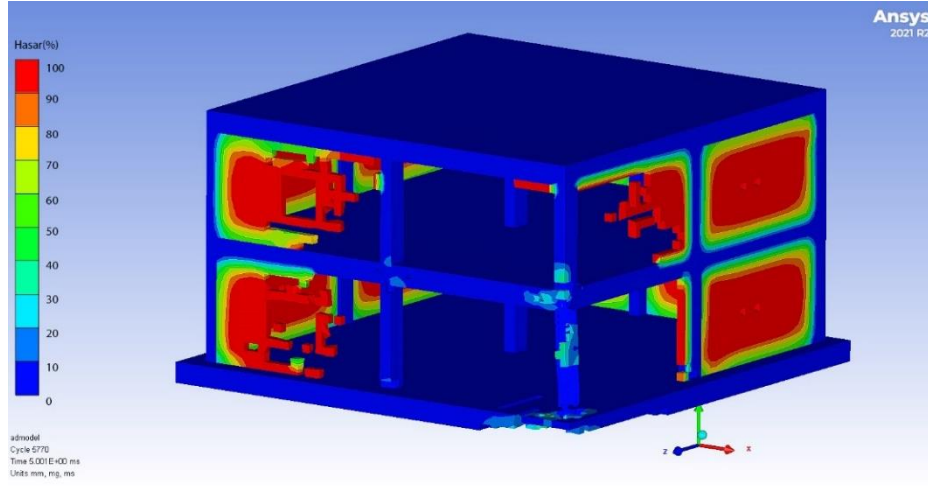
Patlayıcının tam karşısında bulunan 30 x 50 boyutlarındaki kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temelle bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Sağ kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel ile kolonun birleşim bölgesinden ayrıldığı, patlayıcıya yakın olan kısımda betonun parçalandığı ve alt kısımlarda plastik hasar olduğu dikkat çekmektedir. Patlama dalgası etkisinin birinci kat yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama dalgasının çok büyük bir bölgeye etki etmediği, etki bölgesi dışındaki elemanlarda ise ciddi bir hasarın olmadığı dikkat çekmektedir.

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.25.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. AS2-235-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

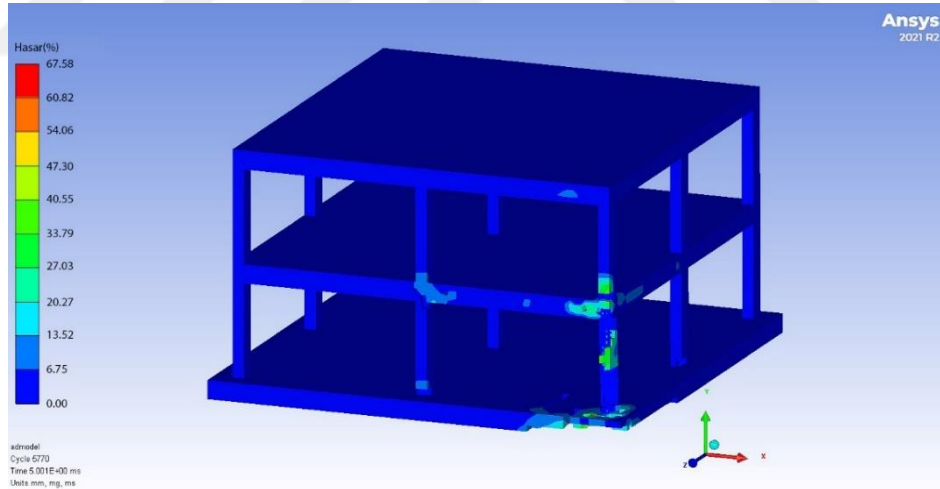
Şekil 4.25.'te görüldüğü gibi patlayıcının sol tarafında bulunan duvarlardan patlayıcıya yakın olan duvarların tamamı parçalanmış, ön cephede uzak olan duvarlar az hasar almıştır. Yapının sağ cephesindeki birinci kat duvarlarının tamamı hasar alırken, patlayıcıya uzak olan duvarlar kısmi hasar almıştır. Arka cephe duvarlarında ise neredeyse hiç bir hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.25. AS2-235-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.26. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.27.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

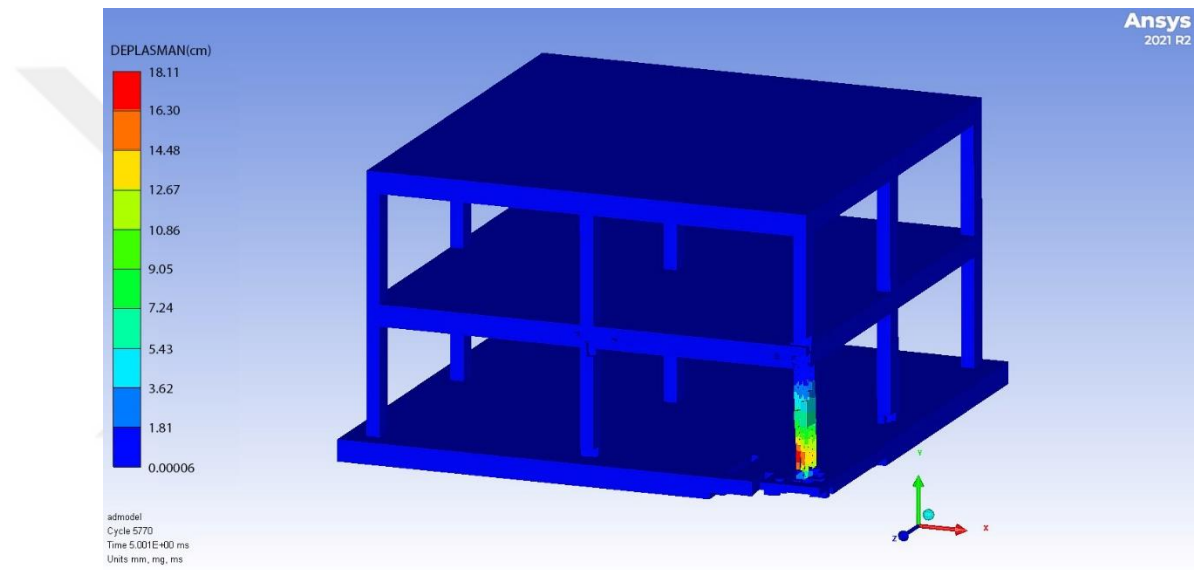


Şekil 4.27. AS2-235-10/25 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.27.'deki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maximum hasar oranı % 67,58 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.2.3. Yer Değiştirmeler

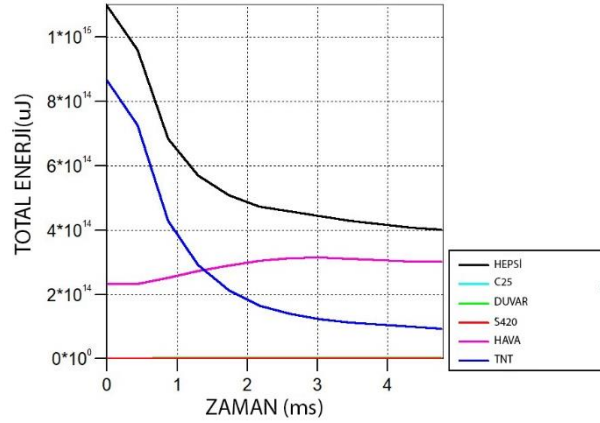
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.28.'de verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 18,11 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak sağ kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından sağ yan kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.28. AS2-235-10/25 yer değiştirme görünümü

4.3.1.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 2. analizdeki Toplam enerji- zaman grafiğı Şekil 4.28.'te verilmiştir.



Şekil 4.28. AS2-235-10/25 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.11.'de gösterilmiştir. C25 beton tarafından 1,45E+13 uJ, donatı tarafından 5,11E+11 uJ, duvar tarafından 3,46E+13 uJ, hava tarafından 3,16E+14 uJ ve patlayıcı tarafından 8,64E+14 uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

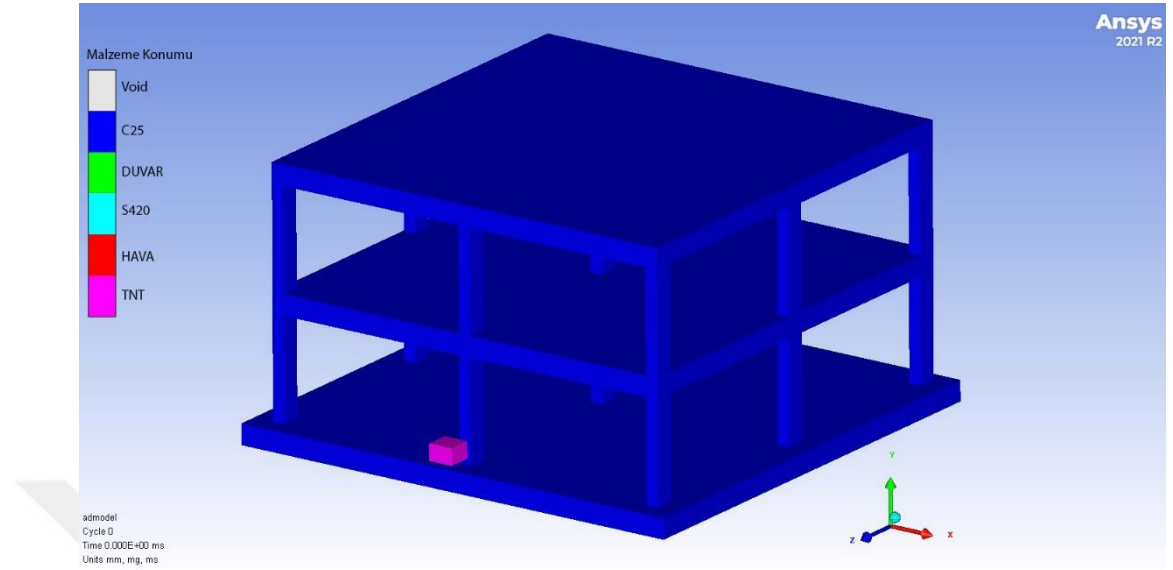
Çizelge 4.11. AS2-235-10/25 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	1,45E+13
DUVAR	3,46E+13
DONATI	5,11E+11
HAVA	3,16E+14
TNT	8,64E+14

4.3.3. AO3-235-40/25 Patlama Senaryosu

Üçüncü analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C25 beton sınıfı kullanılmıştır. 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. Kolonlarının üzerine % 40 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye

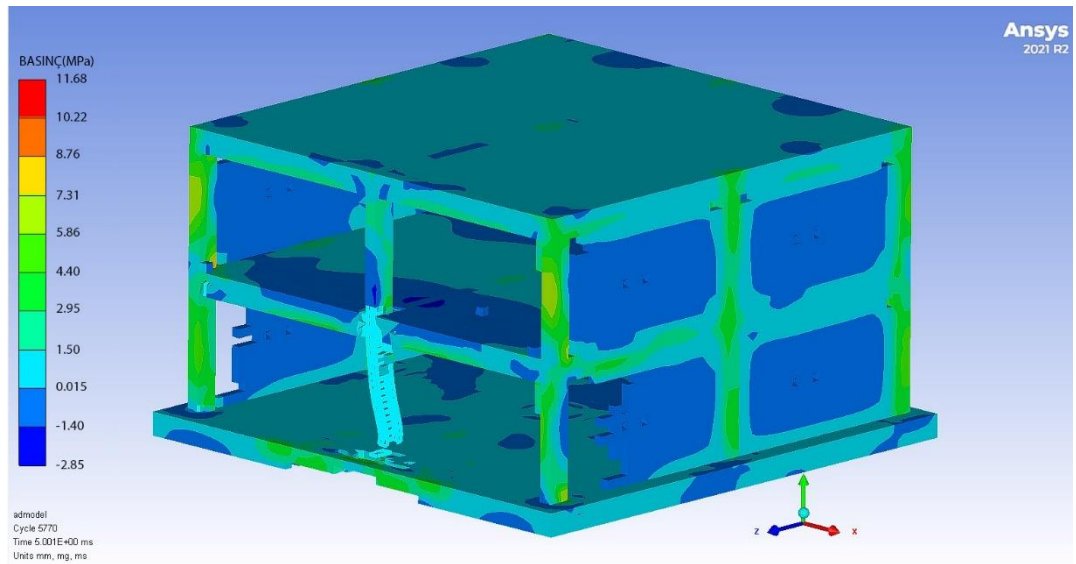
patlama süresi ayarlanmıştır. AO3-235-40/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.29.'da görülmektedir.



Şekil 4.29. AO3-235-40/25 patlayıcı (TNT) konumu

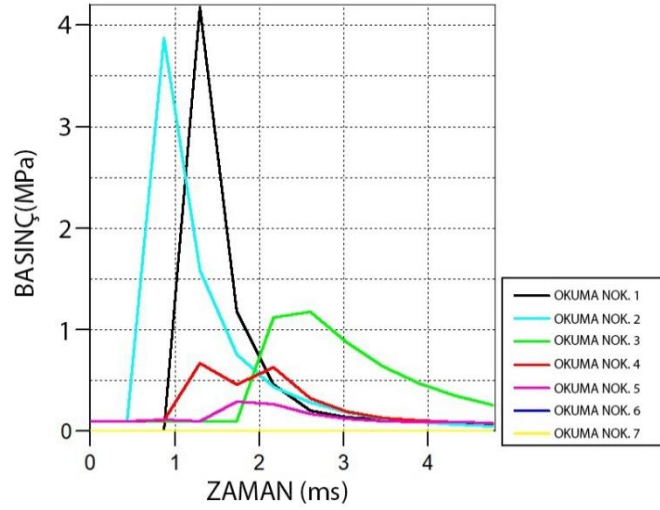
4.3.3.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 11,68 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.30.).



Şekil 4.30. AO3-235-40/25 basınç gerilmesi diyagramı

AO3-235-40/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.31.'de verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 5'te okunan 4,18 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.31. AO3-235-40/25 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

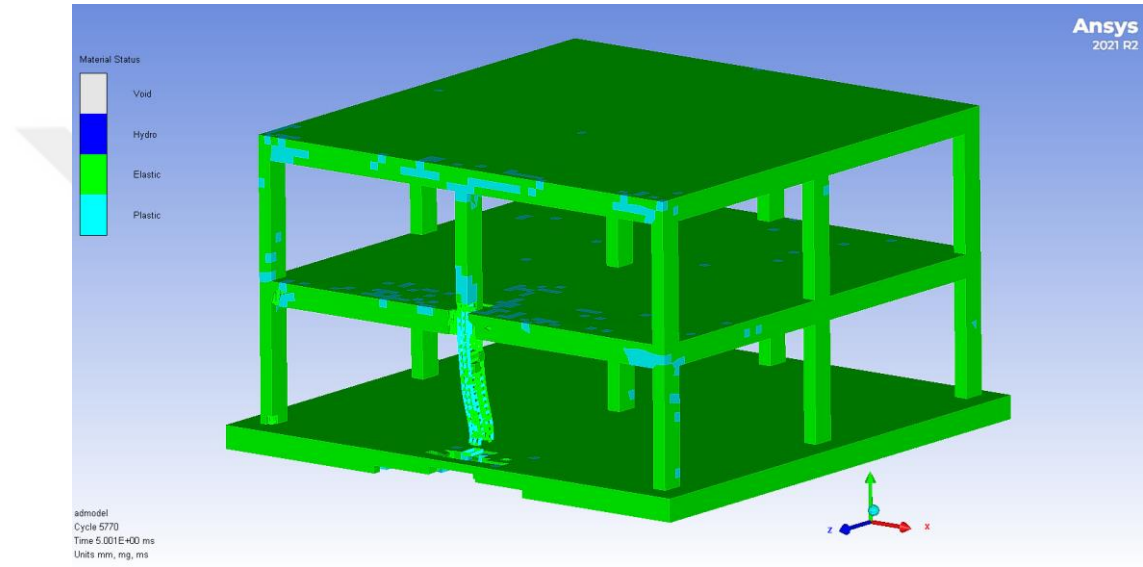
Çizelge 4.12. AO3-235-40/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	4,18
2	3,87
3	1,18
4	0,67
5	0,29
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,29 MPa, maksimum ise 1 noktasında 4,18 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.3.2. Hasar Durumu

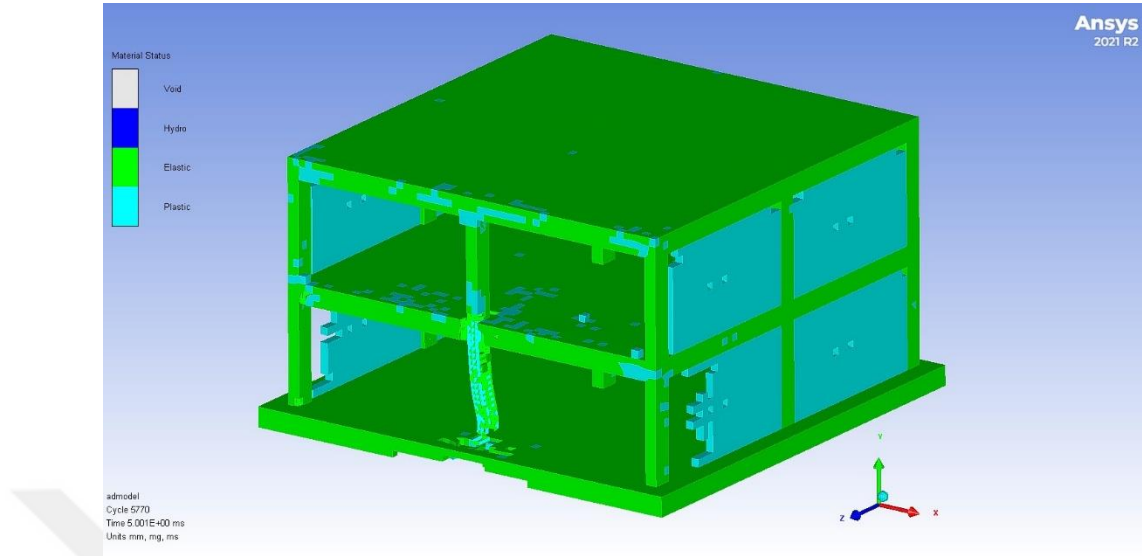
235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanan kısımlar Şekil 4.32.'de gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.32. AO3-235-40/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

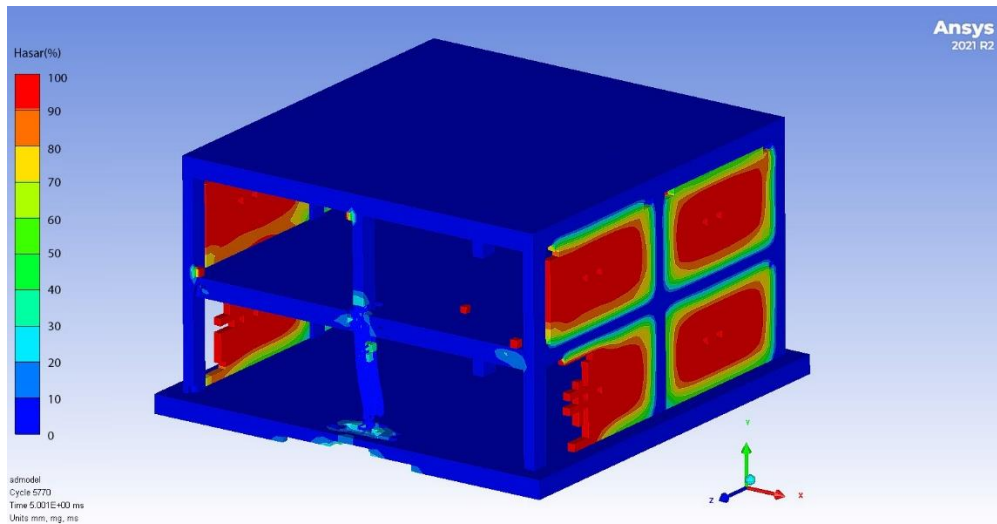
Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcının karşısında bulunan bölgede betonda dökülmeler olduğu ve kolon ile temelin birleştiği bölgeden tamamen ayrıldığı görülmektedir. Birinci kat orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan alt bölgede betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.33.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. AO3-235-40/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

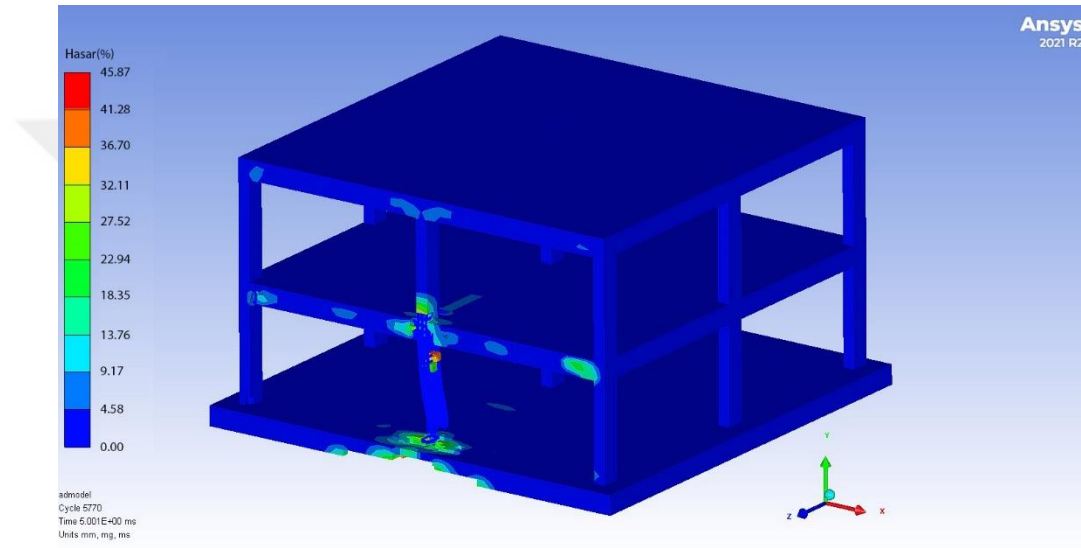
Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.34. AO3-235-40/25 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.34. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

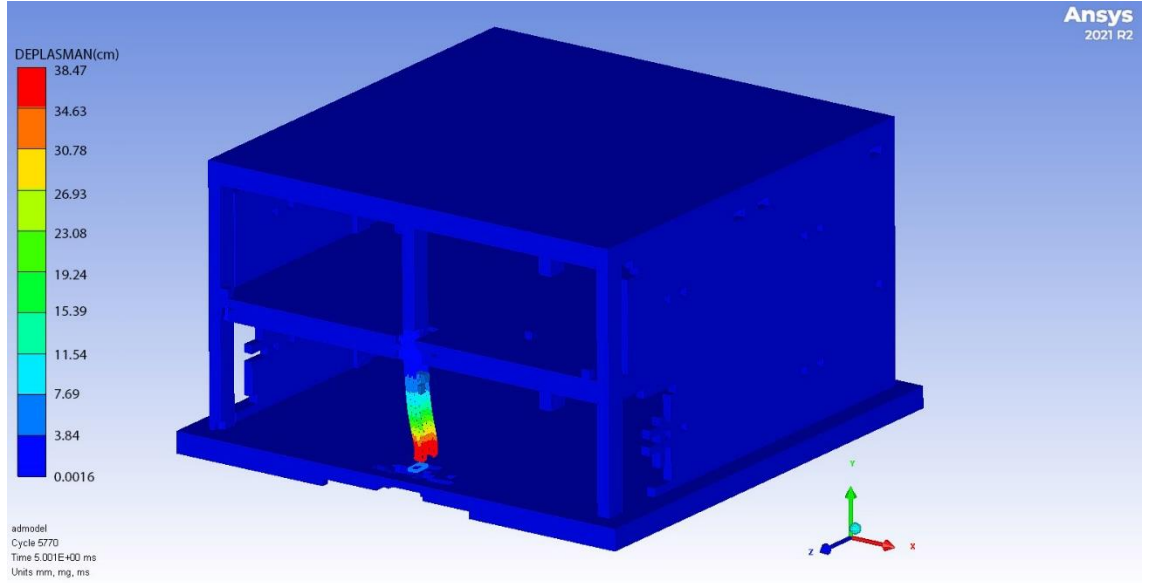
Şekil 4.35.'te yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir. Diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 45,87 olarak görülmektedir. Birinci kat giriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.



Şekil 4.35. AO3-235-40/25 nihai hasar görüntüsü

4.3.3.3. Yer Değiştirme

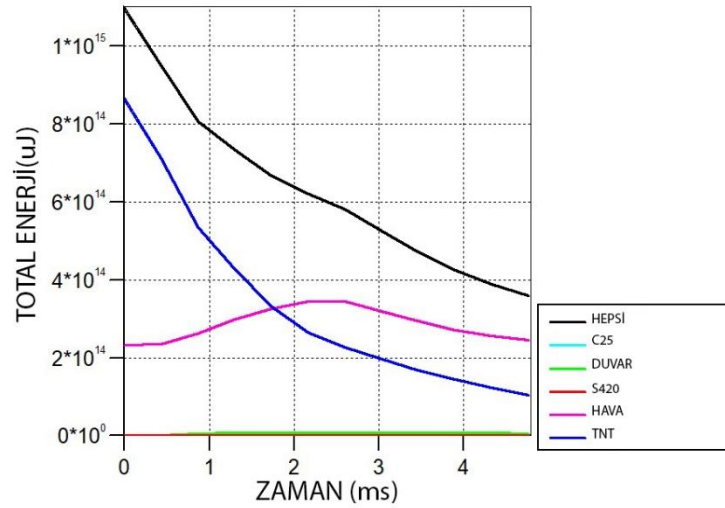
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.36.'da verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 38,48 cm'dir Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.36. AO3-235-40/25 yer değiştirme görünümü

4.3.3.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlemeler kolonlar, kirişler, duvarlar döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 3. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.37.'de verilmiştir.



Şekil 4.37. AO3-235-40/25 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.13.'te gösterilmiştir. C25 beton tarafından 2,85E+13 uJ, donatı

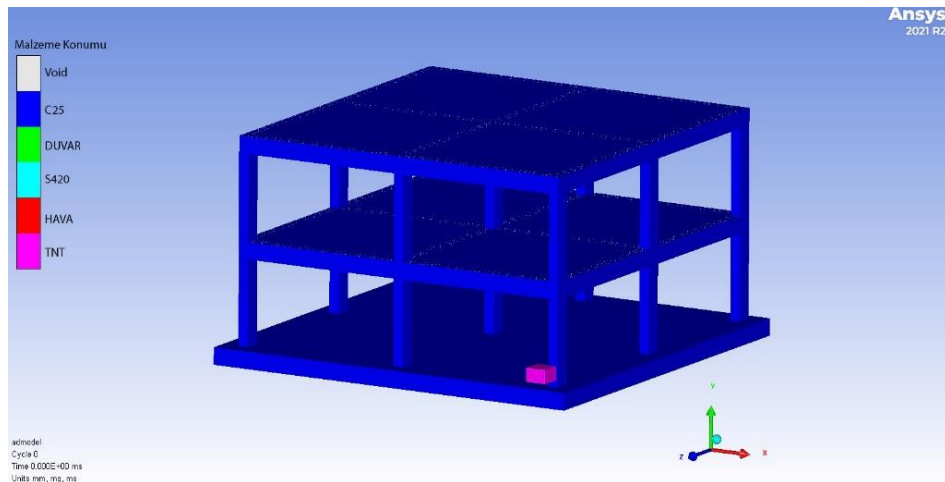
tarafından $1,13\text{E}+12$ uJ, duvar tarafından $6,80\text{E}+13$ uJ, hava tarafından $3,45\text{E}+14$ uJ ve patlayıcı tarafından $8,64\text{E}+14$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13. AO3-235-40/25 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$2,85\text{E}+13$
DUVAR	$6,80\text{E}+13$
DONATI	$1,13\text{E}+12$
HAVA	$3,45\text{E}+14$
TNT	$8,64\text{E}+14$

4.3.4. AS4-235-40/25 Patlama Senaryosu

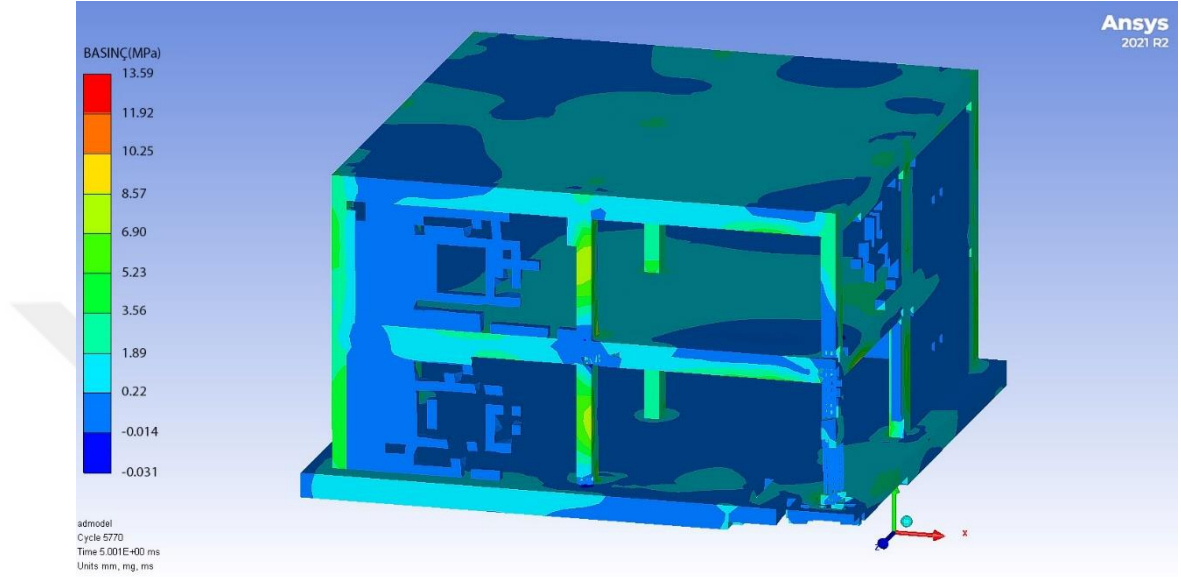
Dördüncü analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine sağ yan kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C25 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 2 \times 3 = 18\text{ birim}^3$; 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. Kolonların üzerine % 40 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AS4-235-40/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.38.'de görülmektedir.



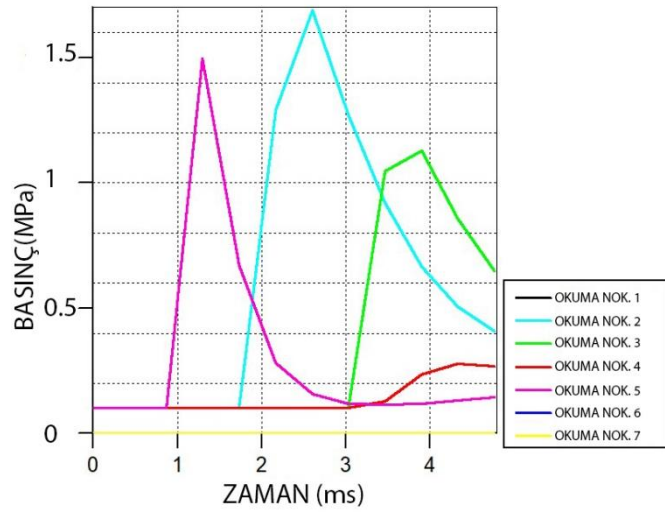
Şekil 4.38. AS4-235-40/25 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.4.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 13,59 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.39.).



Şekil 4.39. AS4-235-40/25 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.40. AS4-235-40/25 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AS4-235-40/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.40.'ta verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 1.69 MPa olduğu görülmüştür.

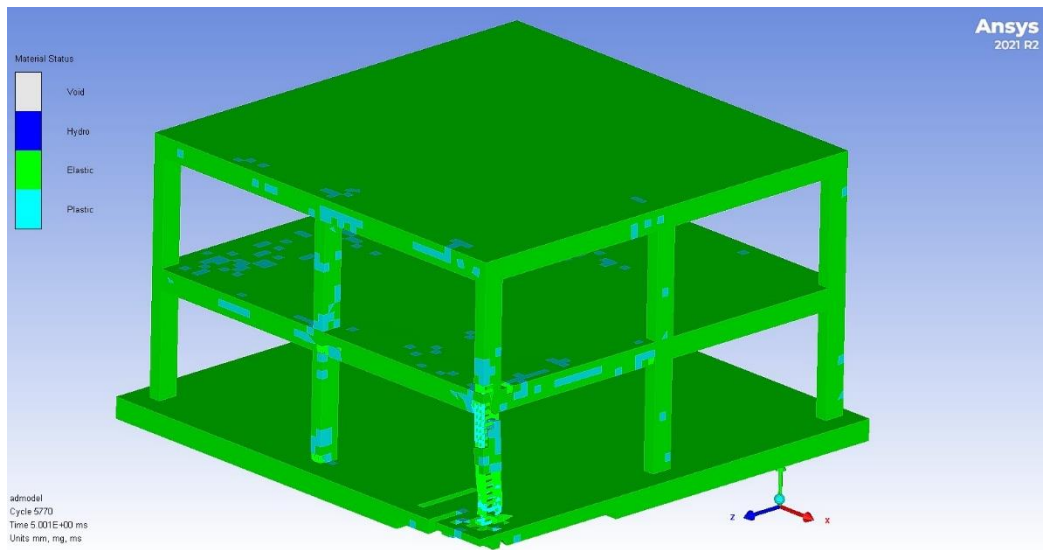
Çizelge 4.14. AS4-235-40/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	1,69
3	1,13
4	0,27
5	1,5
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimum 0,28 MPa, maksimum ise 2 noktasında 1,69 MPa basınç olduğu, patlayıcıya uzak kalan 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

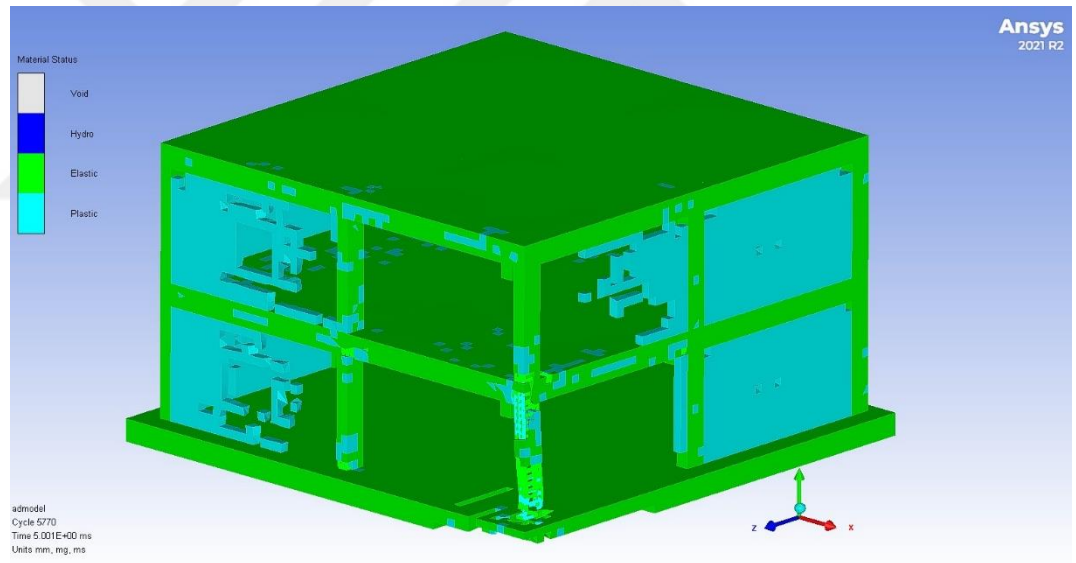
4.3.4.2. Hasar Durumu

235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.41.'de gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.

**Şekil 4.41.** AS4-235-40/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

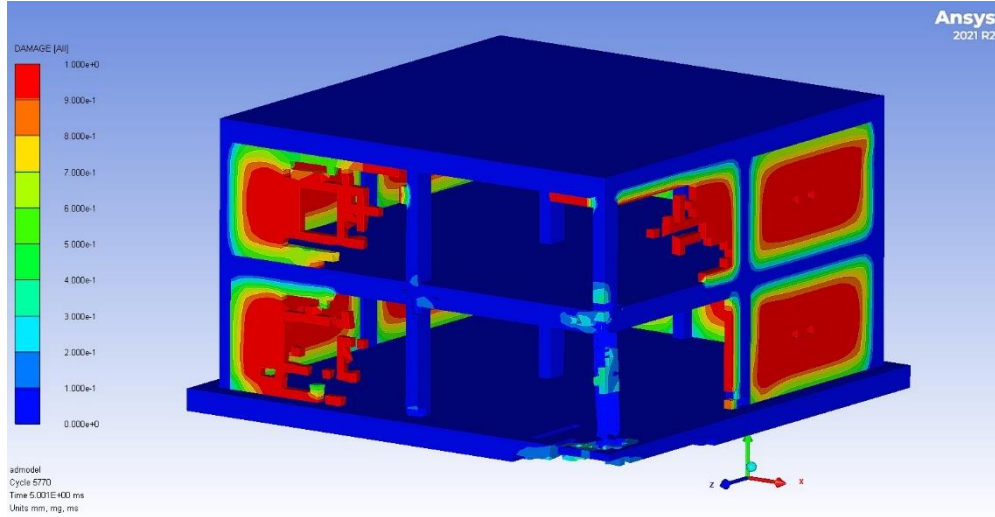
Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Sağ kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.42.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.42. AS4-235-40/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

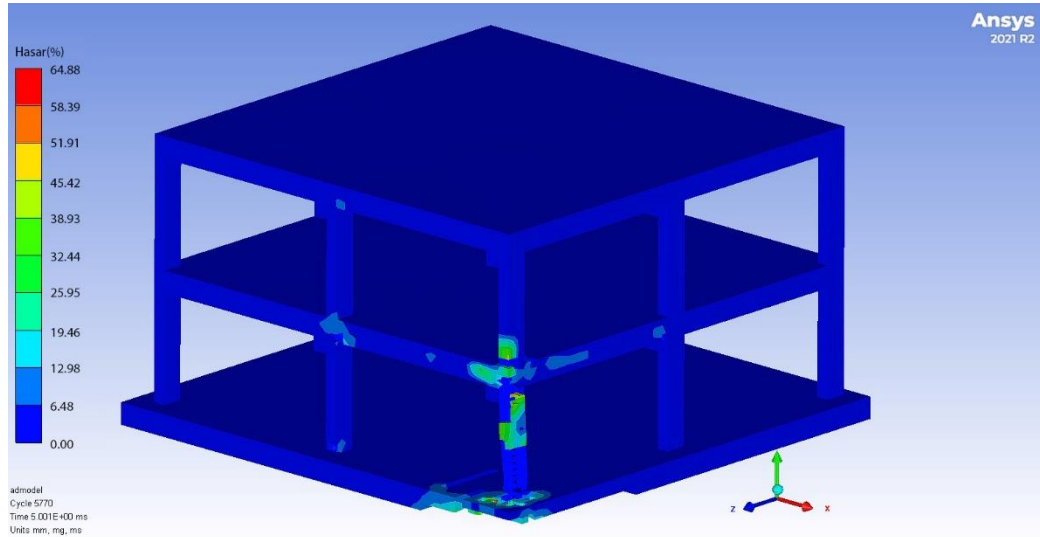
Şekil 4.42.'de görüldüğü gibi patlayıcının solunda bulunan duvarlardan patlayıcıya yakın olan bölgenin tamamı parçalanmış ve ön cephede uzak olan duvarlar daha az hasar almıştır. Yapının sağ cephesinde patlayıcıya yakın olan duvarların tamamı hasar alırken arka cephe duvarları neredeyse hiç hasar almamıştır. Duvarlarda plastik hasar gözlenmiştir. AS2-235-10/25 analizine göre eksenel yükün artırılması ile beraber duvarlarda, yüklemenin yapıldığı noktaya yakın köşe kısımlarda az miktarda parçalanma görülmüştür.



Şekil 4.43. AS4-235-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.43. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.44.'te yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

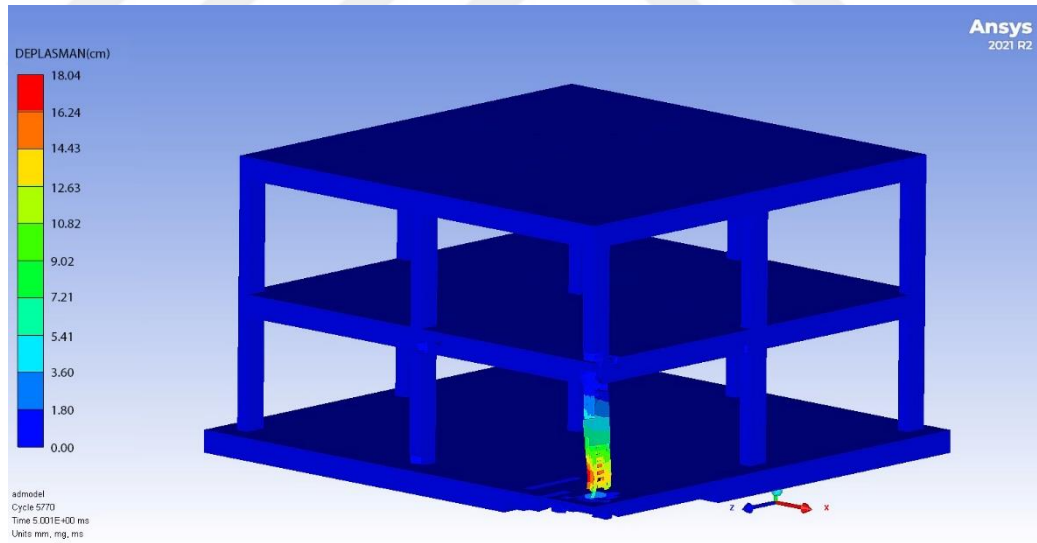


Şekil 4.44. AS4-235-10/25 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.44.'teki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maximum hasar oranı % 64,88 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.4.3. Yer Değiştirme

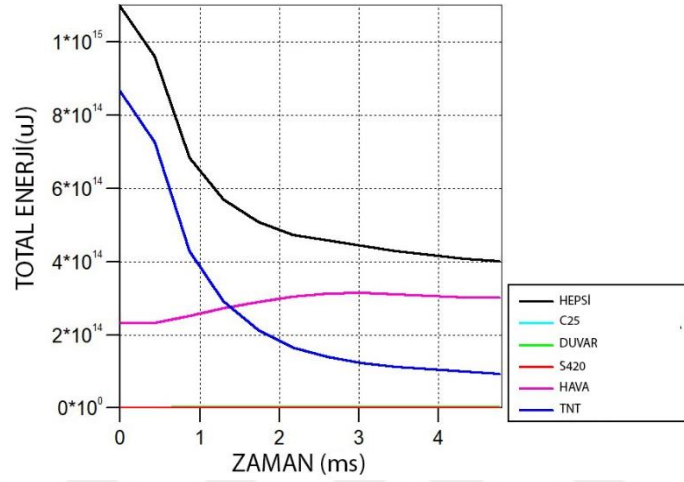
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 18,04 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak sağ kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından sağ yan kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.45. AS4-235-10/25 yer değiştirme görünümü

4.3.4.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlenmeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 4. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.46.'da verilmiştir.



Şekil 4.46. AS4-235-10/25 toplam enerji-zaman grafiği

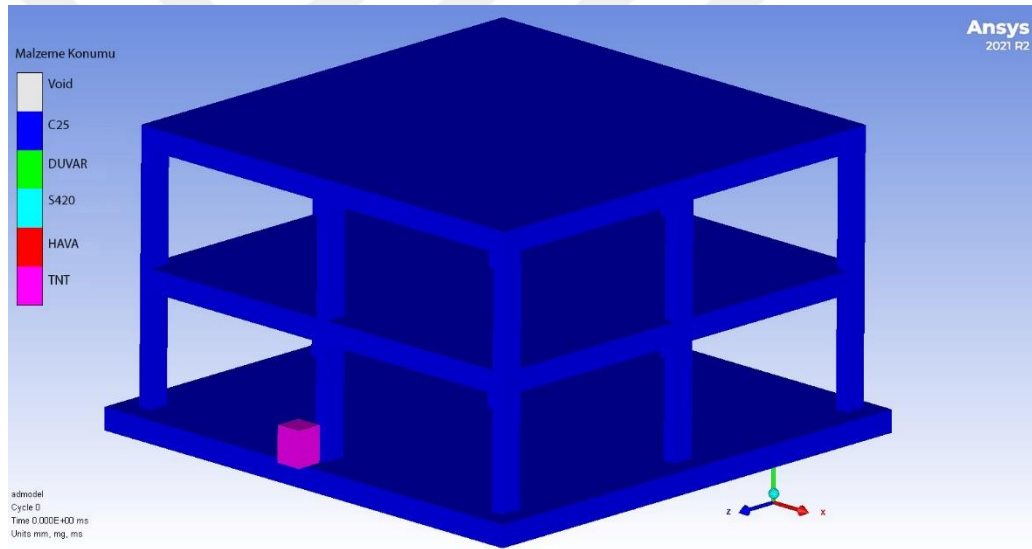
TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.15.'te gösterilmiştir. C25 beton tarafından $1,46E+13$ uJ, donatı tarafından $5,15E+11$ uJ, duvar tarafından $3,46E+13$ uJ, hava tarafından $3,16E+14$ uJ ve patlayıcı tarafından $8,64E+14$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.15. AS4-235-10/25 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$1,46E+13$
DUVAR	$3,46E+13$
DONATI	$5,15E+11$
HAVA	$3,16E+15$
TNT	$8,64E+15$

4.3.5. AO5-470-10/25 Patlama Senaryosu

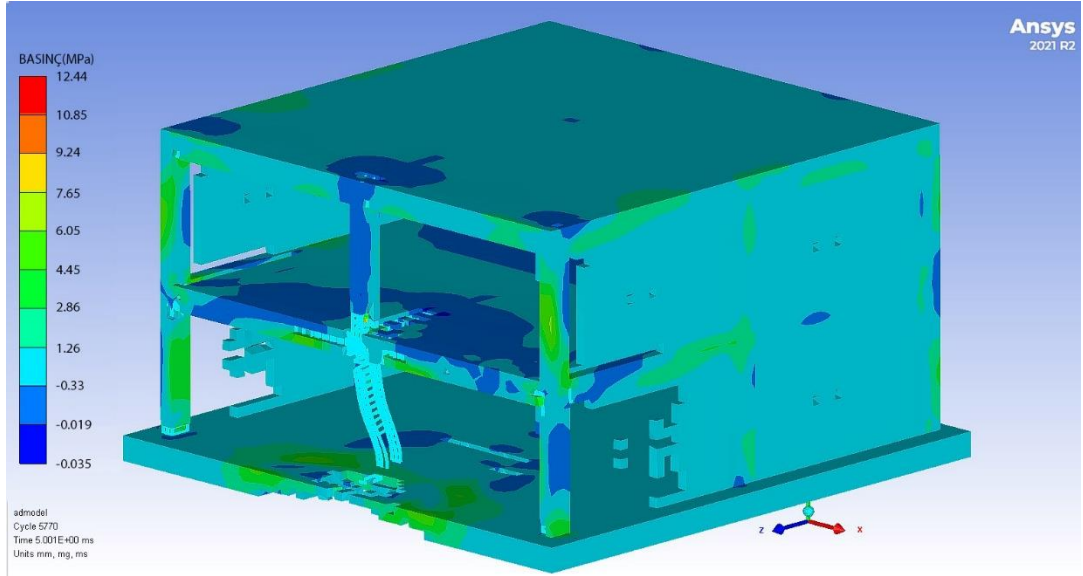
Beşinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C25 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 4 \times 3$ birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır. Kolonların üzerine % 10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AO5-470-10/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.47.'de görülmektedir.



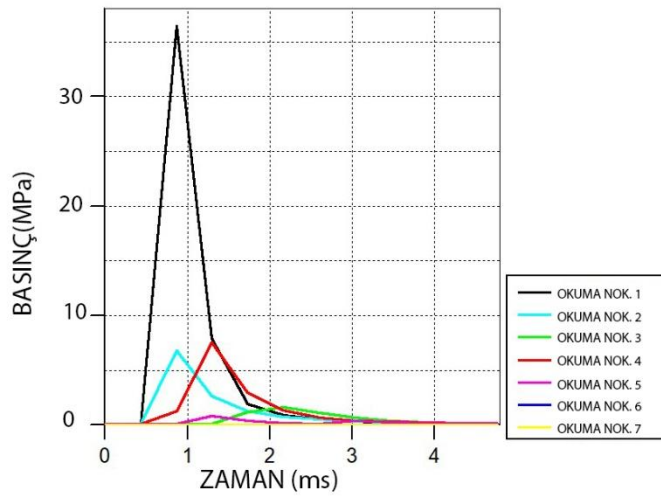
Şekil 4.47. AO5-470-10/25 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.5.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 12,44 MPa olduğu görülmektedir. (Şekil 4.48.).



Şekil 4.48. AO5-470-10/25 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.49. AO5-470-10/25 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AO5-470-10/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.49.'da verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 1'de okunan 36,43 MPa olduğu görülmüştür.

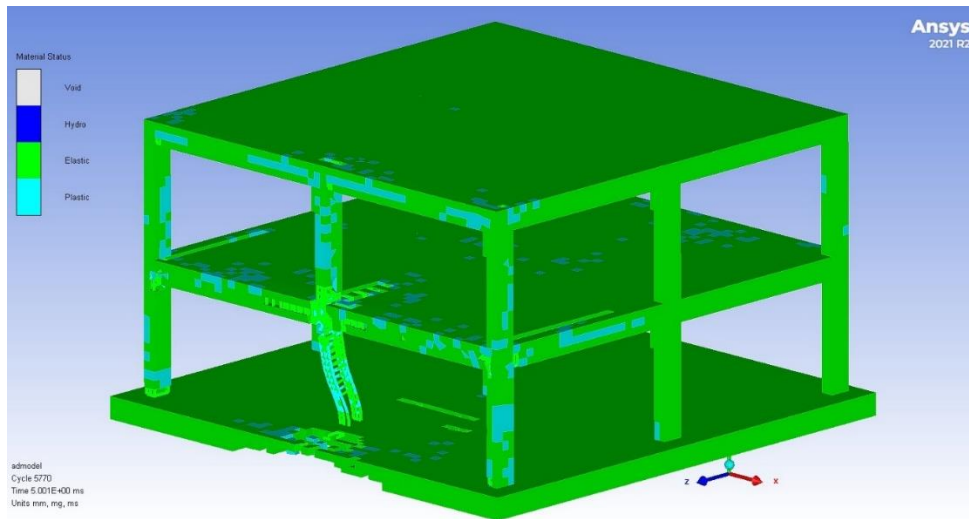
Çizelge 4.16. AO5-470-10/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	36,43
2	6,78
3	1,63
4	7,5
5	0,84
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,84 MPa, maksimum ise 1 noktasında 36,43 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

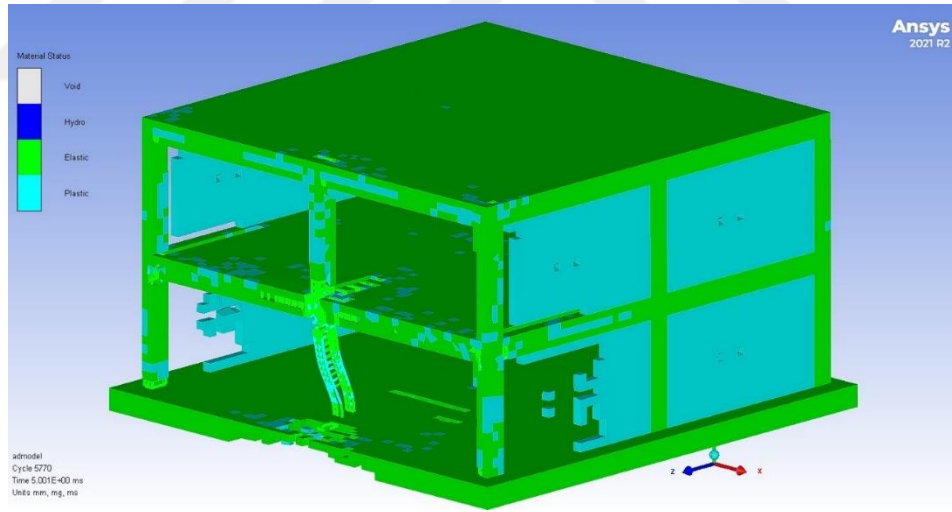
4.3.5.2. Hasar Durumu

470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.50.'de gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.

**Şekil 4.50.** AO5-470-10/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

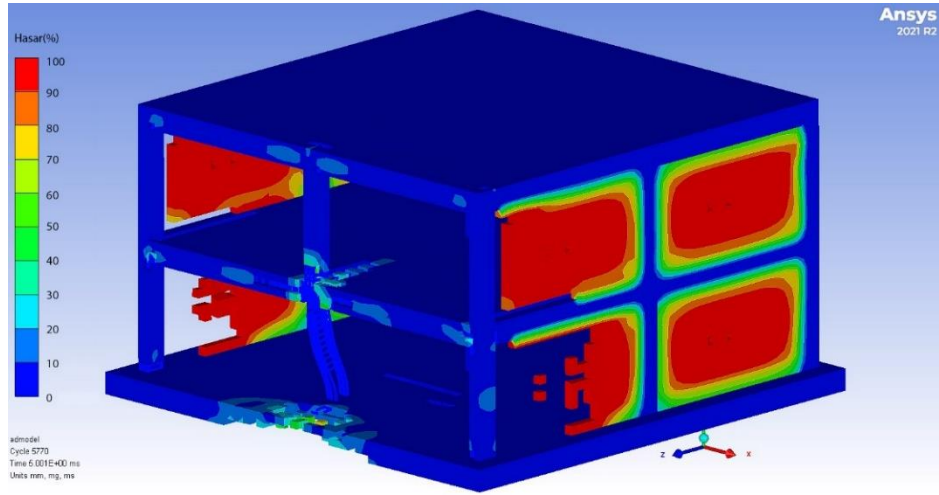
Yapının hasar durumu incelendiğinde, patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.51.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51. AO5-470-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

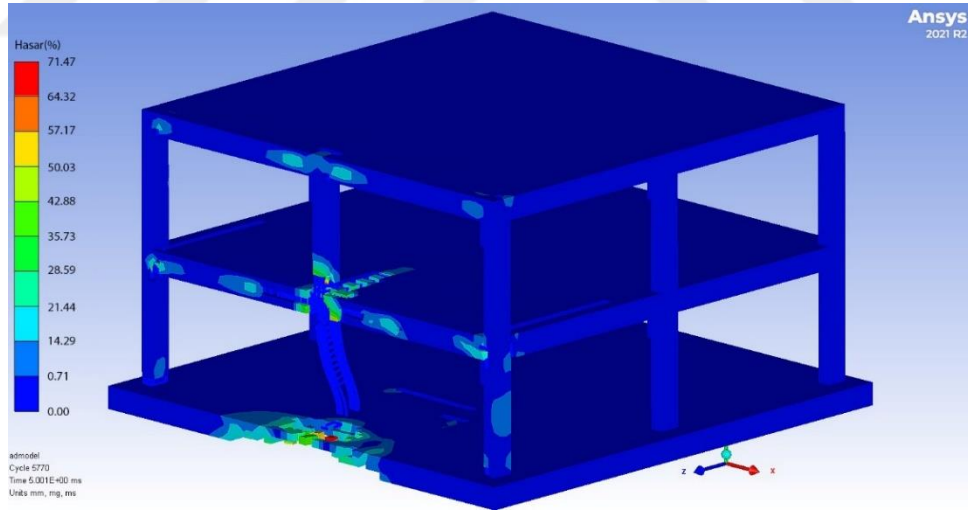
Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir. AO1-235-10/25 analizine göre patlayıcı ağırlığının artması ile yan duvarlardaki parçalanma miktarı artmıştır.



Şekil 4.52. AO5-470-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şekil 4.52. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.53.'te yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

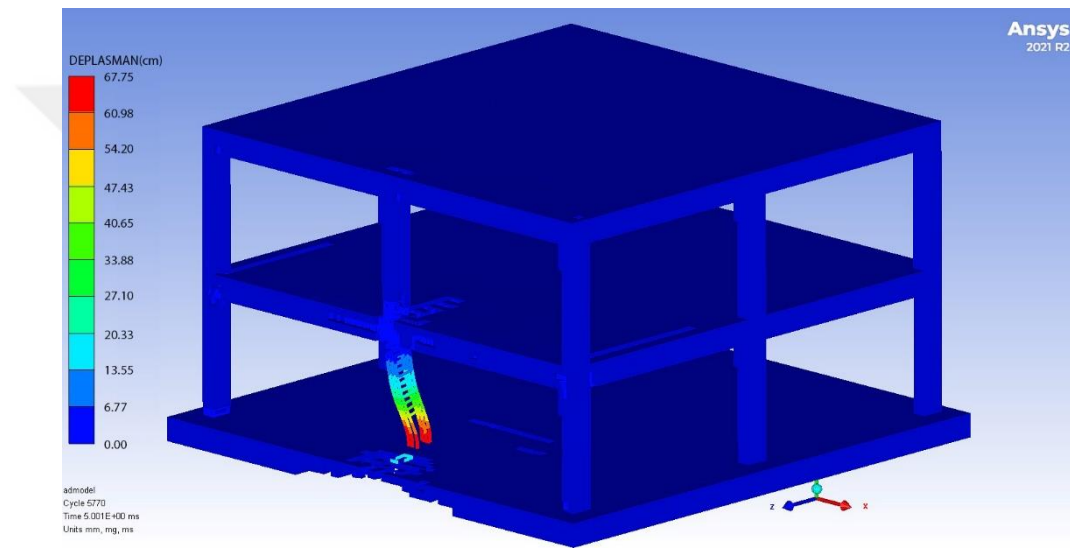


Şekil 4.53. AO5-470-10/25 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.53.'teki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 71,47 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.5.3. Yer Değiştirme

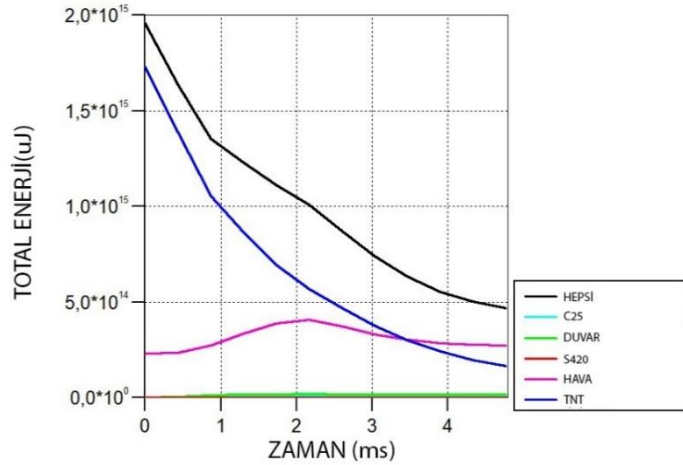
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.54.'te verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 67,75 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.54. AO5-470-10/25 yer değiştirme görünümü

4.3.5.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 5. Analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.55.'te verilmiştir.



Şekil 4.55. AO5-470-10/25 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönmülediği Çizelge 4.17.'de gösterilmiştir. C25 beton tarafından $1,09E+14$ uJ, donatı tarafından $2,56E+12$ uJ, duvar tarafından $1,93E+14$, hava tarafından $4,09E+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $1,73E+16$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

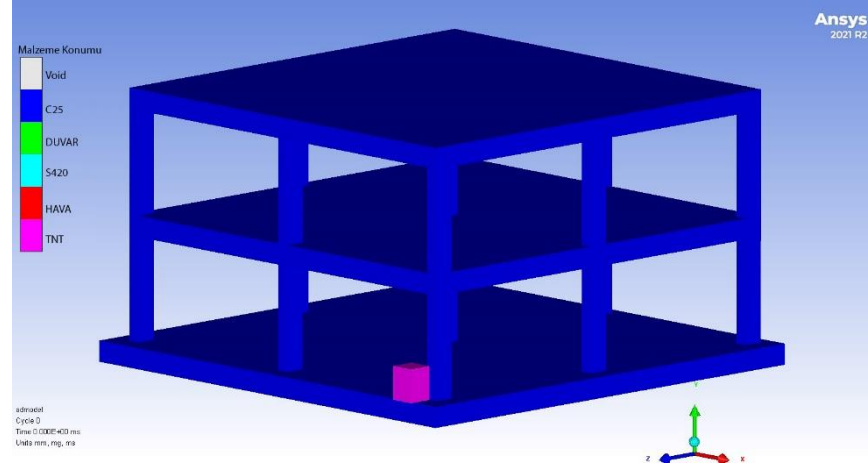
Çizelge 4.17. AO5-470-10/25 için patlama sonrası sönmölenen total enerji değeri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$1,09E+14$
DUVAR	$1,93E+14$
DONATI	$2,56E+12$
HAVA	$4,09E+15$
TNT	$1,73E+16$

4.3.6. AS6-470-10/25 Patlama Senaryosu

Altıncı analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C25 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 4 \times 3$ birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır. Kolonlarının üzerine % 10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye

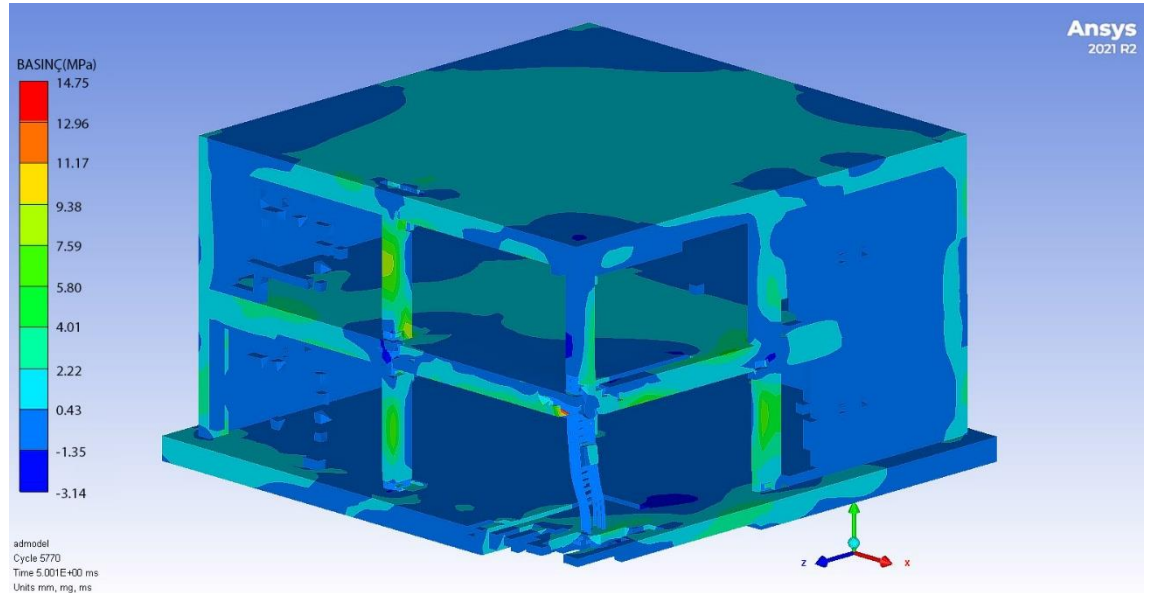
patlama süresi ayarlanmıştır. AS6-470-10/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.56.'da görülmektedir.



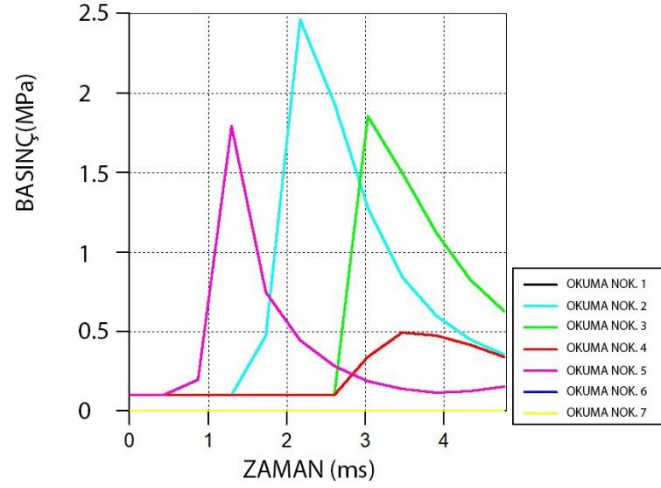
Şekil 4.56. AS6-470-10/25 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.6.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 14,75 MPa olduğu görülmektedir. (Şekil 4.57.).



Şekil 4.57. AS6-470-10/25 basınç gerilmesi diyagramları



Şekil 4.58. AS6-470-10/25 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AS6-470-10/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.58.'de verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 2,46 MPa olduğu görülmüştür.

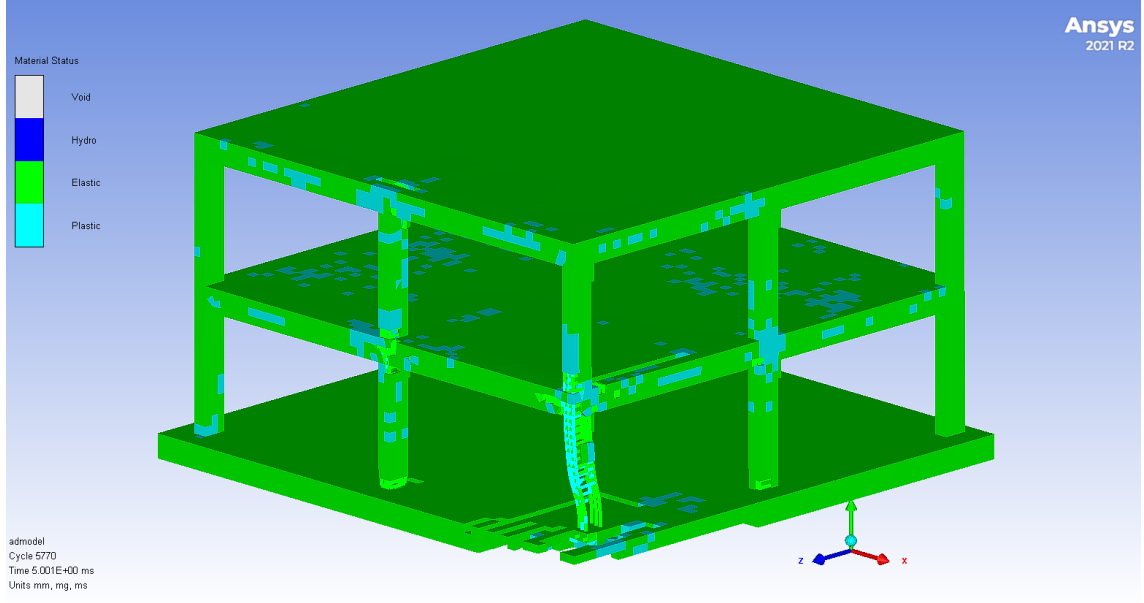
Çizelge 4.18. AS6-470-10/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	2,46
3	1,86
4	0,5
5	1,8
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimum 0,5 MPa, maksimum ise 2 noktasında 2,46 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.6.2. Hasar Durumu

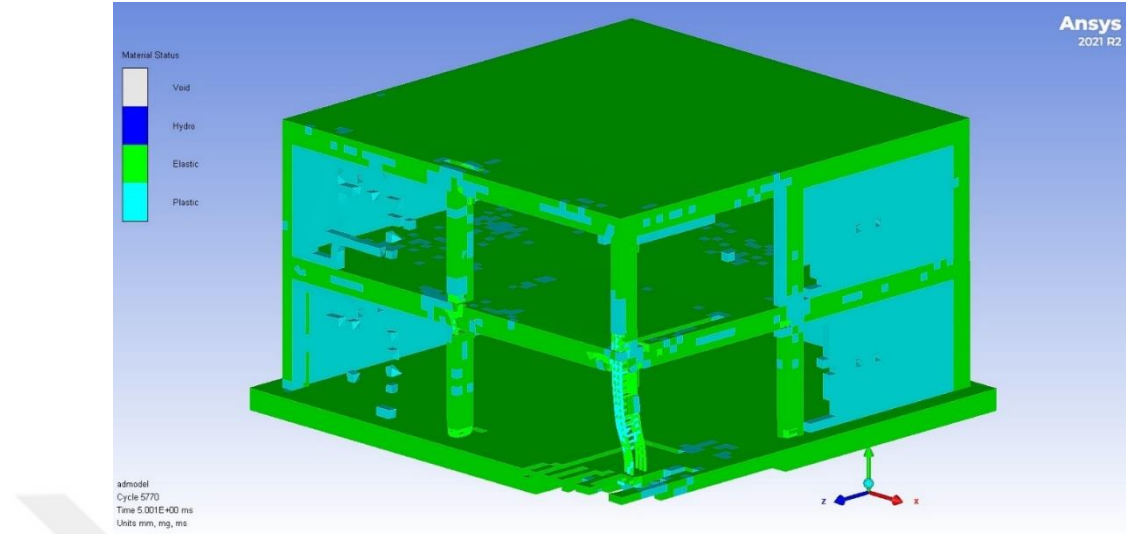
470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.59.'da gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.59. AS6-470-10/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

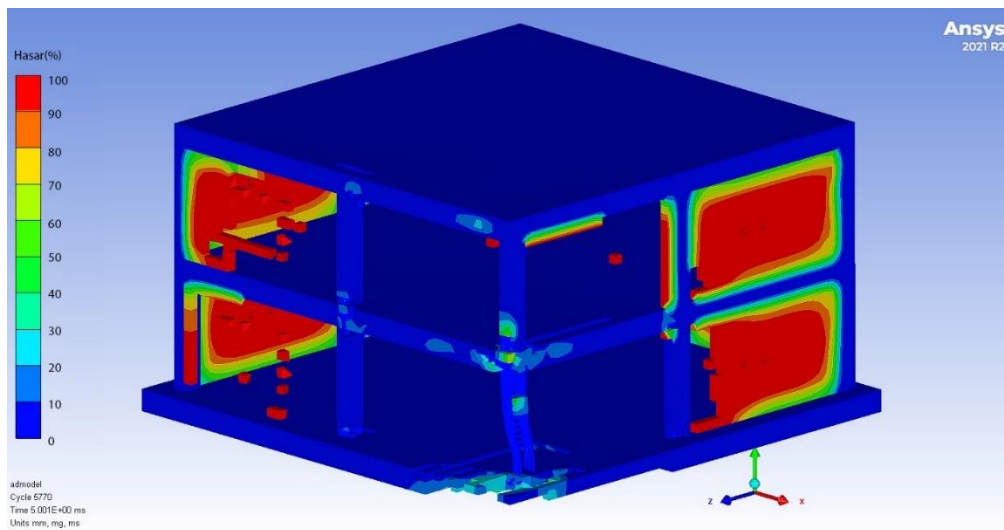
Patlamanın gerçekleştiği noktanın tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Sağ kolunun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar görülmektedir. Patlama dalgası etkisin kaybederek ilerlediği için arka kısımlarda davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.60.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.60. AS6-470-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

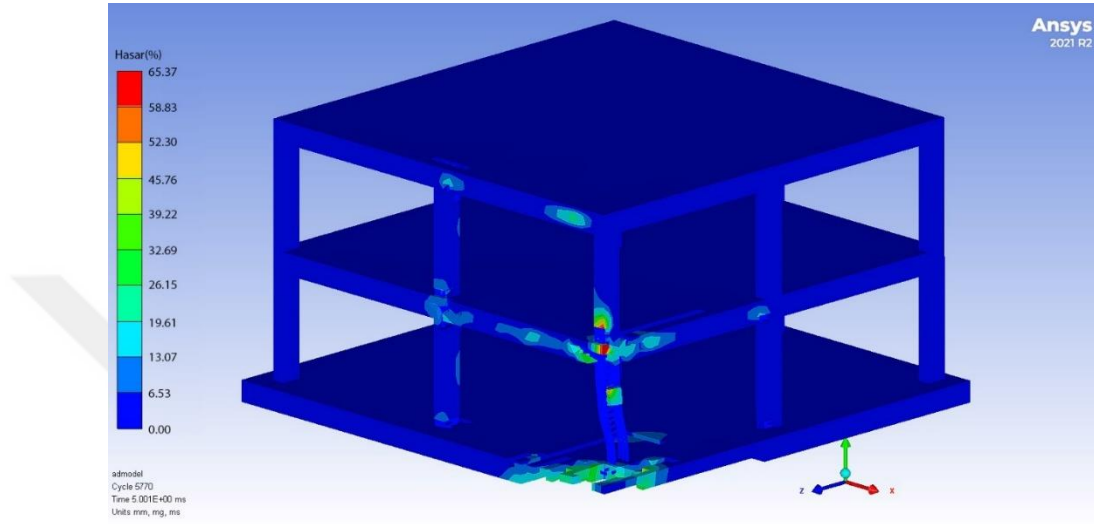
Şekil 4.60.'ta görüldüğü gibi patlayıcının solunda bulunan duvarlardan patlayıcıya yakın olan bölgenin tamamı parçalanmış ve ön cephede uzak olan duvarlar daha az hasar almıştır. Yapının sağ cephesinde patlayıcıya yakın olan duvarların tamamı hasar alırken arka cephe duvarları neredeyse hiç hasar almamıştır. Duvarlarda plastik hasar gözlenmiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.61. AS6-470-10/25 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.61. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.62.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

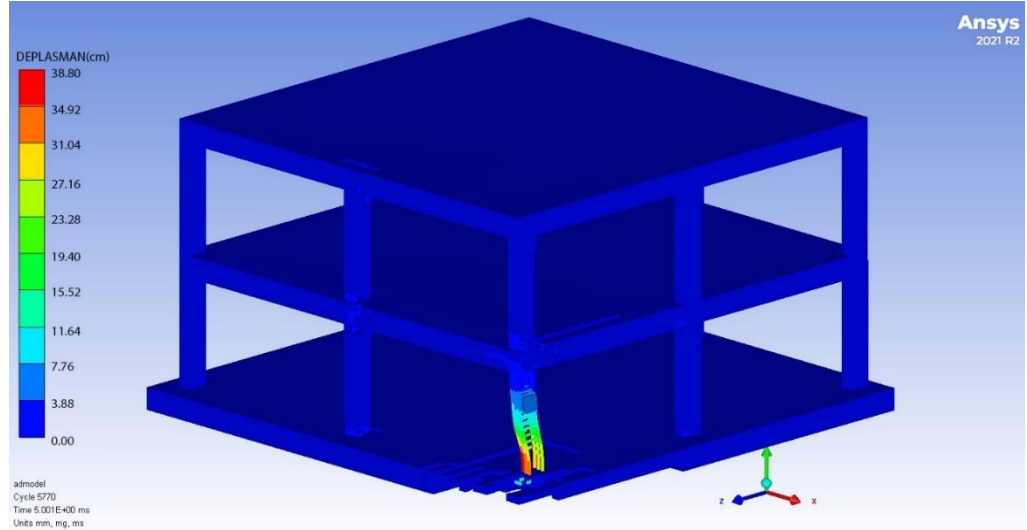


Şekil 4.62. AS6-470-10/25 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.62.'deki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 65,37 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolon almış ve kolonun yarısı parçalanmıştır. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.6.3. Yer Değiştirme

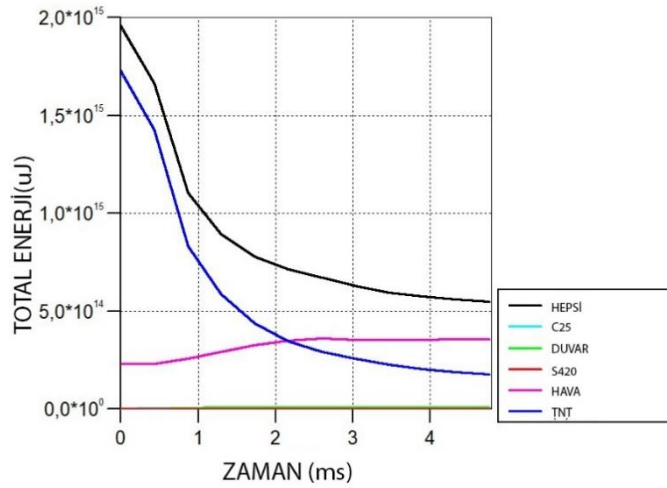
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.63.'te verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 38,80 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak sağ kolonun parçalanmasının bittiği bölgede yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.63. AS6-470-10/25 yer değiştirme görünümü

4.3.6.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlmeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 6. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.64.'te verilmiştir.



Şekil 4.64. AS6-470-10/25 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.19.'de gösterilmiştir. C25 beton tarafından $6.97E+13$ uJ,

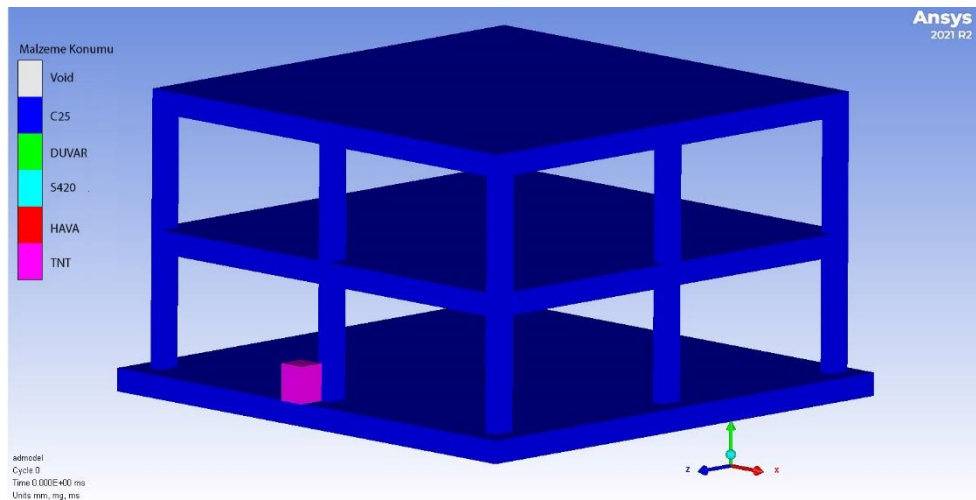
donatı tarafından $1.13\text{E}+12$ uJ, duvar tarafından $9,67\text{E}+13$ uJ, hava tarafından $3.60\text{E}+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $1.73\text{E}+16$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19. AS6-470-10/25 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$6,97\text{E}+13$
DUVAR	$9,67\text{E}+13$
DONATI	$1,13\text{E}+12$
HAVA	$3,60\text{E}+15$
TNT	$1,73\text{E}+16$

4.3.7. AO7-470-40/25 Patlama Senaryosu

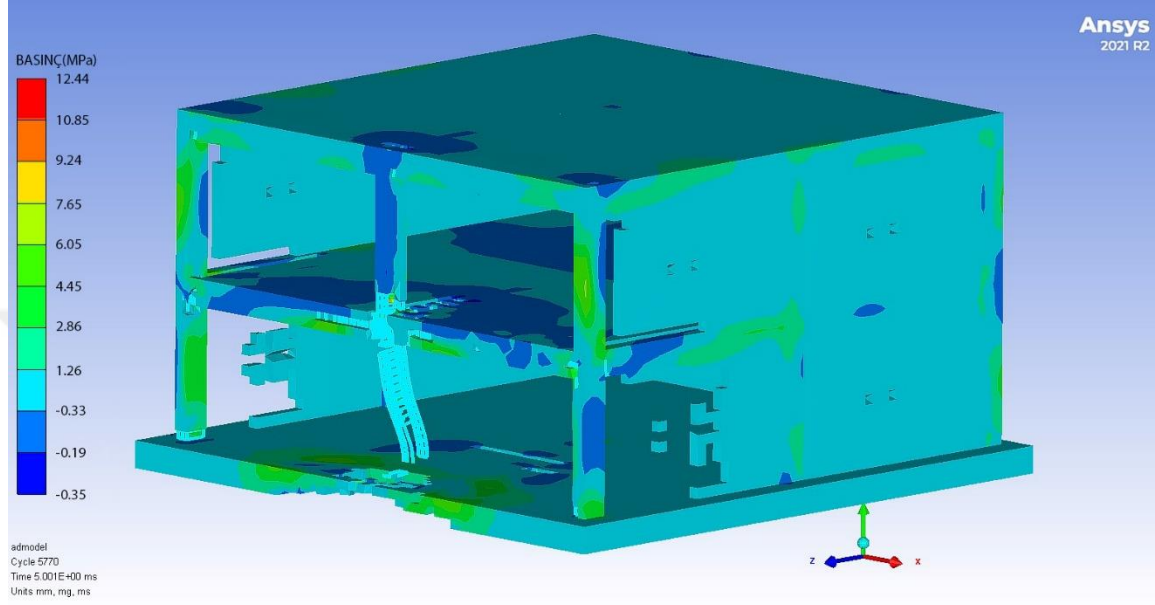
Yedinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C25 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 4 \times 3$ birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır. Kolonlarının üzerine % 40 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AO7-470-40/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.65.'te görülmektedir.



Şekil 4.65. AO7-470-40/25 patlayıcı (TNT) konumu

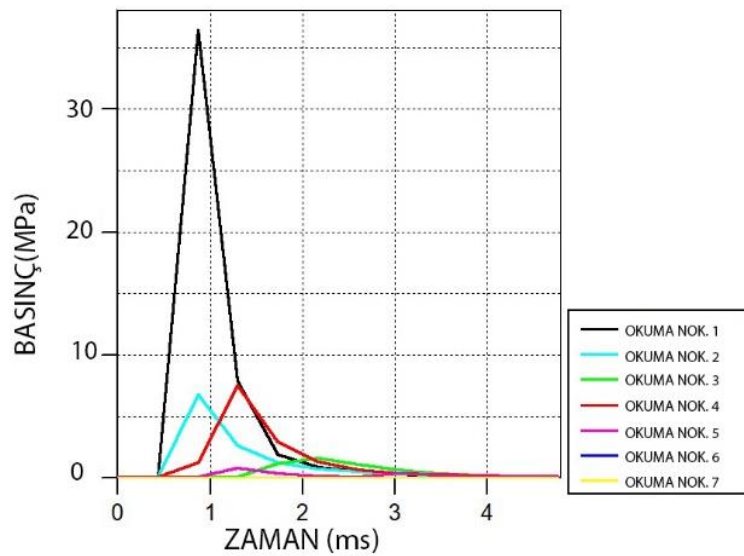
4.3.7.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 12,44 MPa olduğu görülmektedir. (Şekil 4.66.).



Şekil 4.66. AO7-470-40/25 basınç gerilmesi diyagramı

AO7-470-40/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.67.'de verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 1'de okunan 36,43 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.67. AO7-470-40/25 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

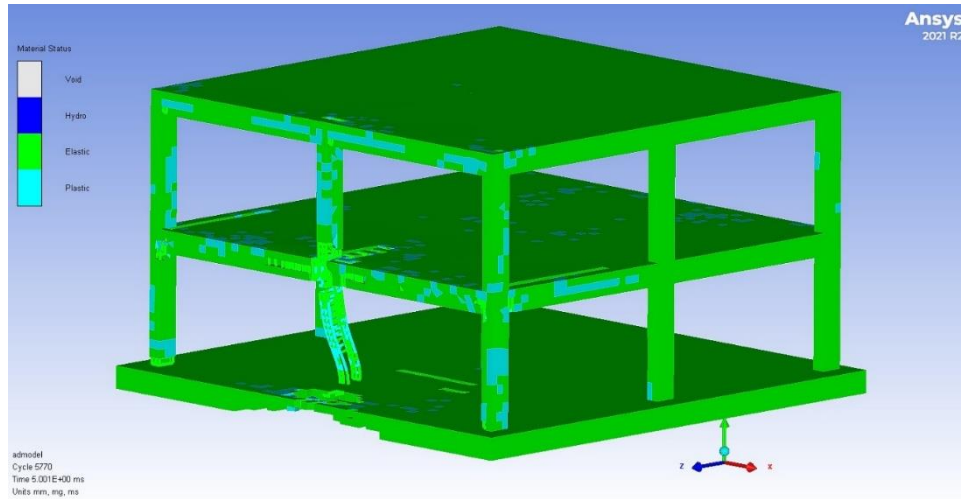
Çizelge 4.20. AO7-470-40/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	36,43
2	6,78
3	1,63
4	7,5
5	0,84
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,84 MPa, maximum ise 1 noktasında 36,43 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

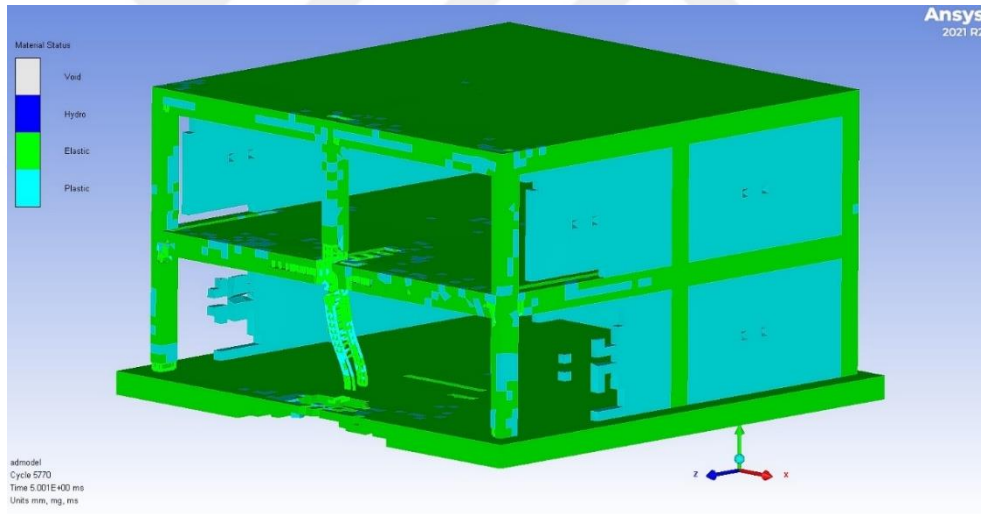
4.3.7.2. Hasar Durumu

470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.68.'de gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.

**Şekil 4.68.** AO7-470-40/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

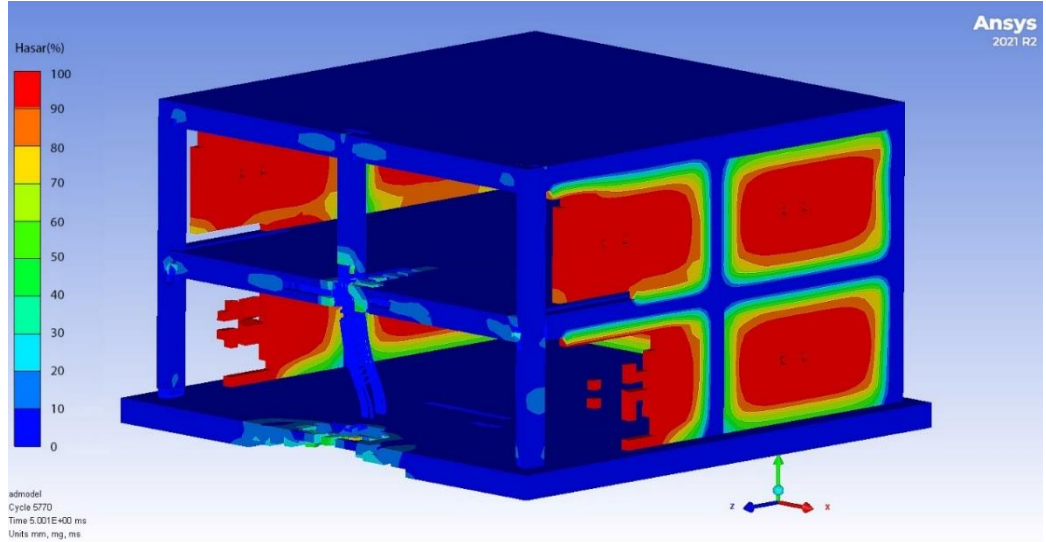
Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.69.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.69. AO7-470-40/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

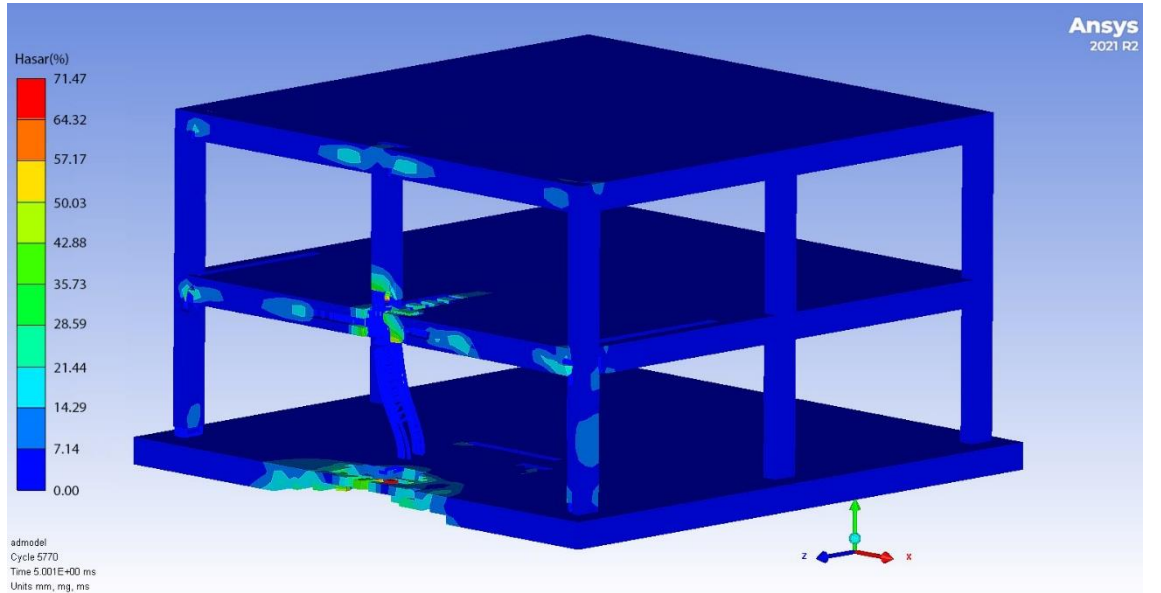
Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.70. AO7-470-40/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şekil 4.70. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.71.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

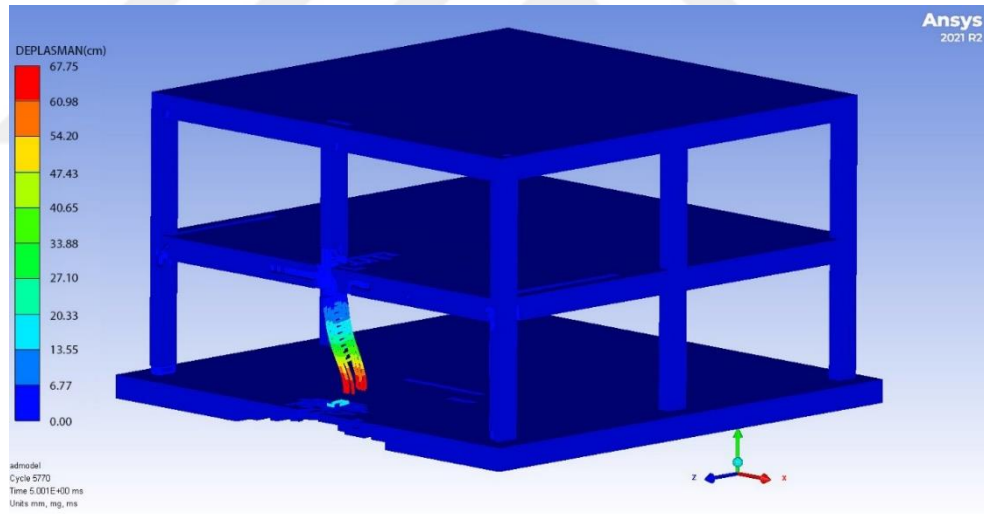


Şekil 4.71. AO7-470-40/25 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.71.'deki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 71,47 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.7.3. Yer Değiştirme

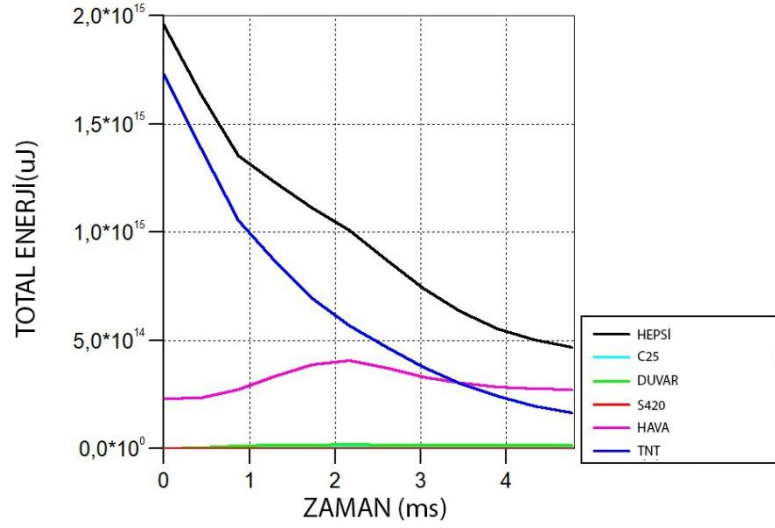
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.72.'de verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 67,75 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.72. AO7-470-40/25 yer değiştirme görüntüsü

4.3.7.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 7. analizdeki toplam enerji- zaman grafiğı Şekil 4.73.'te verilmiştir.



Şekil 4.73. AO7-470-40/25 toplam enerji-zaman grafiği

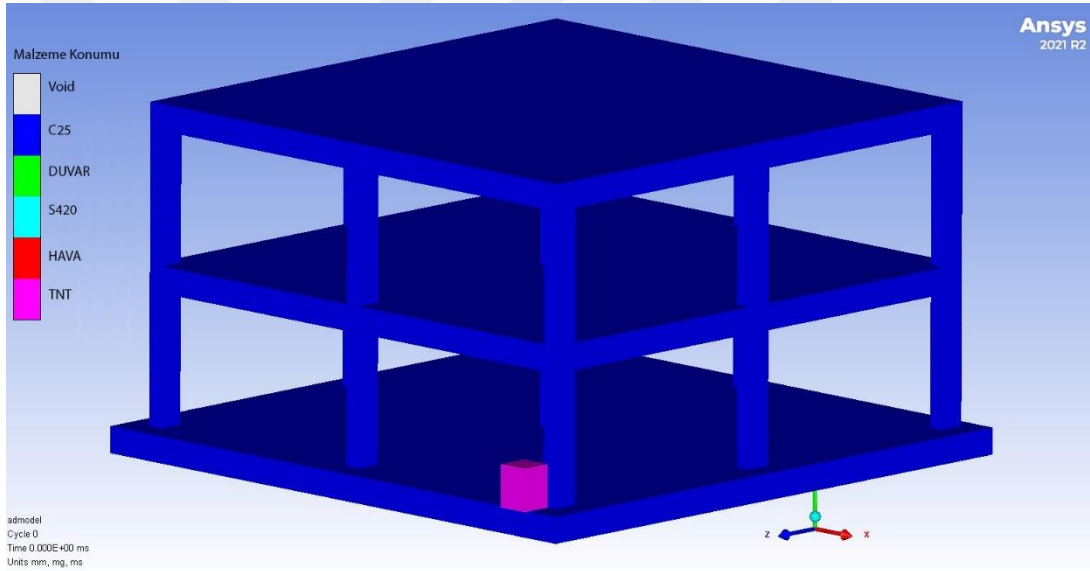
TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.21.'de gösterilmiştir. C25 beton tarafından $1,09\text{E}+14$ uJ, donatı tarafından $2,56\text{E}+12$ uJ, duvar tarafından $1,93\text{E}+14$, hava tarafından $4,09\text{E}+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $1,73\text{E}+16$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.21. AO7-470-40/25 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$1,09\text{E}+14$
DUVAR	$1,93\text{E}+14$
DONATI	$2,56\text{E}+12$
HAVA	$4,09\text{E}+15$
TNT	$1,73\text{E}+16$

3.4.8. AS8-470-40/25 Patlama Senaryosu

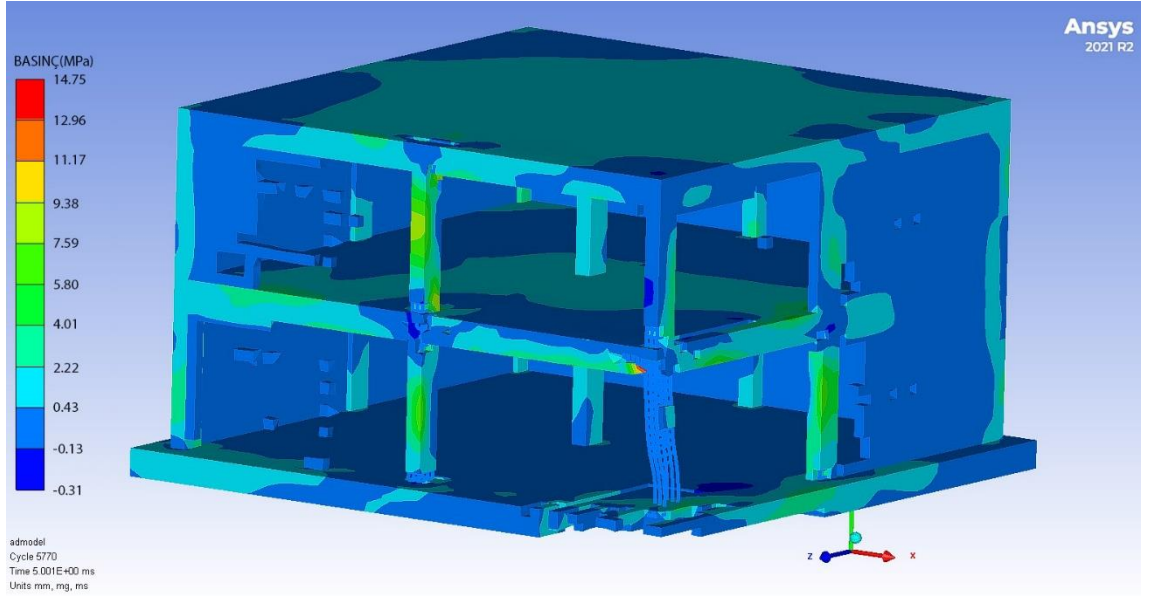
Sekizinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisinde sağ yan kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C25 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ 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 $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır. Kolonlarının üzerine % 40 oranında aksenal kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AS8-470-40/25 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.74.'te verilmiştir.



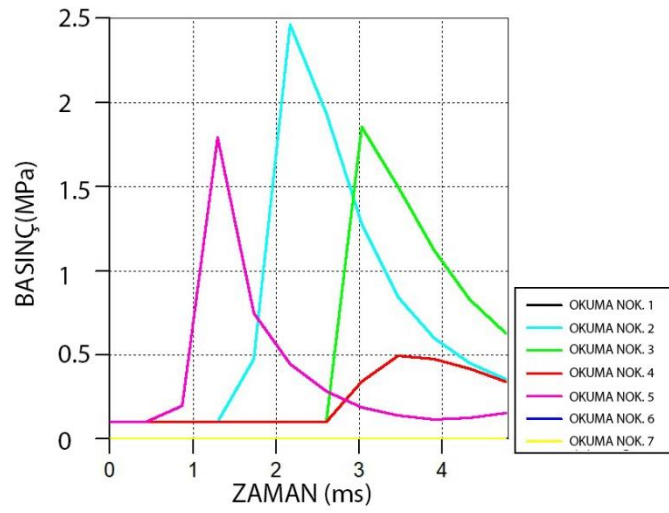
Şekil 4.74. AS8-470-40/25 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.8.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 14,75 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.75.).



Şekil 4.75. AS8-470-40/25 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.76. AS8-470-40/25 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AS8-470-40/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.76.'da verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 2,46 MPa olduğu görülmüştür.

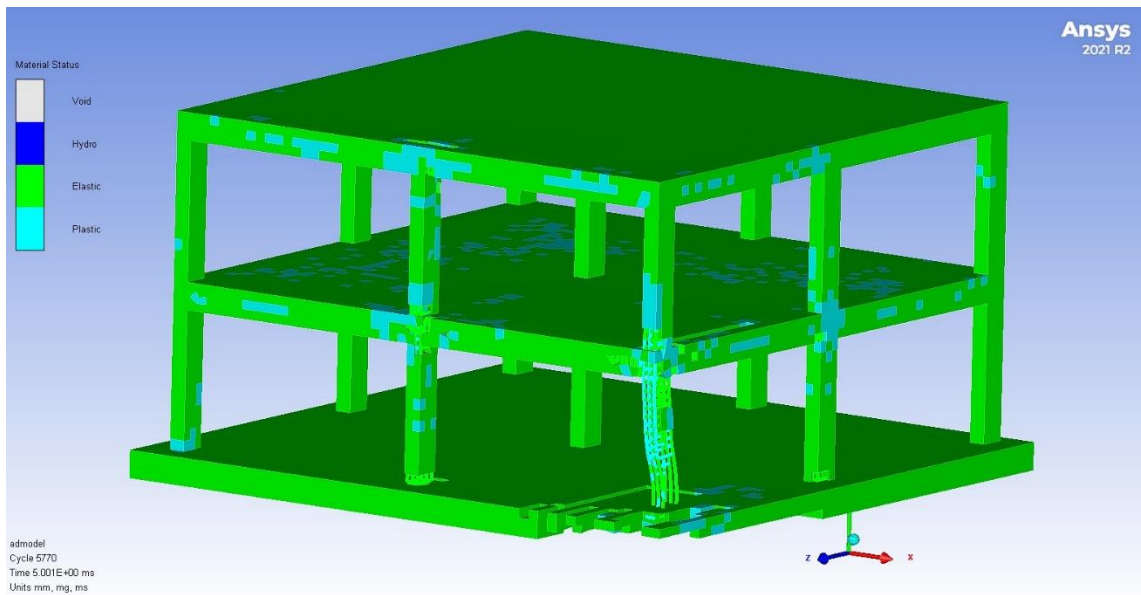
Çizelge 4.22. AS8-470-40/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	2,46
3	1,86
4	0,49
5	1,80
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimum 0,49 MPa, maksimum ise 2 noktasında 2,46 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

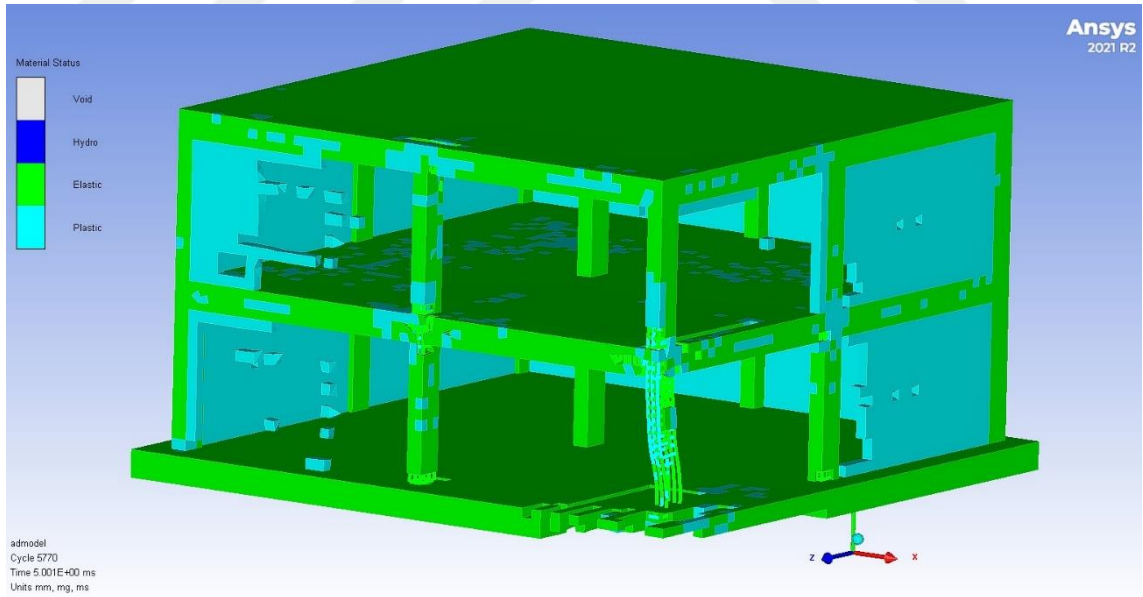
4.3.8.2. Hasar Durumu

470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.77.'de gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.

**Şekil 4.77.** AS8-470-40/25 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Kolon kiriş birleşim bölgelerinde ağırlıklı olarak plastik hasar görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Birinci kat kirişlerinde bölgesel olarak plastik hasar gözlemlenmiştir. Bu hasar oranı 2. kat kirişlerinde azalmakta ve hatta arka cephe kirişlerinde plastik hasar oluşumu gözlemlenmemektedir. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar oluştuğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

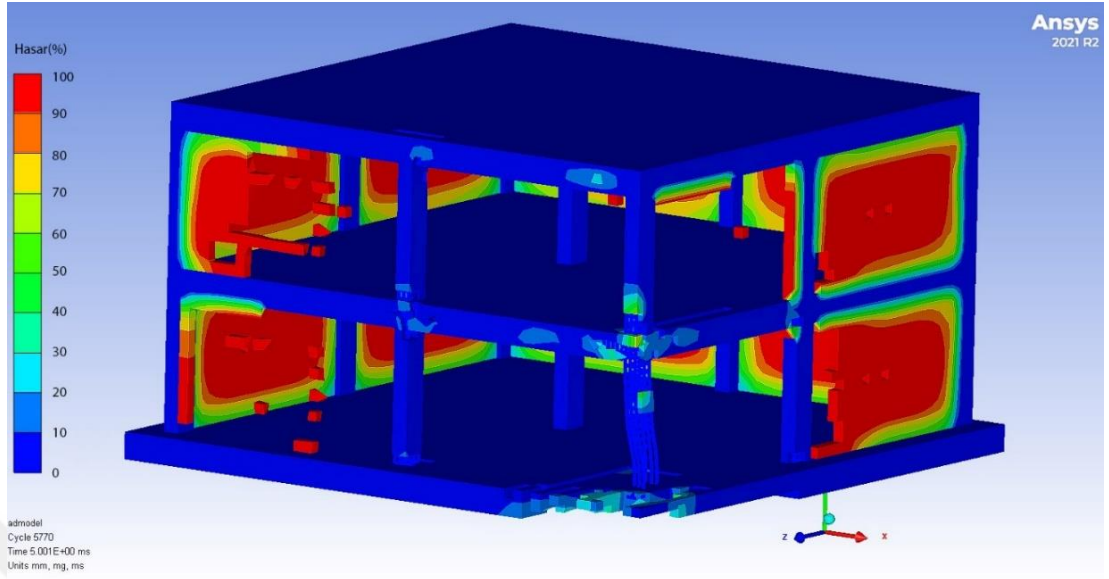
470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.78.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.78. AS8-470-40/25 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında

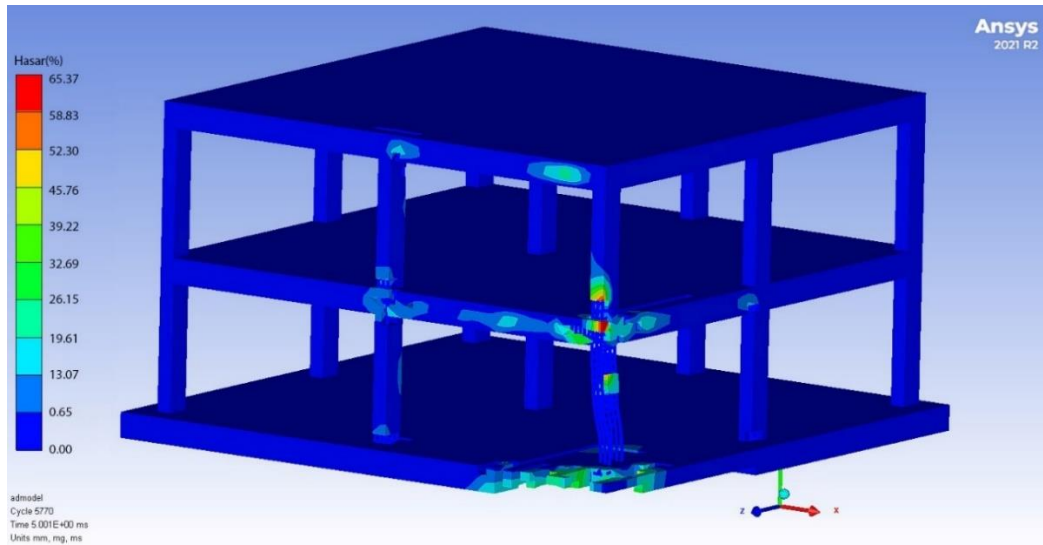
herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.79. AS8-470-40/25 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.79. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.80.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

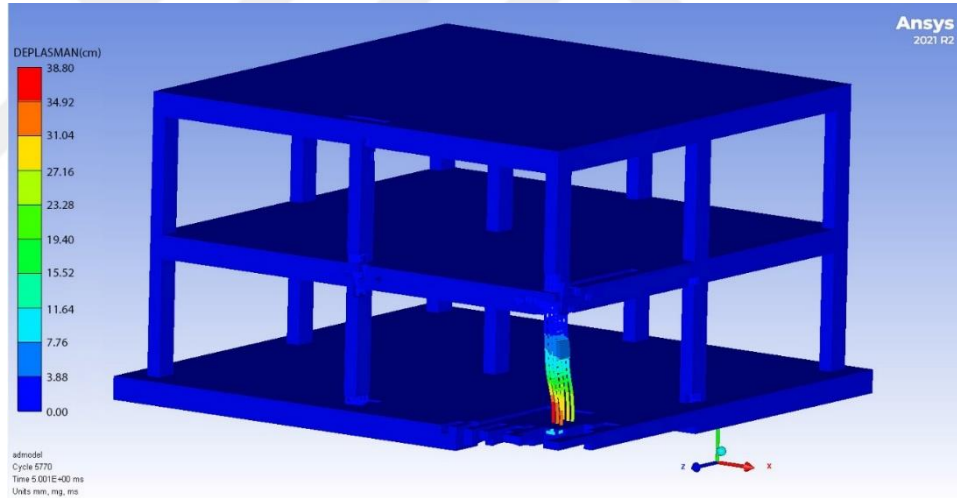


Şekil 4.80. AS8-470-40/25 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.80.'deki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 65,37 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.8.3. Yer Değiştirme

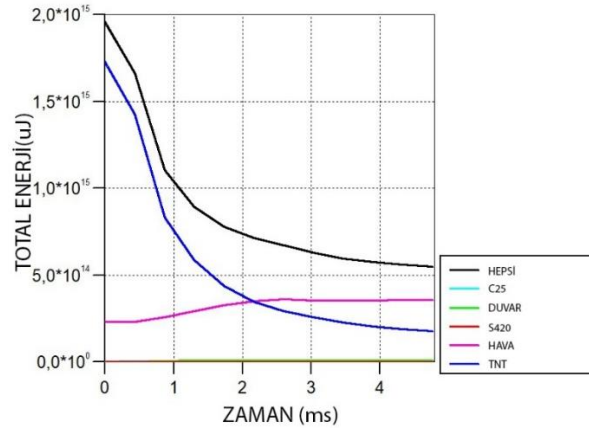
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.81.'de verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 38,80 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından sağ yan kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.81. AS8-470-40/25 yer değiştirme görünümü

4.3.8.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 8. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.82.'de verilmiştir.



Şekil 4.82. AS8-470-40/25 toplam enerji-zaman grafiği

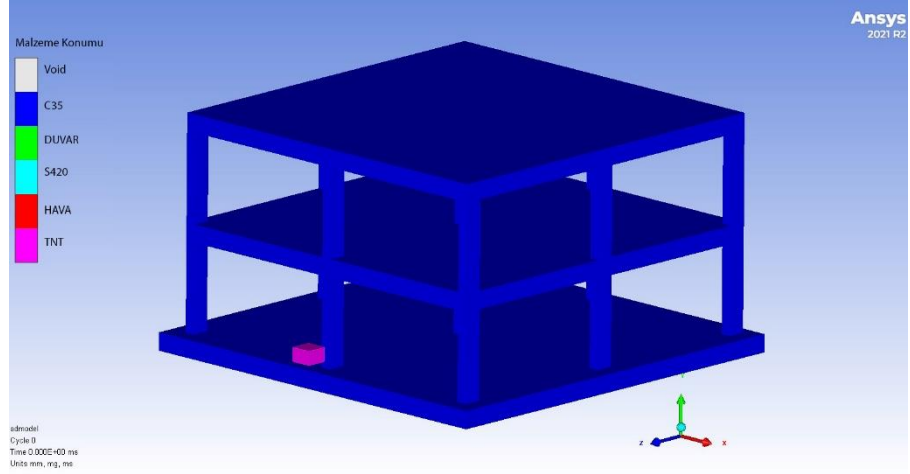
TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.23.'te gösterilmiştir. C25 beton tarafından $6.97\text{E}+13$ uJ, donatı tarafından $1.13\text{E}+12$ uJ, duvar tarafından $9.67\text{E}+13$ uJ, hava tarafından $3,60\text{E}+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $1.73\text{E}+16$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.23. AS8-470-40/25 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$6,97\text{E}+13$
DUVAR	$9,67\text{E}+13$
DONATI	$1,13\text{E}+12$
HAVA	$3,60\text{E}+15$
TNT	$1,73\text{E}+16$

4.3.9. AO9-235-10/35 Patlama Senaryosu

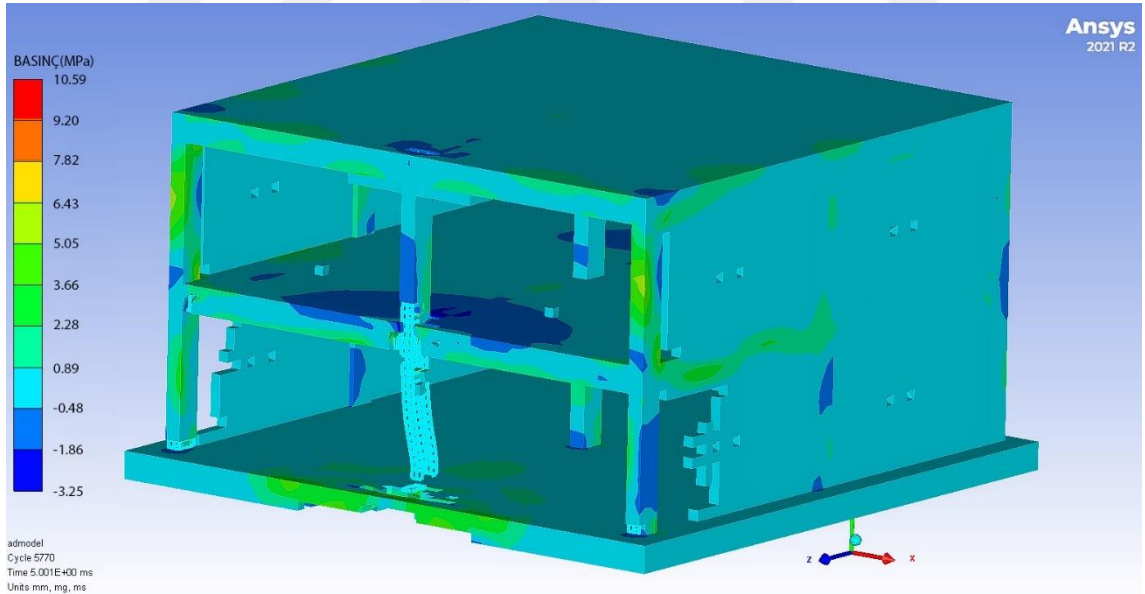
Dokuzuncu analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizinde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ 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. Kolonların üzerine % 10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AO9-235-10/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.83.'te verilmiştir.



Şekil 4.83. AO9-235-10/35 patlayıcı (TNT) konumu

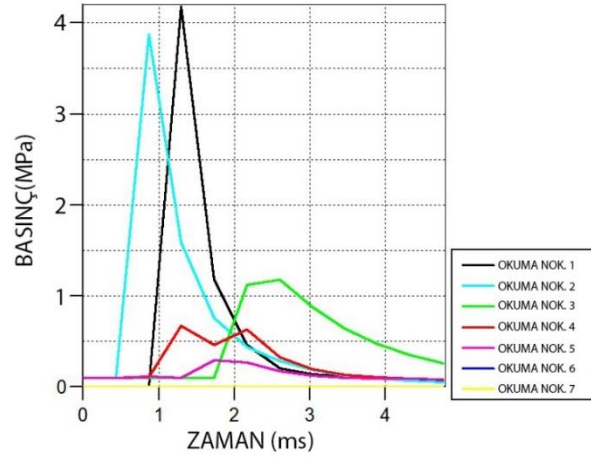
4.3.9.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 10,59 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.84.).



Şekil 4.84. AO9-235-10/35 basınç gerilmesi diyagramı

AO9-235-10/35 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.85.'te verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 1'de okunan 4,18 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.85. AO9-235-10/35 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

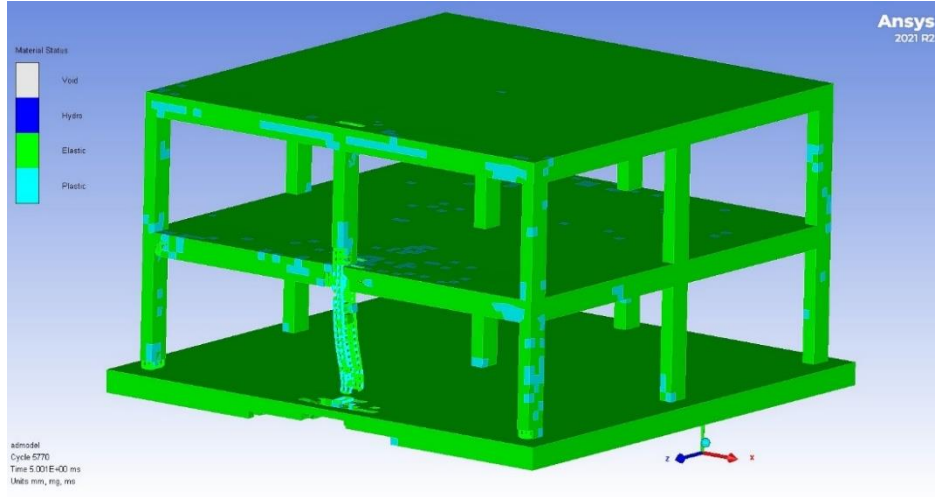
Çizelge 4.24. AO9-235-10/35 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	4,18
2	3,87
3	1,18
4	0,67
5	0,29
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,29 MPa, maksimum ise 1 noktasında 4,18 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

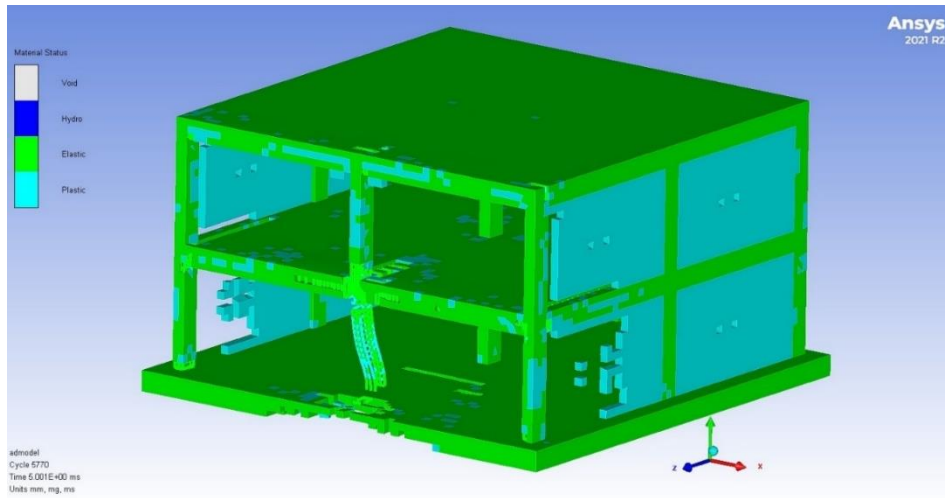
4.3.9.2. Hasar Durumu

235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.86.'da gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.86. AO9-235-10/35 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

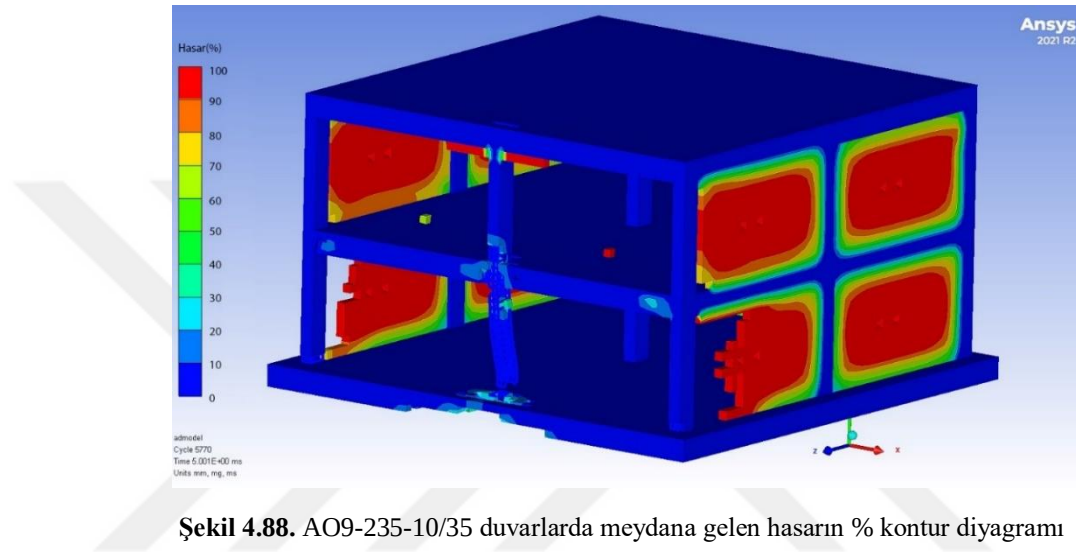
Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönmülmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.87. AO9-235-10/35 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

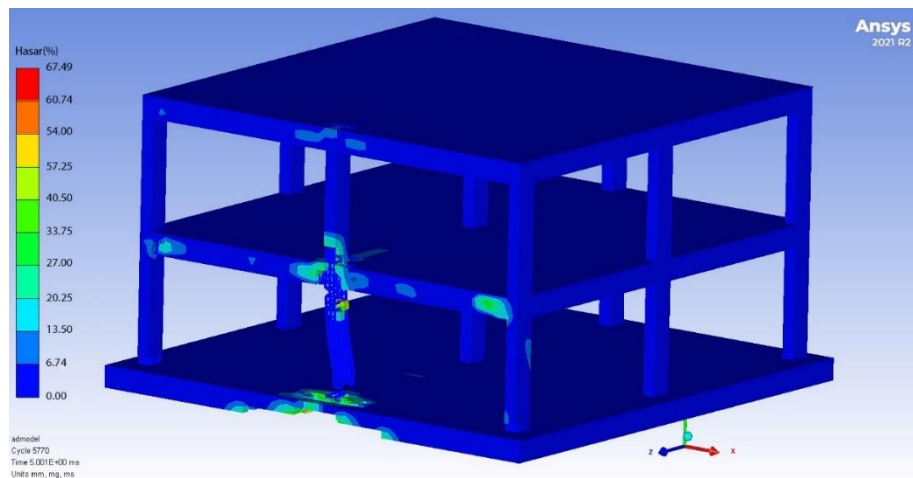
235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.81.'de gösterilmiştir.

Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.88. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

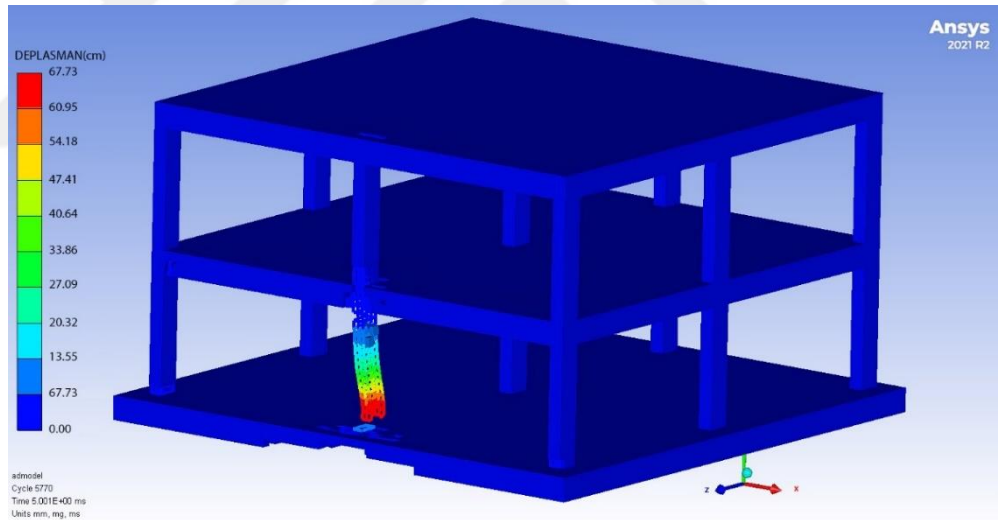
Şekil 4.89.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.



Şekil 4.89.'daki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 67,49 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.9.3. Yer Değiştirme

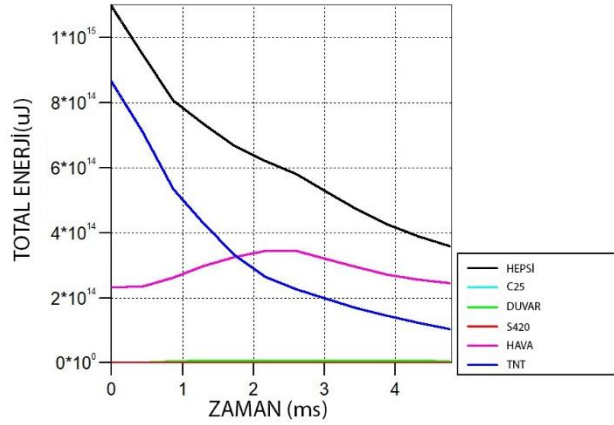
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.90.'da verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 67,73 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.90. AO9-235-10/35 yer değiştirme görüntüsü

4.3.9.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönmölenir. Yapı modellerinde bu sönmölemeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 9. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.91.'de verilmiştir.



Şekil 4.91. AO9-235-10/35 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.25.'te gösterilmiştir. C35 beton tarafından $2,83E+13$ uJ, donatı tarafından $1,12E+12$ uJ, duvar tarafından $6,80E+13$ uJ, hava tarafından $3,45E+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $8,64E+15$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

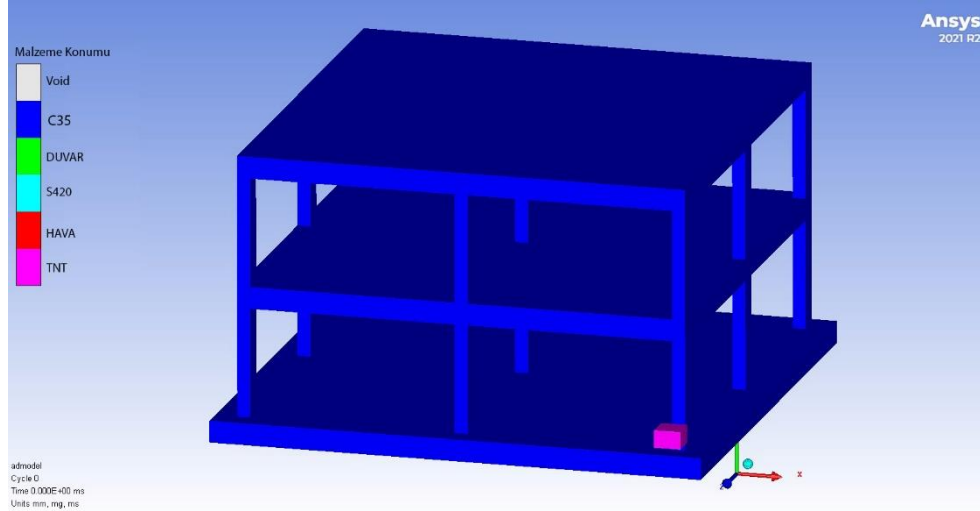
Çizelge 4.25. AO9-235-10/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$2,83E+13$
DUVAR	$6,80E+13$
DONATI	$1,12E+12$
HAVA	$3,45E+15$
TNT	$8,64E+15$

4.3.10. AS10-235-10/35 Patlama Senaryosu

Onuncu analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine sağ yan kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ 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. Kolonlarının üzerine % 10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak

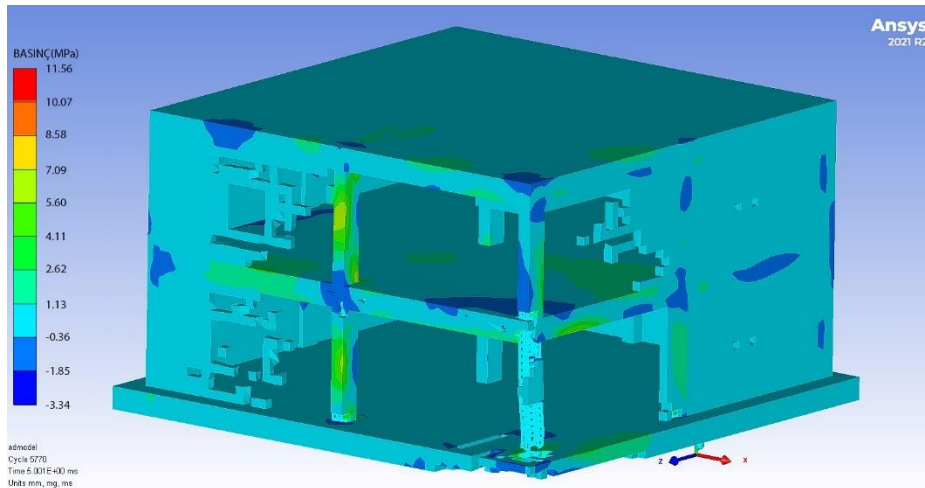
5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AS10-235-10/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.92.'de verilmiştir.



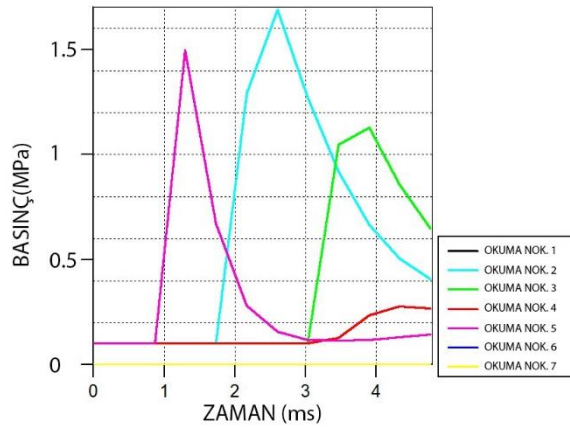
Şekil 4.92. AS10-235-10/35 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.10.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 11,56 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.93).



Şekil 4.93. AS10-235-10/35 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.94. AS10-235-10/35 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AS10-235-10/35 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.94.'te verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 1,69 MPa olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.26. AS10-235-10/35 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

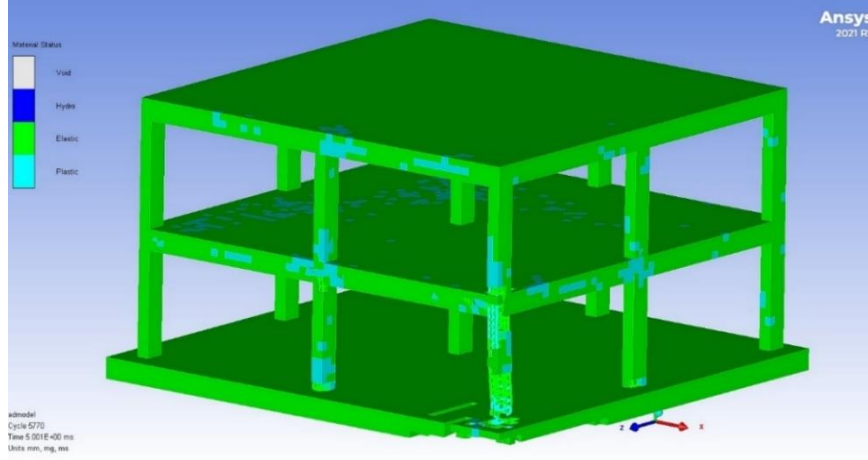
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	1,69
3	1,13
4	0,28
5	1,5
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimum 0,28 MPa, maksimum ise 1,69 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.10.2. Hasar Durumu

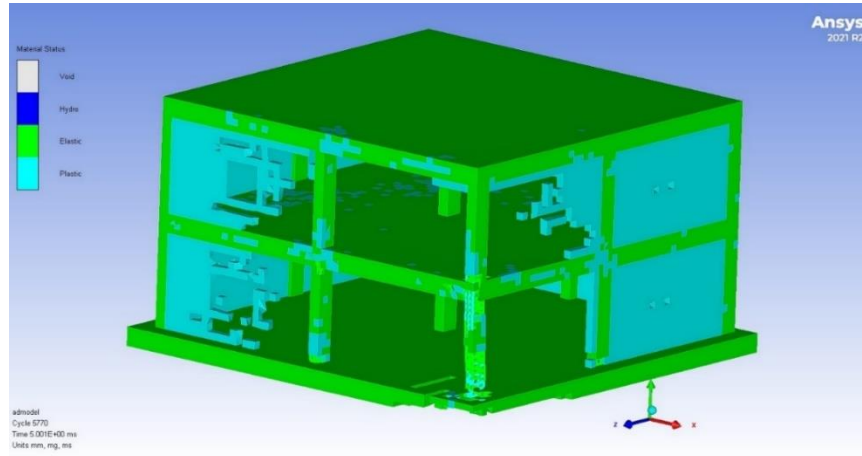
235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.95.'te gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal

elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.95. AS10-235-10/35 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

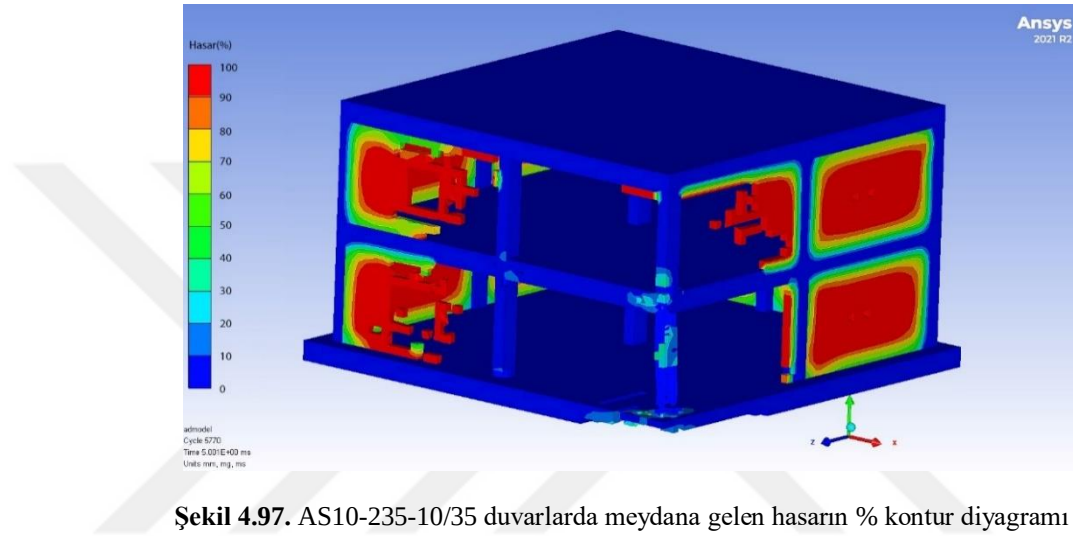
P Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Sağ kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.96. AS10-235-10/35 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.96.'da gösterilmiştir.

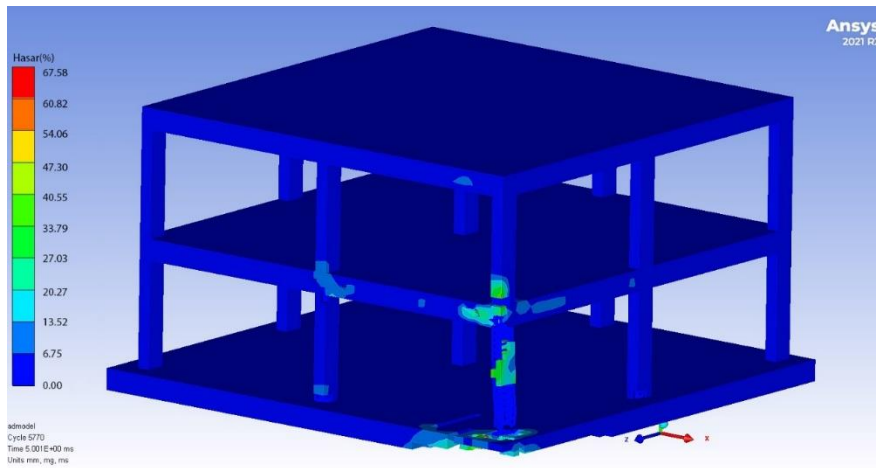
Şekil 4.97.'de görüldüğü gibi patlayıcının solunda bulunan duvarlardan patlayıcıya yakın olan bölgenin tamamı parçalanmış ve ön cephede uzak olan duvarlar daha az hasar almıştır. Yapının sağ cephesinde patlayıcıya yakın olan duvarların tamamı hasar alırken arka cephe duvarları neredeyse hiç hasar almamıştır. Duvarlarda plastik hasar gözlenmiştir.



Şekil 4.97. AS10-235-10/35 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.97.'deki incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.98.'deki yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

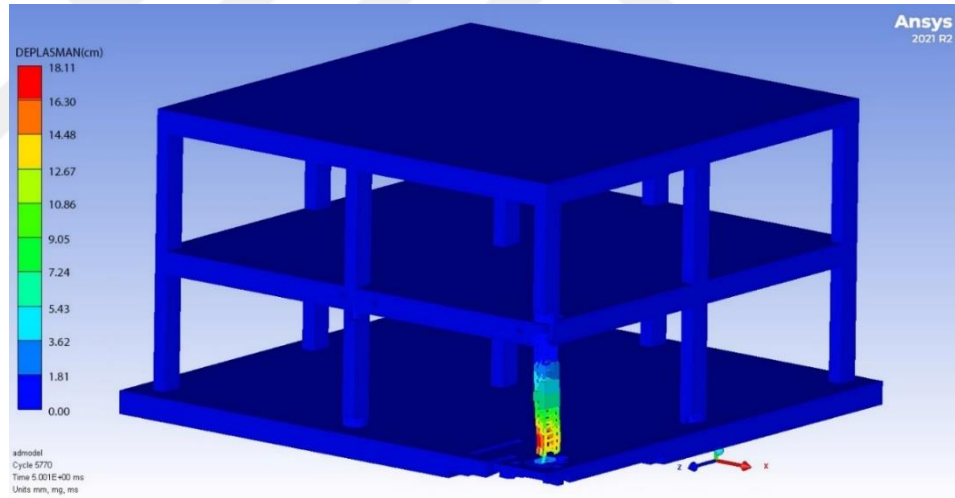


Şekil 4.98. AS10-235-10/35 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.98.'deki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 67,58 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.10.3. Yer Değiştirme

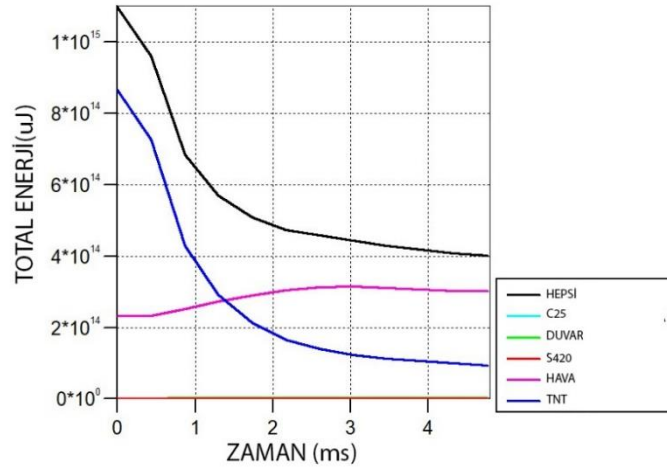
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.99.'da verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 18,11 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak sağ kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.99. AS10-235-10/35 yer değiştirme görünümü

4.3.10.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlemeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 10. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.100.'de verilmiştir.



Şekil 4.100. AS10-235-10/35 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.27.'de gösterilmiştir. C35 beton tarafından $1,45E+13$ uJ, donatı tarafından $5,11E+11$ uJ, duvar tarafından $3,46E+13$ uJ, hava tarafından $3,16E+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $8,64E+15$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

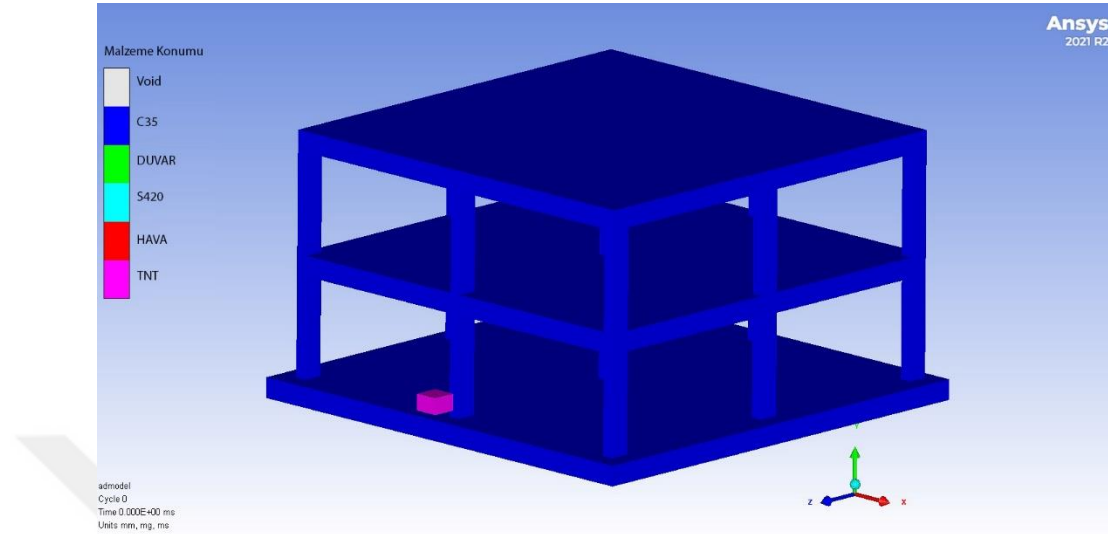
Çizelge 4.27. AS10-235-10/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$1,45E+13$
DUVAR	$3,46E+13$
DONATI	$5,11E+11$
HAVA	$3,16E+15$
TNT	$8,64E+15$

4.3.11. AO11-235-40/35 Patlama Senaryosu

On birinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ 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. Kolonlarının üzerine % 40 oranında eksenel kuvvet

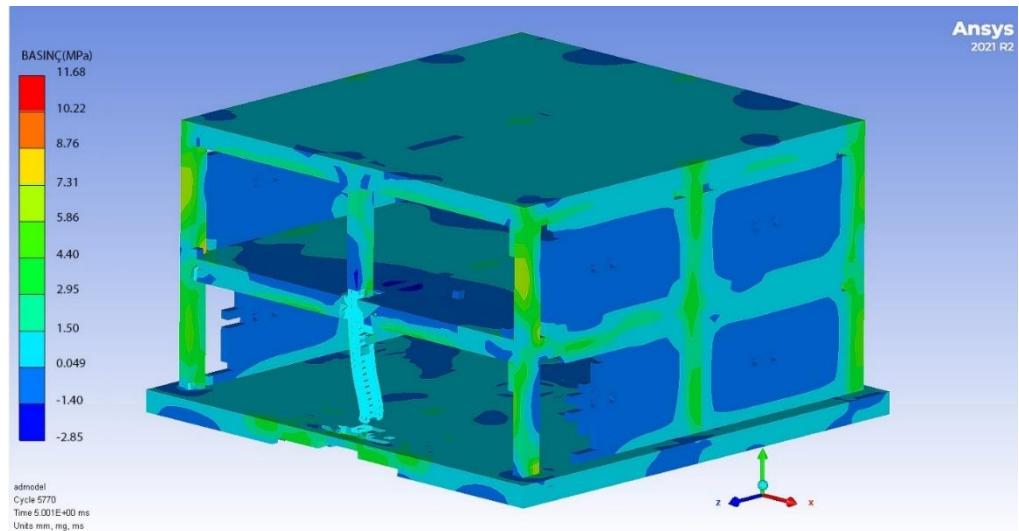
etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AO11-235-40/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.101.'de verilmiştir.



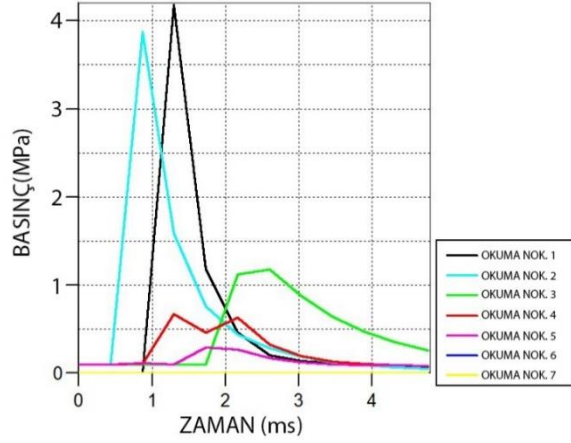
Şekil 4.101. AO11-235-40/35 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.11.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 11,68 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.102).



Şekil 4.102. AO11-235-40/35 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.103. AO11-235-40/35 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AO11-235-40/35 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.103.'te verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 1'de okunan 4,18 MPa olduğu görülmüştür.

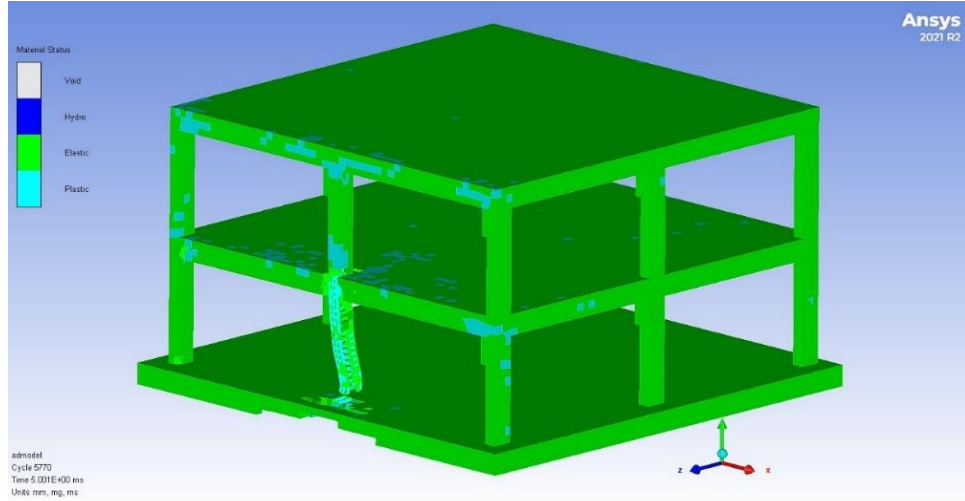
Çizelge 4.28. AO11-235-40/35 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	4,18
2	3,87
3	1,18
4	0,67
5	0,29
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,29 MPa, maximum ise 1 noktasında 4,18 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.11.2. Hasar Durumu

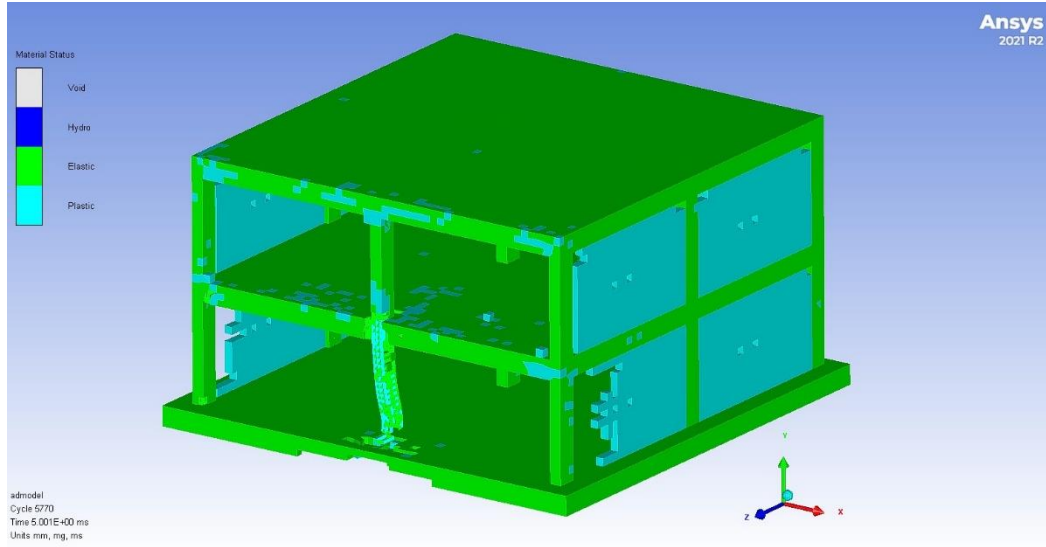
235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.104.'te gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.104. AO11-235-40/35 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

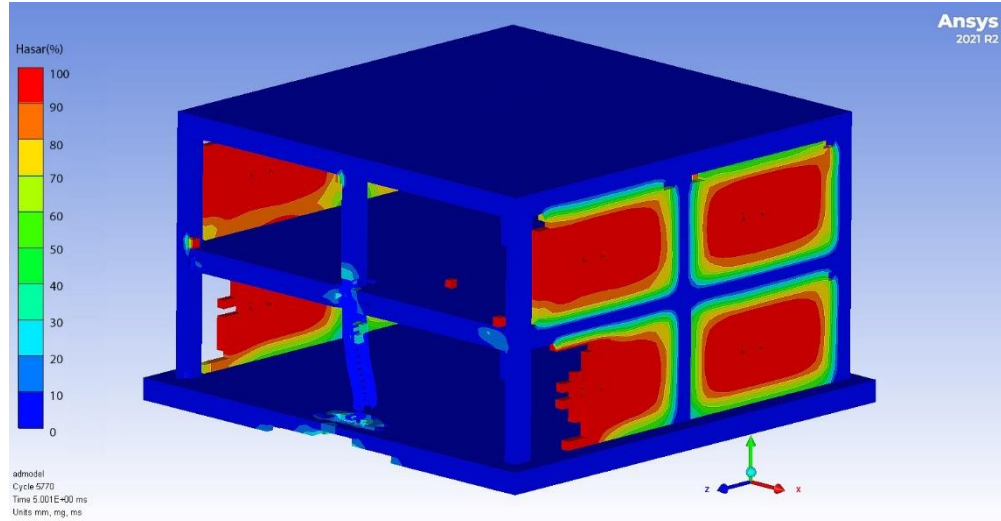
Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönmelenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.105.'te gösterilmiştir.



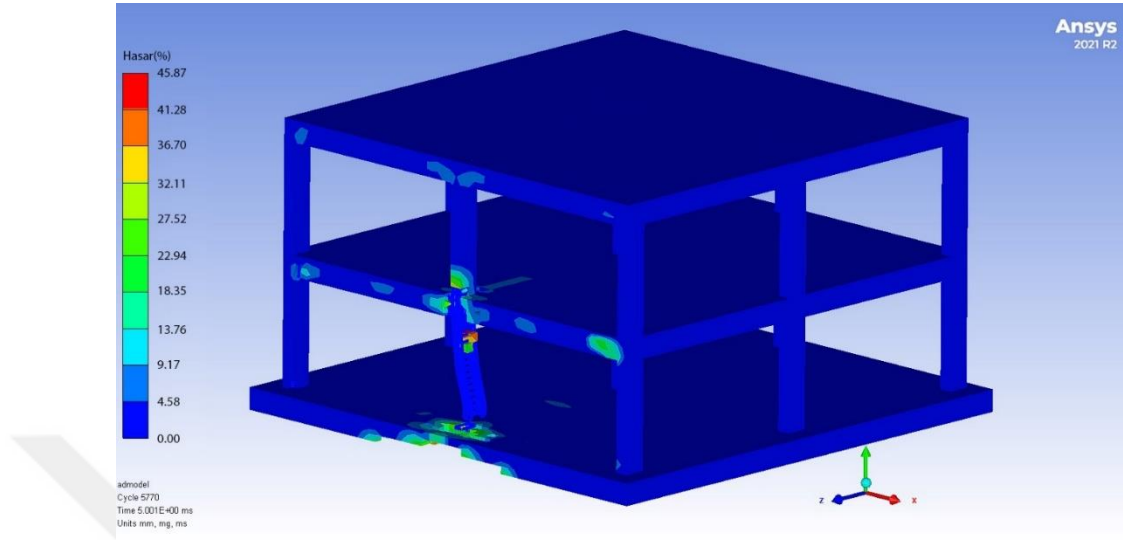
Şekil 4.105. AO11-235-40/35 Duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.106. AO11-235-40/35 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.106. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

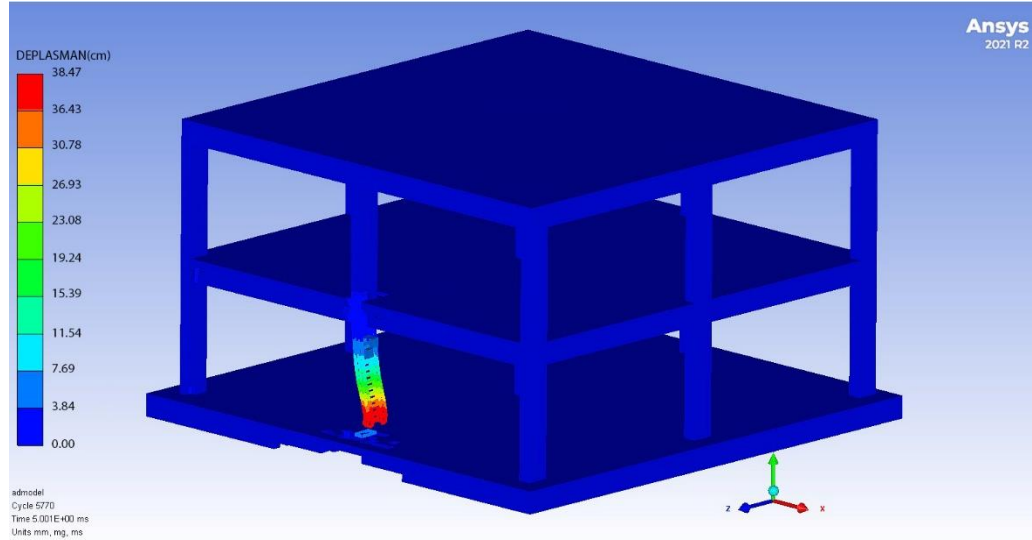


Şekil 4.107. AO11-235-40/35 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.107.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir. Diyagram incelendiğinde maksimum hasar oranı % 45,87 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.11.3. Yer Değiştirme

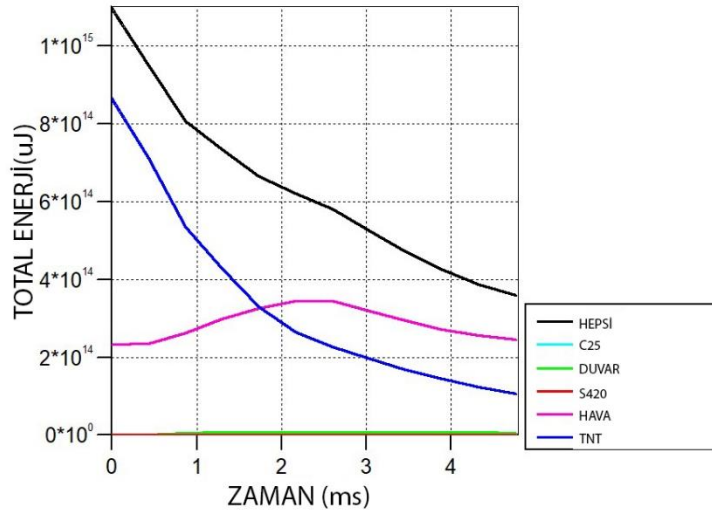
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.108.'de verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 38,7 cm'dir. . Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.108. AO11-235-40/35 yer değiştirme görünümü

4.3.11.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlmeler kolonlar, kirişler, duvarlar, döşemeler, hava ve TNT tarafından gerçekleştirilir. 11. Analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.109.'da verilmiştir.



Şekil 4.109. AO11-235-40/35 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.29.'de gösterilmiştir. C35 beton tarafından $2,85E+13$ uJ,

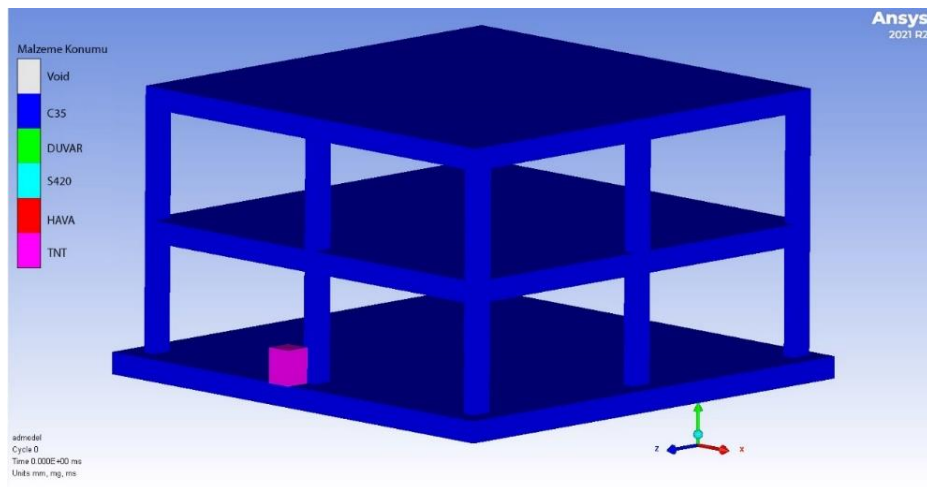
donatı tarafından $1,13\text{E}+12$ uJ, duvar tarafından $6,80\text{E}+13$ uJ, hava tarafından $3,45\text{E}+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $8,64\text{E}+15$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.29. AO11-235-40/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$2,85\text{E}+13$
DUVAR	$6,80\text{E}+13$
DONATI	$1,13\text{E}+12$
HAVA	$3,45\text{E}+15$
TNT	$8,64\text{E}+15$

4.3.12. AS12-235-40/35 Patlama Senaryosu

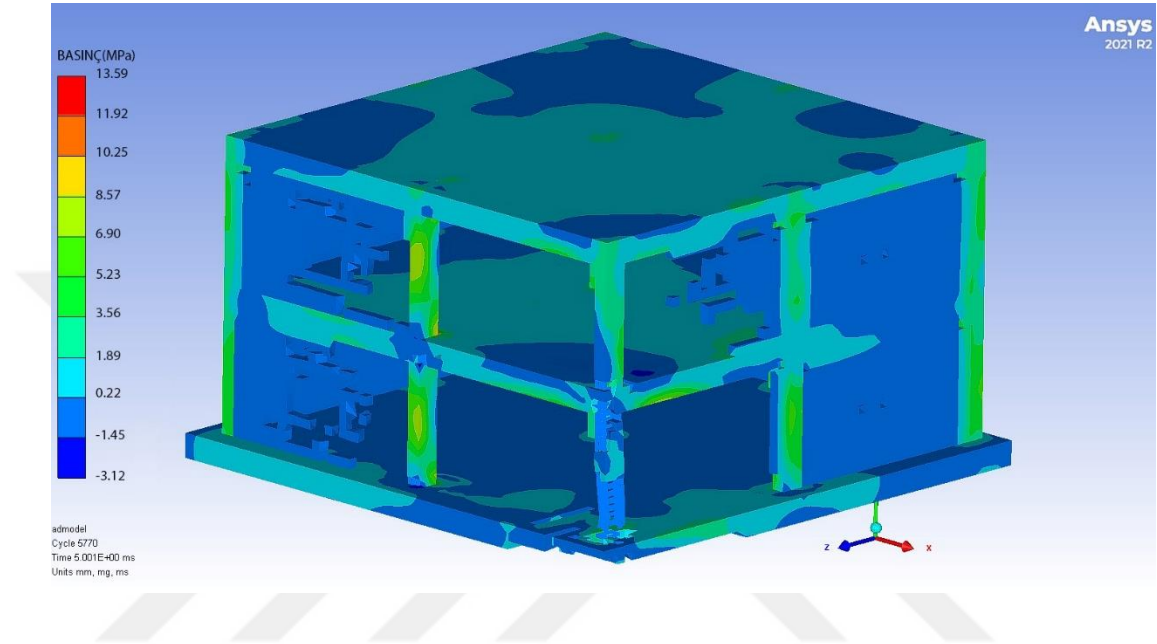
On ikinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine sağ yan kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 2 \times 3$ 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. . Kolonlarının üzerine %10 oranında aksenal kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AS12-235-40/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.110.'da görülmektedir.



Şekil 4.110. AS12-235-40/35 patlayıcı (TNT) konumu

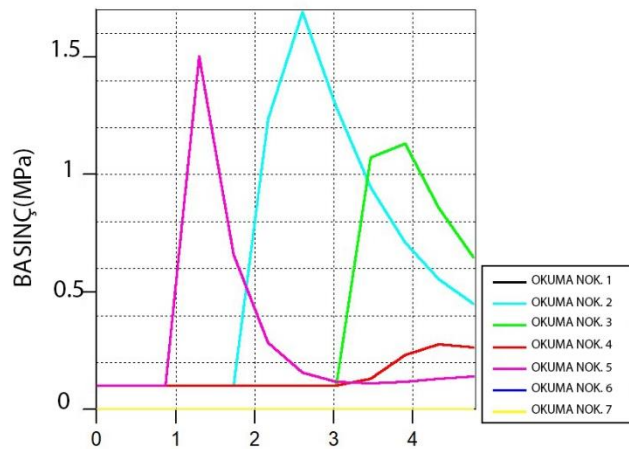
4.3.12.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 13,59 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.111).



Şekil 4.111. AS12-235-40/35 basınç gerilmesi diyagramları

AS12-235-40/35 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.112.'de verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 1,69 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.112. AS12-235-40/35 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

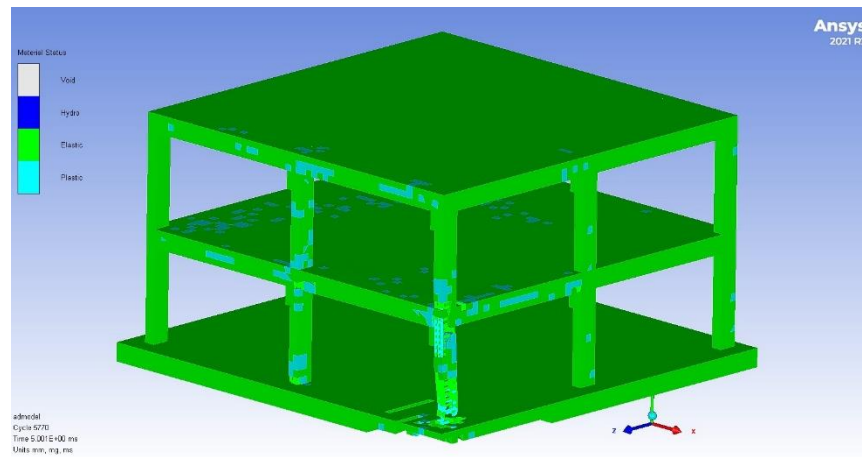
Çizelge 4.30. AS12-235-40/35 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	1,69
3	1,13
4	0,27
5	1,5
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimum 0,27 MPa, maksimum ise 2 noktasında 1,69 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

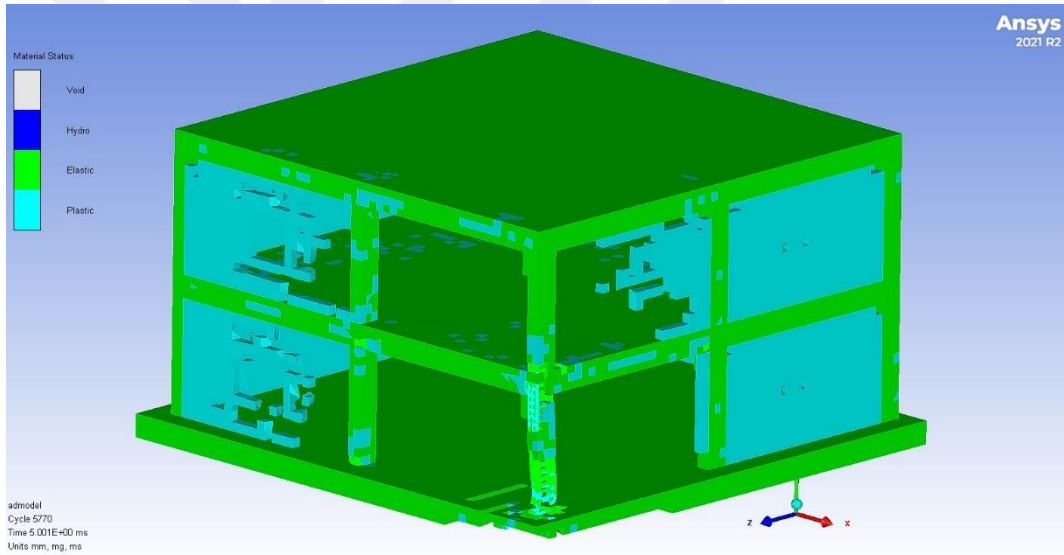
4.3.12.2. Hasar Durumu

235 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.113.'te gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede kolon, kiriş, döşeme ve temel gibi yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.

**Şekil 4.113.** AS12-235-40/35 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

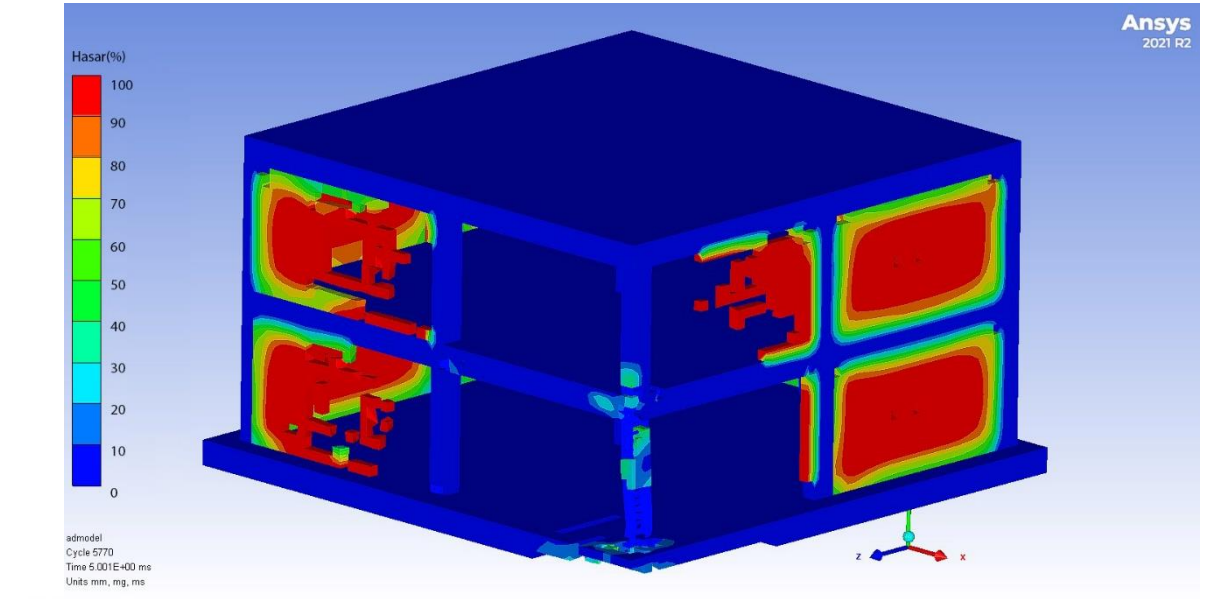
Patlayıcının tam karşısında bulunan 30 x 50 boyutlarındaki kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temelle bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Sağ kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel ile kolonun birleşim bölgesinden ayrıldığı, patlayıcıya yakın olan kısımda betonun parçalandığı ve alt kısımlarda plastik hasar oluştuğu dikkat çekmektedir. Patlama dalgası etkisinin birinci kat yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama dalgasının çok büyük bir bölgeye etki etmediği, etki bölgesi dışındaki elemanlarda ise ciddi bir hasarın olmadığı dikkat çekmektedir.

235 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.114.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.114. AS12-235-40/35 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagram

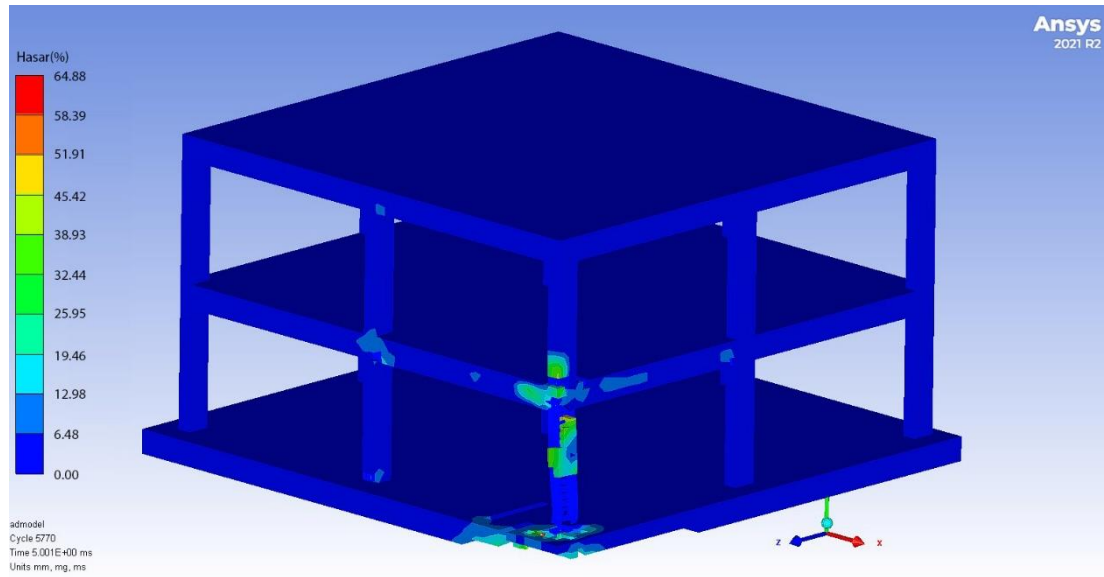
Şekil 4.114.'te görüldüğü gibi patlayıcının sol tarafında bulunan duvarlardan patlayıcıya yakın olan duvarların tamamı parçalanmış, ön cephede uzak olan duvarlar az hasar almıştır. Yapının sağ cephesindeki birinci kat duvarlarının tamamı hasar alırken, patlayıcıya uzak olan duvarlar kısmi hasar almıştır. Arka cephe duvarlarında ise neredeyse hiç bir hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.115. AS12-235-40/35 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.115. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.116.'da yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

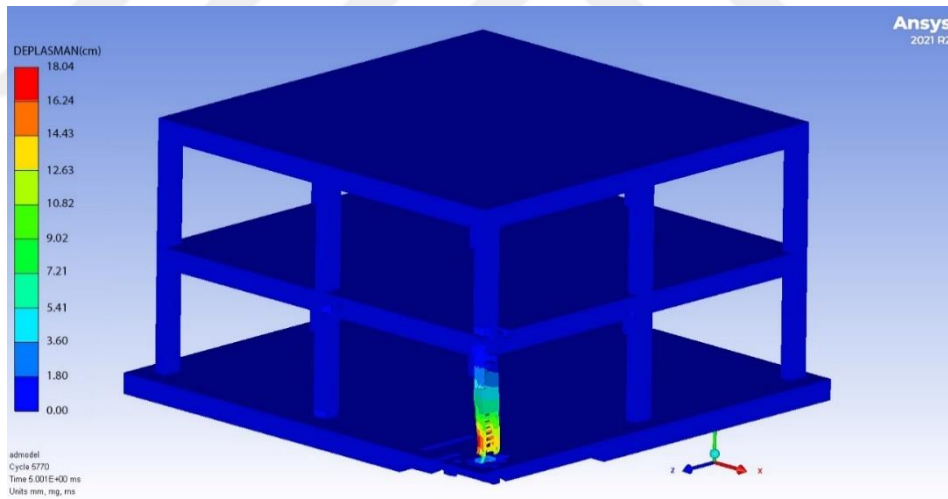


Şekil 4.116. AS12-235-40/35 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.116.'daki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 64,88 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci Kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.12.3. Yer Değiştirme

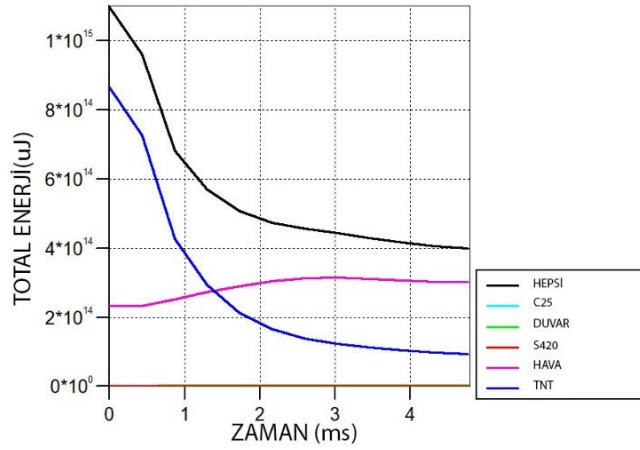
235 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.117.'de verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 18,04 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak sağ yan kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından sağ yan kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.117. AS12-235-40/35 yer değiştirme görünümü

4.3.12.4. 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. 12. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.118.'de verilmiştir.



Şekil 4.118. AS12-235-40/35 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.31.'de gösterilmiştir. C35 beton tarafından $1,46E+13$ uJ, donatı tarafından $5,15E+11$ uJ, duvar tarafından $3,46E+13$ uJ, hava tarafından $3,16E+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $8,64E+15$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

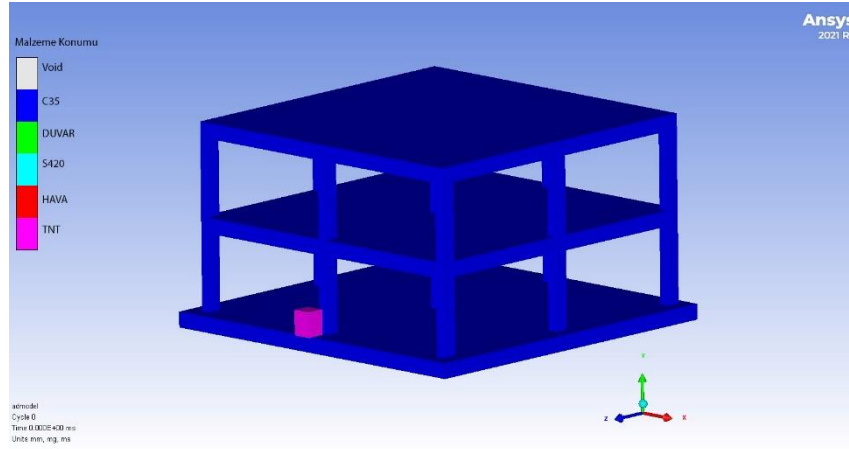
Çizelge 4.31. AS12-235-40/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$1,46E+13$
DUVAR	$3,46E+13$
DONATI	$5,15E+11$
HAVA	$3,16E+15$
TNT	$8,64E+15$

4.3.13. AO13-470-10/35 Patlama Senaryosu

On üçüncü analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 4 \times 3$ birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır. Kolonlarının üzerine %10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye

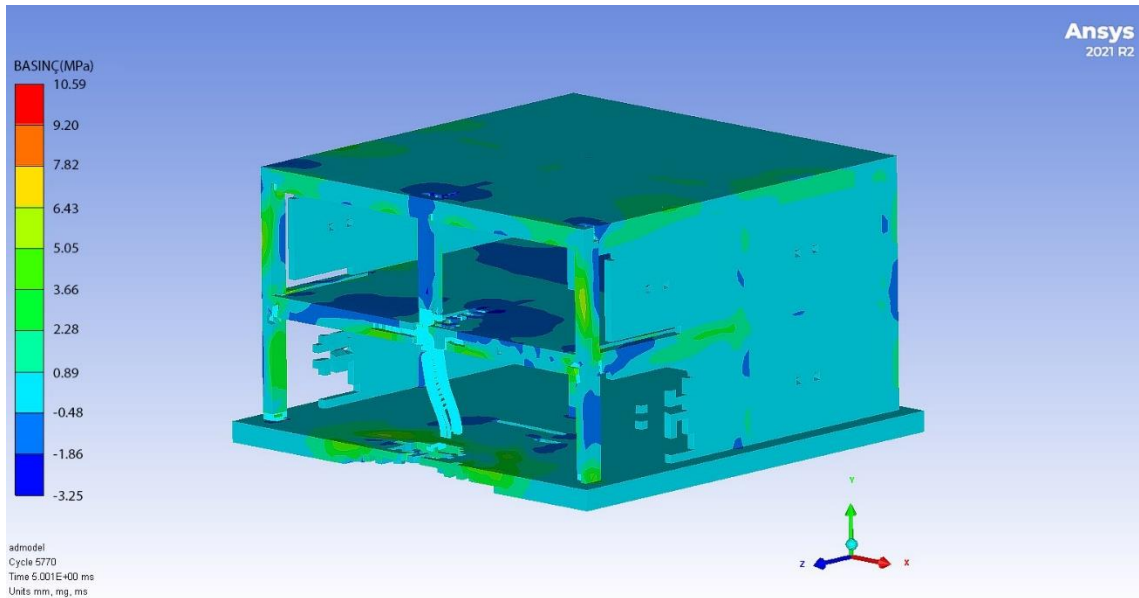
patlama süresi ayarlanmıştır. AO13-470-10/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.119.'da görülmektedir.



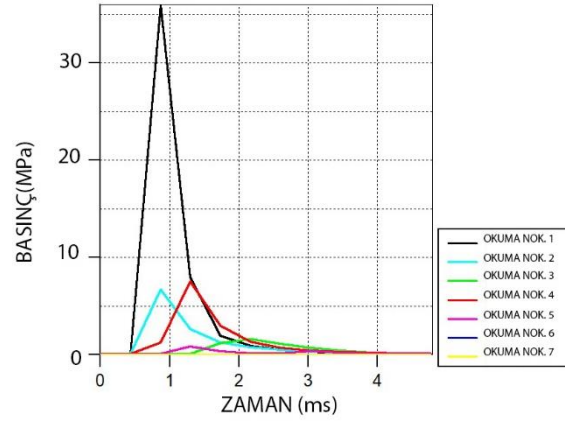
Şekil 4.119. AO13-470-10/35 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.13.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 10.59 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.120).



Şekil 4.120. AO13-470-10/35 basınç gerilmesi diyagramları



Şekil 4.121. AO13-470-10/35 tüm okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AO13-470-10/35 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.121.'de verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 1'de okunan 35,95 MPa olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.32. AO13-470-10/35 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

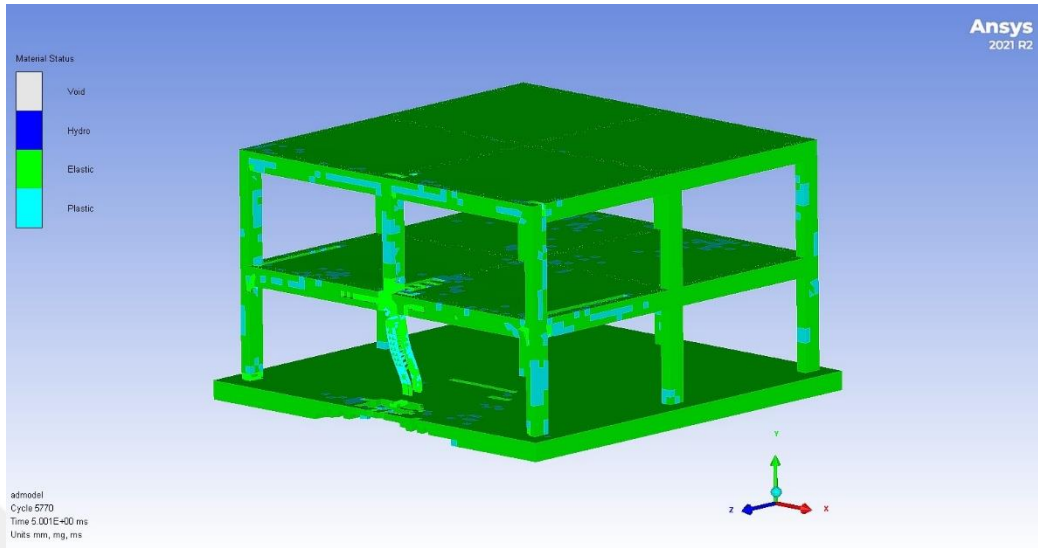
Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	35,95
2	6,3
3	1,62
4	7,54
5	0,85
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,85 MPa, maximum ise 1 noktasında 35,95 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.13.2. Hasar Durumu

470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.122.'de

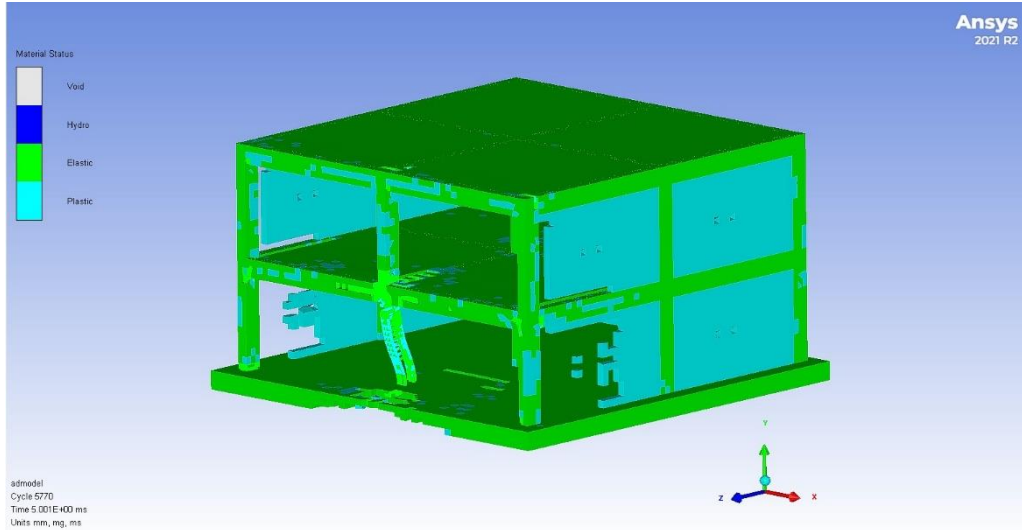
gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.122. AO13-470-10/35 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

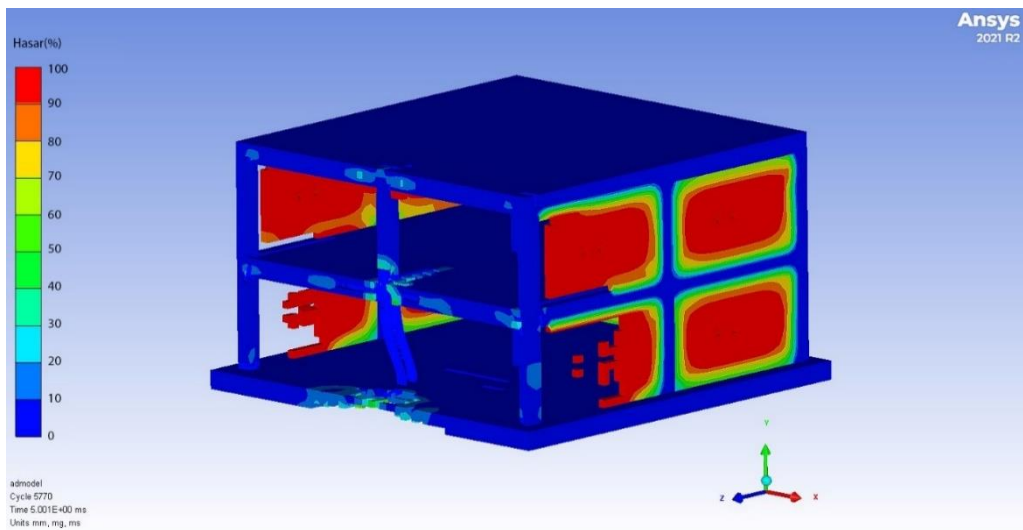
470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.123.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.123. AO13-470-10/35 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagram

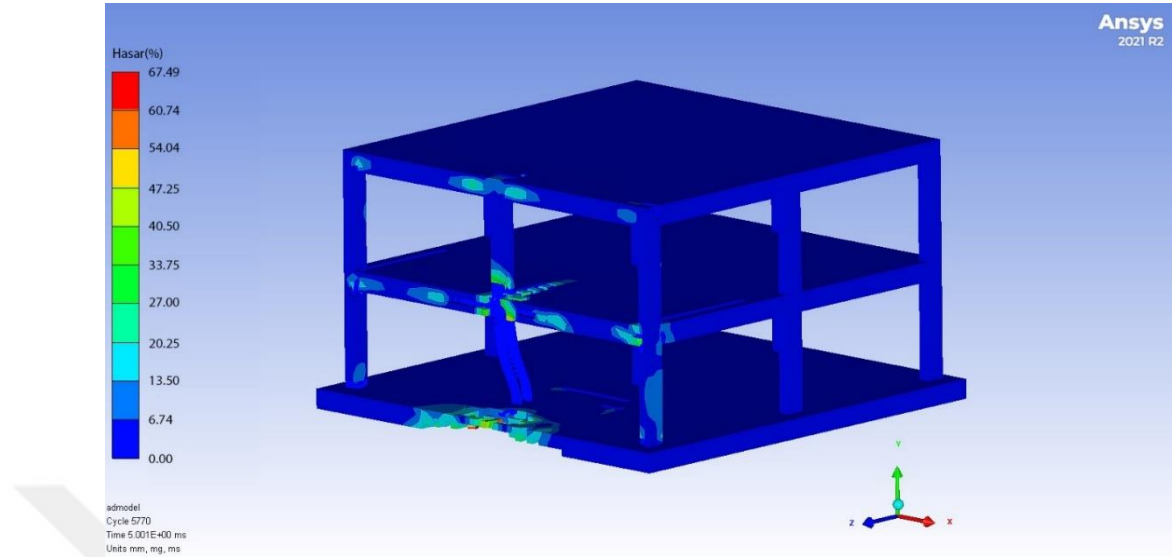
Şekil 4.123.'te şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.

Şekil 4.124.'te incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 4.124. AO13-470-10/35 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagram

Şekil 4.125. yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

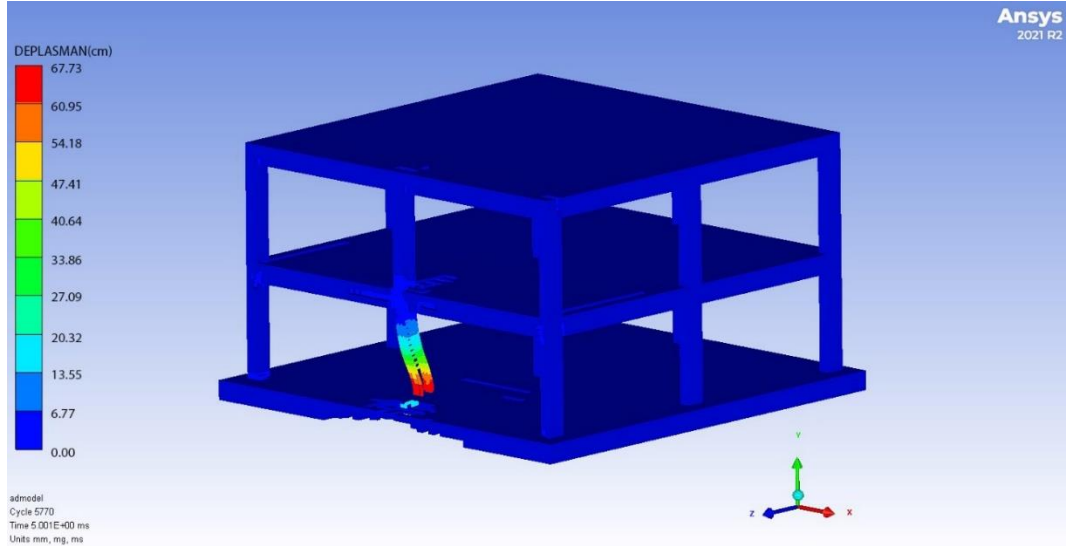


Şekil 4.125. AO13-470-10/35 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.125.’teki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maximum hasar oranı % 67,49 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci Kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.13.3. Yer Değiştirme

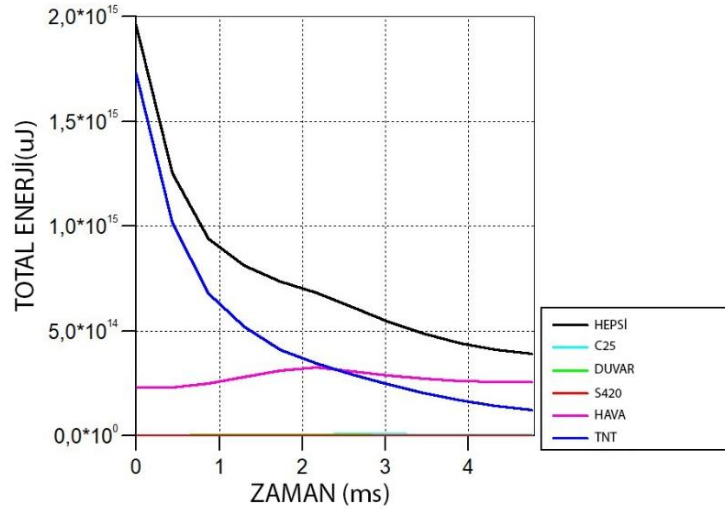
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.126.’da verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 67,73 cm’dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.126. AO13-470-10/35 yer değiştirme görüntüsü

4.3.13.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümlmeler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. 13. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.127.'de verilmiştir.



Şekil 4.127. AO13-470-10/35 toplam enerji-zaman grafiği

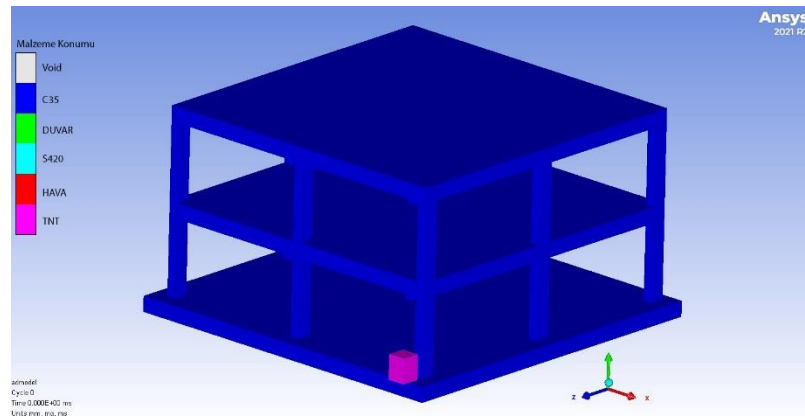
TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.33.'te gösterilmiştir. C35 beton tarafından $1,09E+14$ uJ, donatı tarafından $2,56E+12$ uJ, duvar tarafından $1,93E+14$, hava tarafından $4,09E+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $1,73E+16$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.33. AO13-470-10/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$1,09E+14$
DUVAR	$1,93E+14$
DONATI	$2,56E+12$
HAVA	$4,08E+15$
TNT	$1,73E+16$

4.3.14. AS14-470-10/35 Patlama Senaryosu

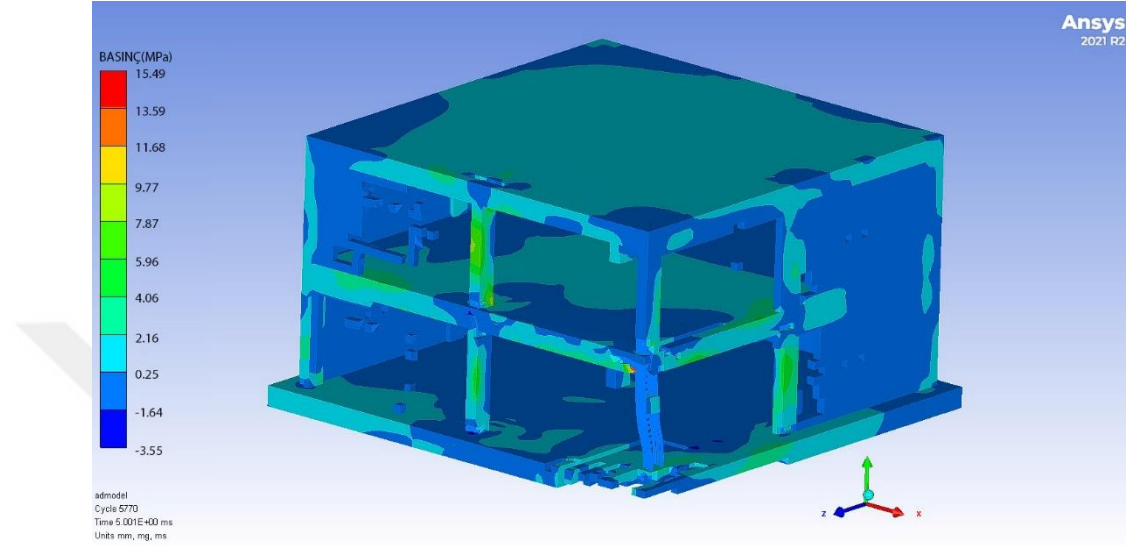
On dördüncü analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 4 \times 3$ birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır Kolonlarının üzerine %10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AS14-470-10/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.128.'de görülmektedir.



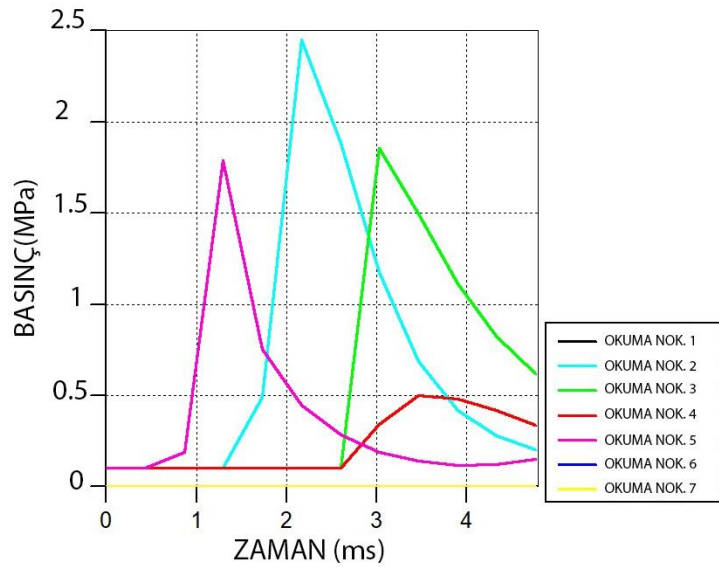
Şekil 4.128. AS14-470-10/35 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.14.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 15,49 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.129).



Şekil 4.129. AS14-470-10/35 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.130. AS14-470-10/35 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AS14-470-10/35 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.130.'da verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 2,45 MPa olduğu görülmüştür.

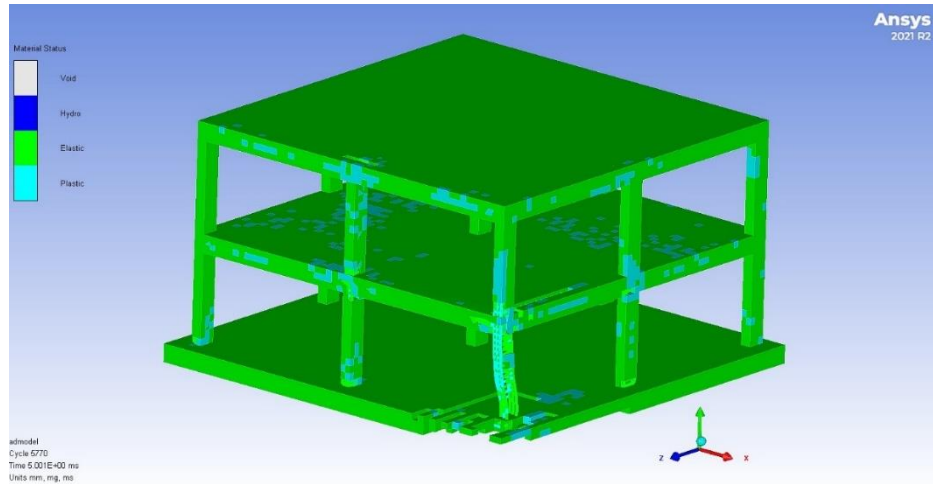
Çizelge 4.34. AS14-470-10/35 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	2,45
3	1,86
4	0,50
5	1,79
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimum 0,50 MPa, maximum ise 2 noktasında 2,45 MPa basıncın oluştuğu, 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.14.2. Hasar Durumu

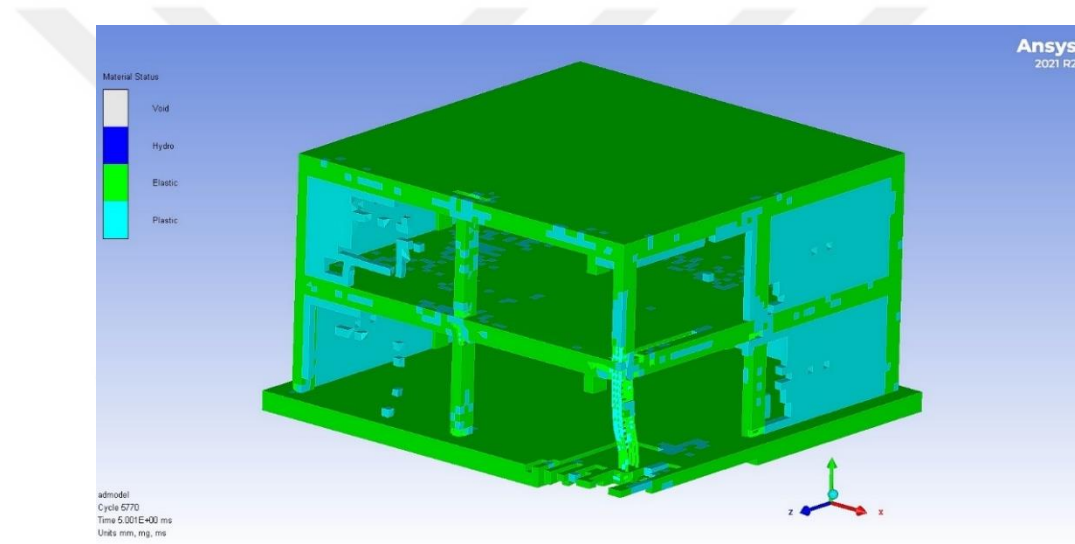
470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanan kısımlar Şekil 4.131.'de gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.

**Şekil 4.131.** AS14-470-10/35 Yapısal elastik davranış kontur diyagramı

Patlayıcının tam karşısında bulunan 30 x 50 boyutlarındaki kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temelle bağlantısının

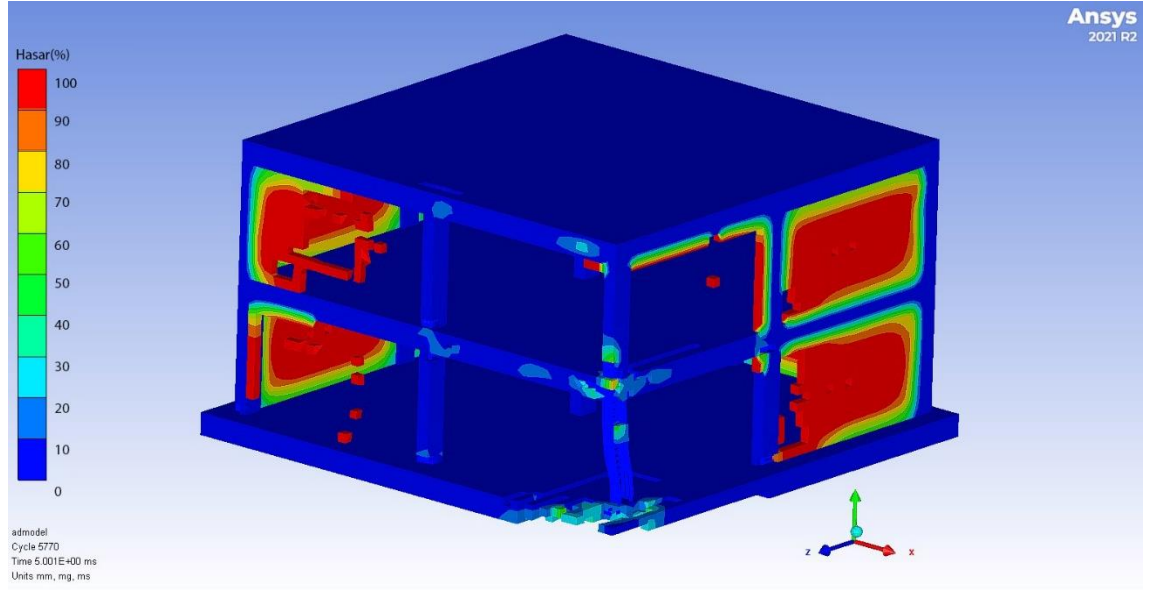
kalmadığı görülmektedir. Sağ kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel ile kolonun birleşim bölgesinden ayrıldığı, patlayıcıya yakın olan kısımda betonun parçalandığı ve alt kısımlarda plastik hasar olduğu dikkat çekmektedir. Patlama dalgası etkisinin birinci kat yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama dalgasının çok büyük bir bölgeye etki etmediği, etki bölgesi dışındaki elemanlarda ise ciddi bir hasarın olmadığı dikkat çekmektedir.

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.132.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.132. AS14-470-10/35 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

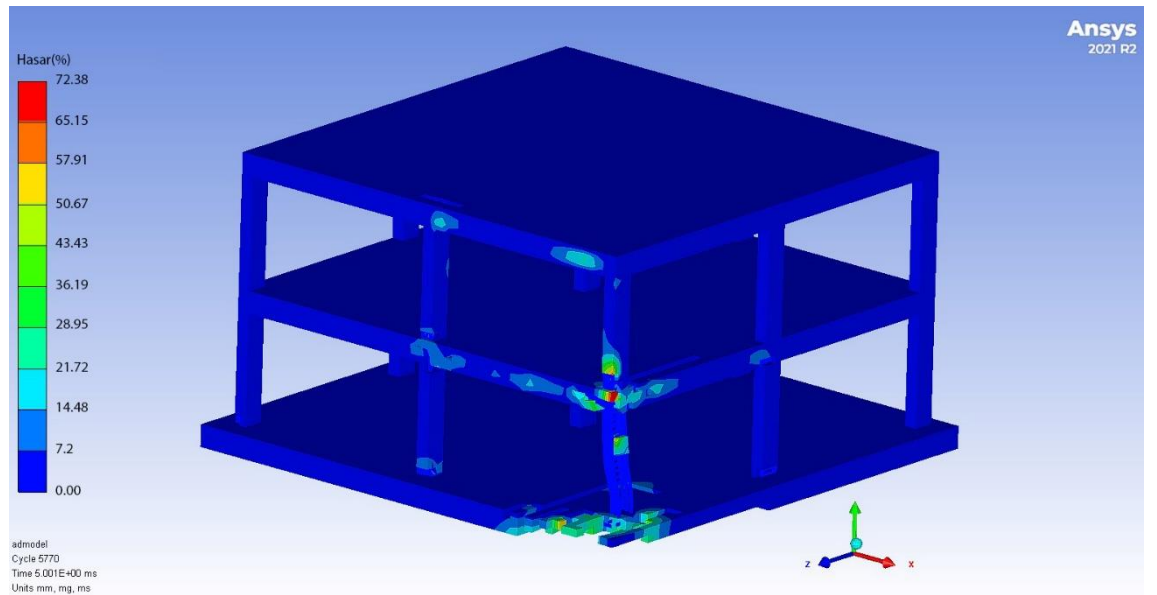
Şekil 4.132.'de görüldüğü gibi patlayıcının sol tarafında bulunan duvarlardan patlayıcıya yakın olan duvarların tamamı parçalanmış, ön cephede uzak olan duvarlar az hasar almıştır. Yapının sağ cephesindeki birinci kat duvarlarının tamamı hasar alırken, patlayıcıya uzak olan duvarlar kısmi hasar almıştır. Arka cephe duvarlarında ise neredeyse hiç bir hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.133. AS14-470-10/35 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.133. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.134.'te yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

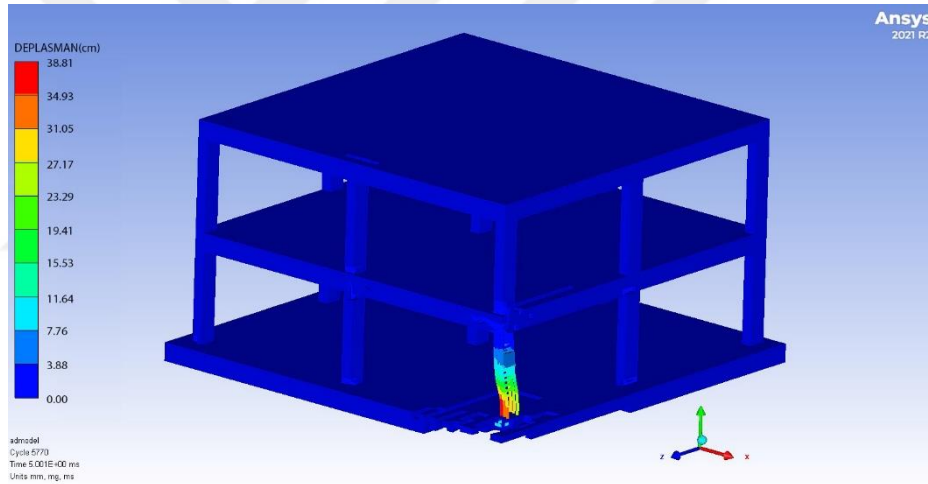


Şekil 4.134. AS14-470-10/35 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.134.'deki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maximum hasar oranı %72,38 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.14.3. Yer Değiştirme

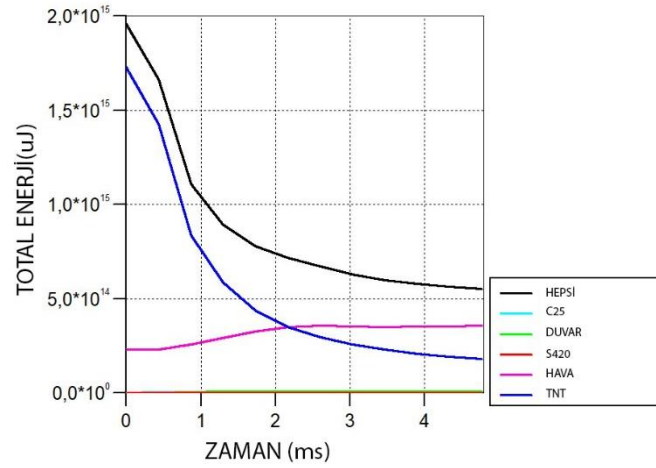
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede meydana gelmiştir. Yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.135.'de verilmiştir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak sağ yan kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından sağ yan kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.135. AS14-470-10/35 yer değiştirme görünümü

4.3.14.4. 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. 14. analizdeki toplam enerji- zaman grafiğı Şekil 4.136.'da verilmiştir.



Şekil 4.136. AS14-470-10/35 toplam enerji-zaman grafiği

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.35.'te gösterilmiştir. C35 beton tarafından $6.97E+13$ uJ, donatı tarafından $1.13E+12$ uJ, duvar tarafından $9.68E+13$ uJ, hava tarafından $3.60E+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $1.73E+16$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

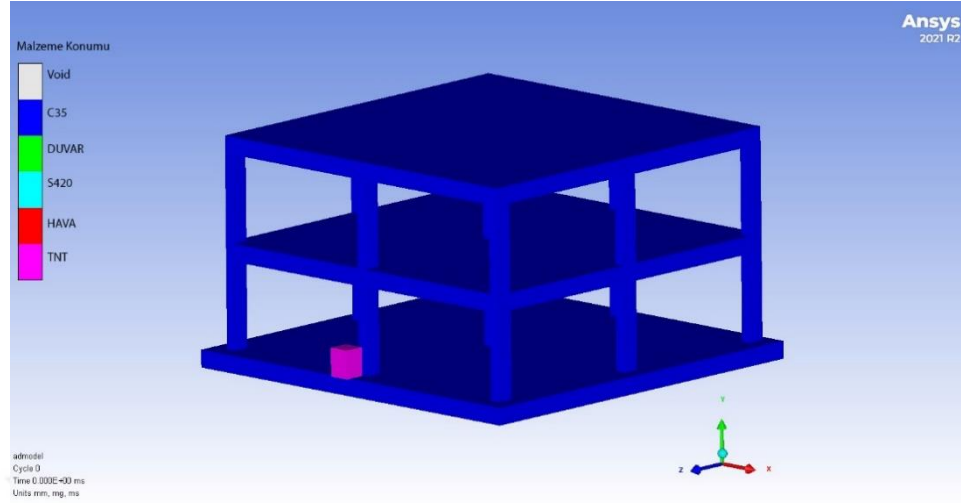
Çizelge 4.35. AS14-470-10/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$6,97E+13$
DUVAR	$9,68E+13$
DONATI	$1,13E+12$
HAVA	$3,60E+15$
TNT	$1,73E+16$

4.3.15. AO15-470-40/35 Patlama Senaryosu

On beşinci analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine orta kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için $3 \times 4 \times 3$ birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır. Kolonlarının üzerine % 40 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye

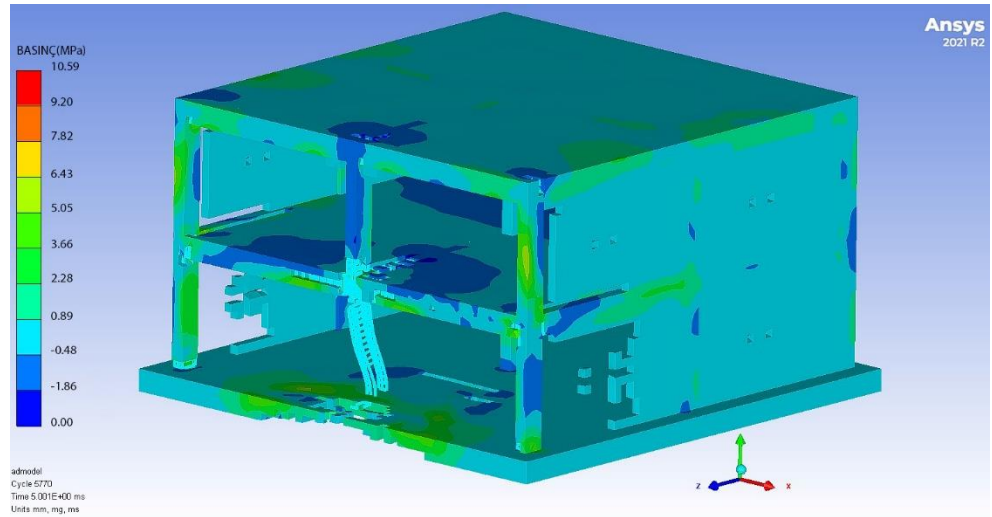
patlama süresi ayarlanmıştır. AO15-470-40/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.137.'de görülmektedir.



Şekil 4.137. AS15-470-40/35 patlayıcı (TNT) konumu

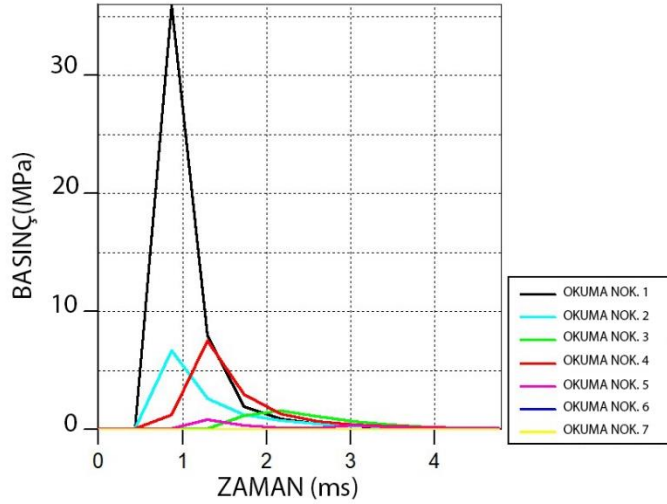
4.3.15.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 10,59 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.138.).



Şekil 4.138. AS15-470-40/35 basınç gerilmesi diyagramı

AS15-470-40/35 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.139.'da verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 1'de okunan 35,95 MPa olduğu görülmüştür.



Şekil 4.139. AS15-470-40/35 analizinde okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

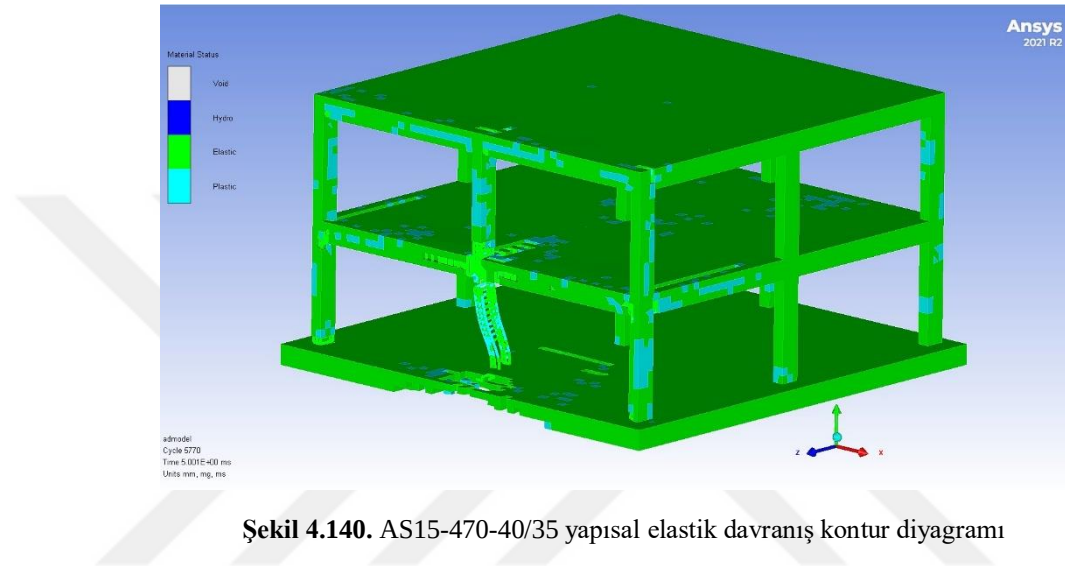
Çizelge 4.36. AS15-470-40/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	35,95
2	6,73
3	1,62
4	7,54
5	0,85
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 5 noktasında minimum 0,85 MPa, maksimum ise 1 noktasında 35,95 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.15.2. Hasar Durumu

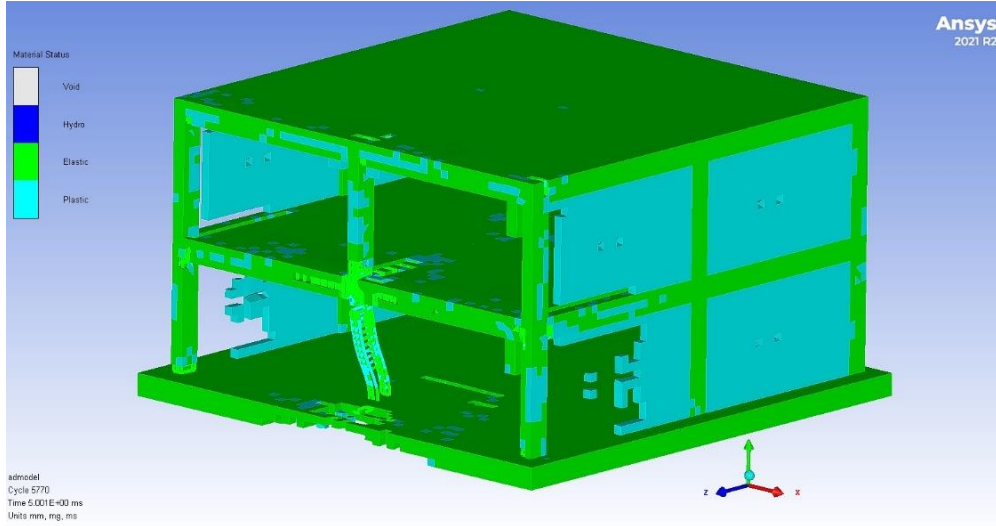
470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.140.'ta gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.140. AS15-470-40/35 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

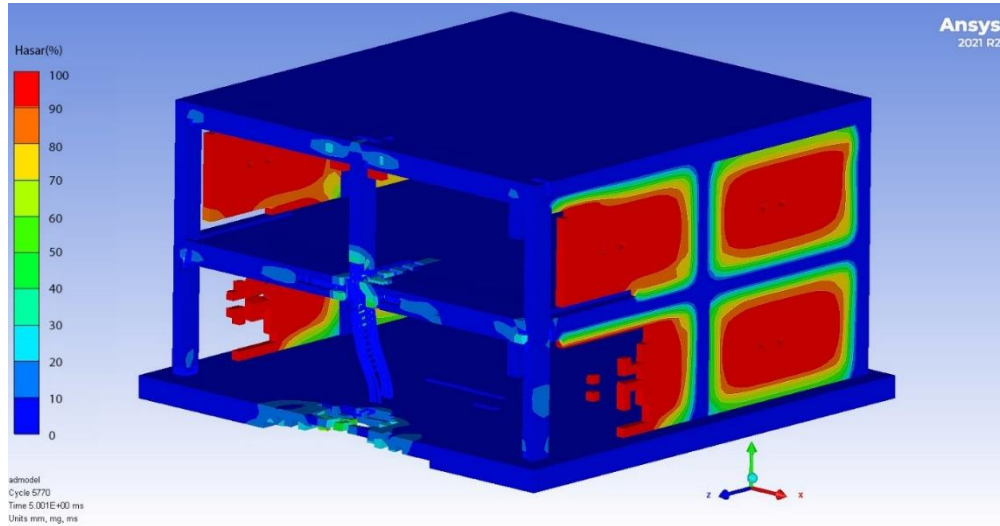
Patlayıcının tam karşısında bulunan kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temel bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Orta kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar olduğu görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel kısmında da patlayıcıya yakın olan bölgelerde betonun parçalandığı ve temelin alt kısımlarında plastik hasar olduğu gözlemlenmiştir. Patlayıcının karşısında yer alan kolonun işlevini yitirmesi yapı için tehlike oluşturmaktadır. Patlayıcı etkisinin birinci kat yapısal elemanları tarafından sönmelenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama etkisini 3 m çapındaki bir alan etki ettiği bu mesafeyi geçen kısımlarda hasarın minimum seviyede olduğu görülmektedir. Bu alan dışında bir parçalanmanın oluşmadığı gözlemlenmiştir.

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.141.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.141. AS15-470-40/35 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

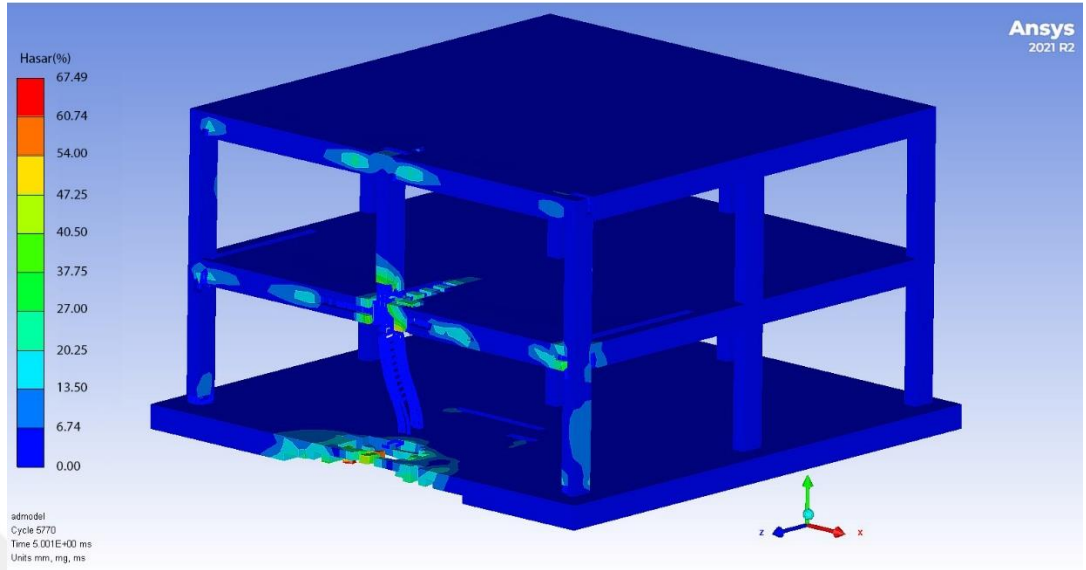
Şok dalgasının kolonlar, kirişler ve döşeme tarafından sönümlenmesi ve kaynaktan uzaklaştıkça etkisinin azalmasından dolayı ön duvarların tamamı, yan duvarlarda ise ilk kat duvarlarının bir kısmı parçalanmış, arka cephe duvarlarında herhangi bir parçalanma görülmemiştir. Diğer yan ve arka duvarlarda parçalanmalar orta bölgelerde az miktarda gözlemlenmiştir.



Şekil 4.142. AS15-470-40/35 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagram

Şekil 4.142. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.143.'te yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

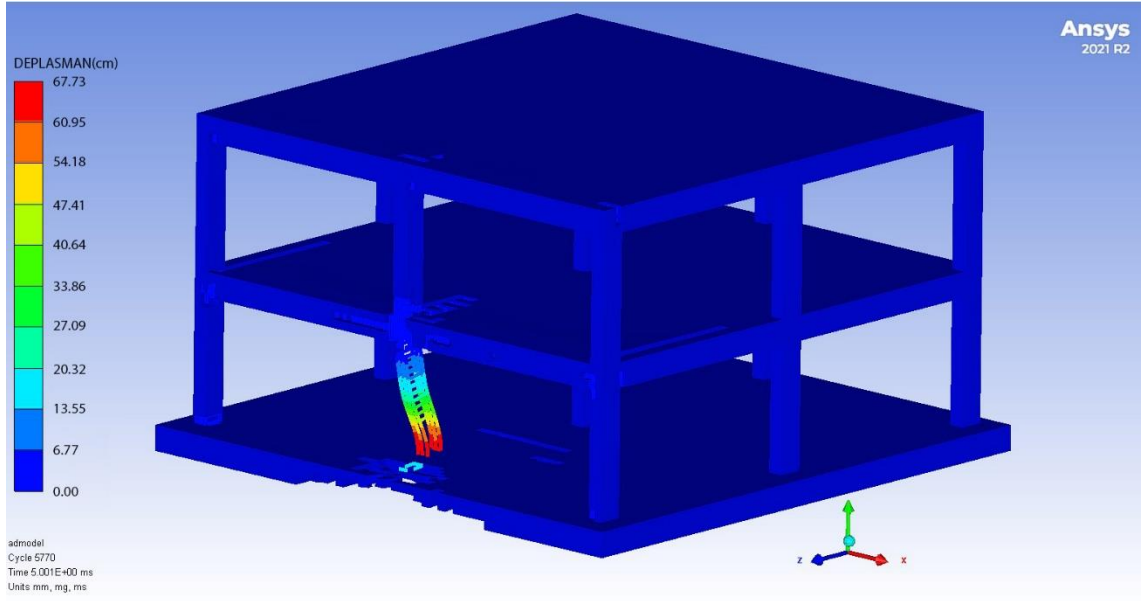


Şekil 4.143. AS15-470-40/35 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.143.'teki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maximum hasar oranı % 67,49 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci Kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.15.3. Yer Değiştirme

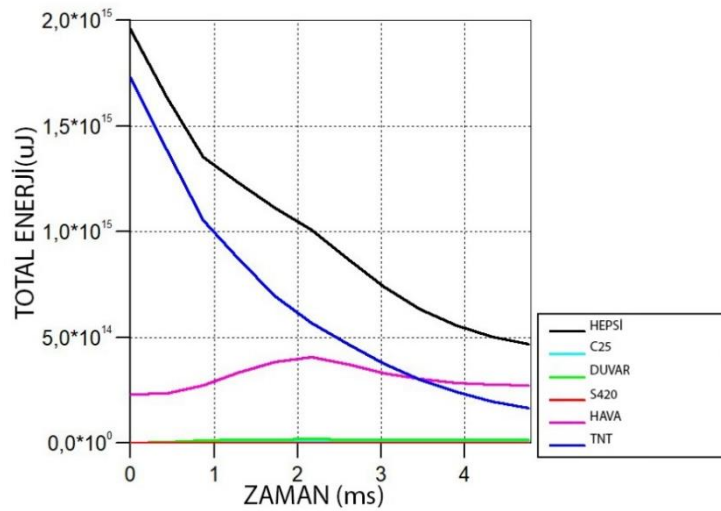
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü 4.144.'te verilmiştir. Yapı üzerindeki en büyük yer değiştirme değeri 67,73 cm'dir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.144. AS15-470-40/35 yer değiştirme görünümü

4.3.15.4. Patlama Enerjisi

Patlama esnasında ortamda büyük bir enerji yayılımı meydana gelmektedir. Bu enerji ortamda ilerlerken önüne çıkan maddeler tarafından sönümlenir. Yapı modellerinde bu sönümler genellikle kolonlar, kirişler, duvarlar ve döşemeler tarafından gerçekleştirilir. 15. analizdeki toplam enerji- zaman grafiği Şekil 4.145.'te verilmiştir.



Şekil 4.145. AS15-470-40/35 toplam enerji-zaman grafiği

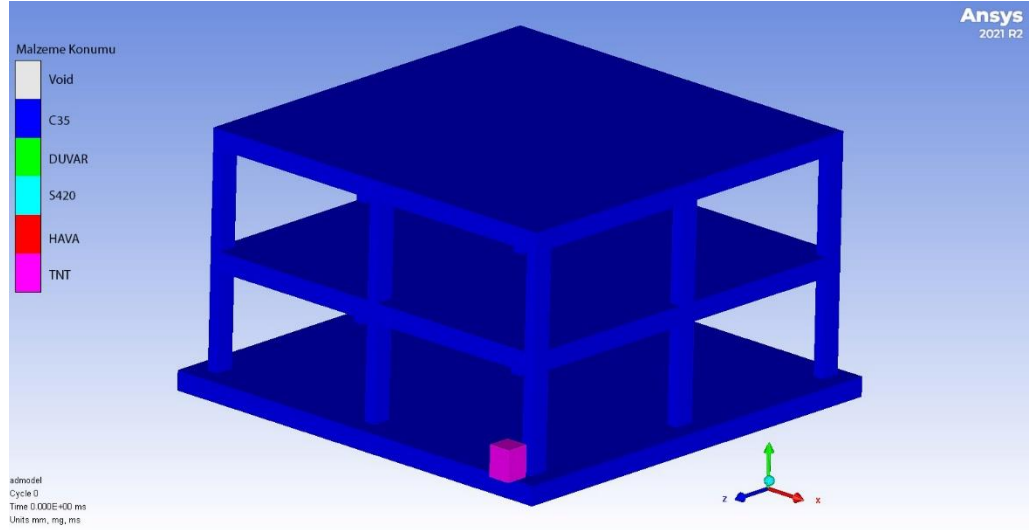
TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönümlendiği Çizelge 4.37.'de gösterilmiştir. C35 beton tarafından 1,09E+14 uJ, donatı tarafından 2,56E+12 uJ, duvar tarafından 1,93E+14, hava tarafından 4,09E+15 uJ ve patlayıcı tarafından 1,73E+16 uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir..

Çizelge 4.37. AS15-470-40/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	1,09E+14
DUVAR	1,93E+14
DONATI	2,56E+12
HAVA	4,09E+15
TNT	1,73E+16

4.3.16. AS16-470-40/35 Patlama Senaryosu

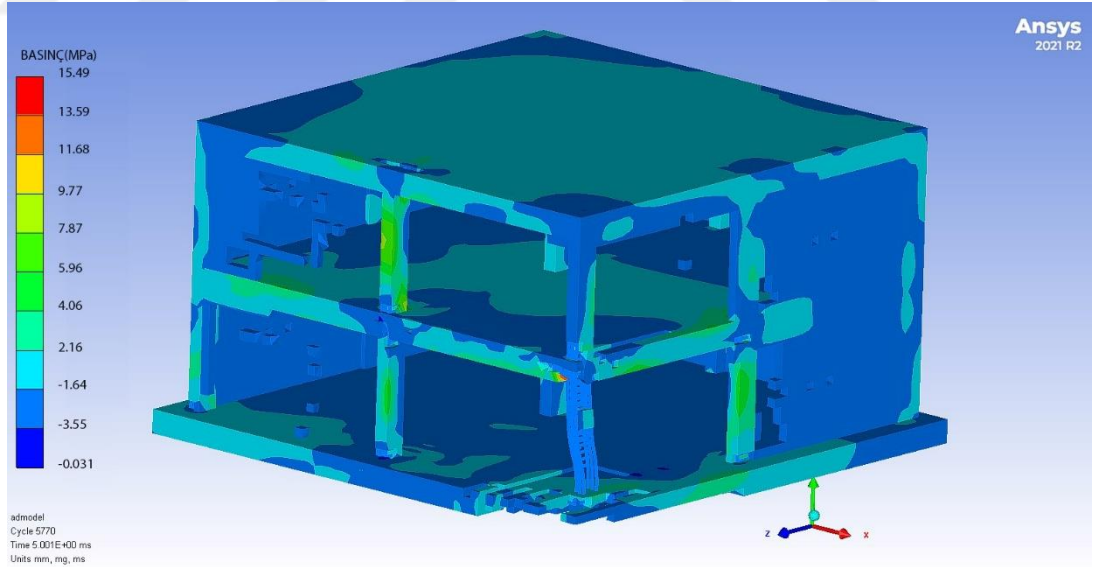
On altıncı analiz olarak ANSYS Autodyn yazılımında oluşturulan hava modeli içerisine sağ yan kolondan 1 m uzaklıkta ve yerden 1 m yükseklikte olacak şekilde patlayıcı madde (TNT) tanımlaması yapılmıştır. Analizde C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Hava modelinde tanımlanmış olan mesh aralıkları dikkate alınarak, sırasıyla x, y, z eksenleri için 3 x 4 x 3 birim mesh olarak patlayıcı yerleştirilerek ($3 \times 4 \times 3 = 36 \text{ br}^3$; yoğunluk = $1,63 \text{ gr/cm}^3$ ve birim mesh = 200 mm dikkate alındığında TNT kütlesi $\approx 470 \text{ kg}$) TNT ağırlığı 470 kg olarak uygulanmıştır. Kolonlarının üzerine %10 oranında eksenel kuvvet etkisi uygulanmıştır. Analizler için literatürdeki veriler de dikkate alınarak 5 milisaniye patlama süresi ayarlanmıştır. AS16-470-40/35 numaralı analiz için tanımlanan patlayıcı (TNT) Şekil 4.146.'da görülmektedir.



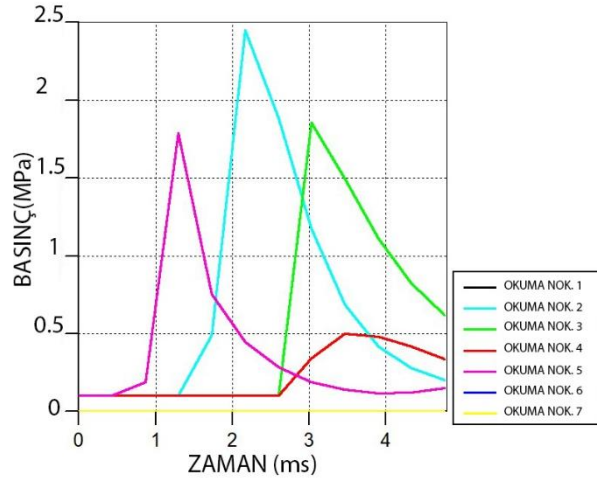
Şekil 4.146. AS16-470-40/35 patlayıcı (TNT) konumu

4.3.16.1. Patlama Basınçları

5 milisaniyelik patlama analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontur diyagramları üzerinden incelemeler yapıldığında en yüksek basınç değerinin 15,49 MPa olduğu görülmektedir (Şekil 4.147).



Şekil 4.147. AS16-470-40/35 basınç gerilmesi diyagramı



Şekil 4.148. AS16-470-40/35 tüm okuma noktalarındaki basınç-zaman grafiği

AS16-470-40/25 grafikleri tüm okuma noktaları için incelenmiştir. Basınç zaman grafiği Şekil 4.148.'de verilmiştir. En yüksek basınç değeri okuma noktası 2'de okunan 2,45 MPa olduğu görülmüştür.

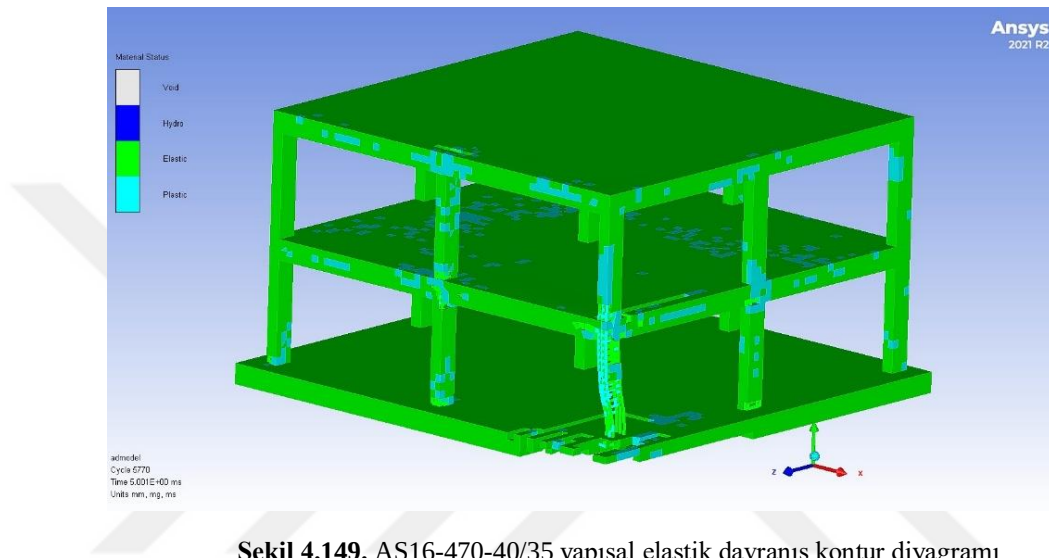
Çizelge 4.38. AS16-470-40/25 için okuma noktalarındaki patlama basınçları

Okuma Noktası	Etkiyen En Büyük Patlama Basıncı (MPa)
1	0
2	2,45
3	1,86
4	0,50
5	1,79
6	0
7	0

Tüm okuma noktaları incelendiğinde 4 noktasında minimum 0,50 MPa, maximum ise 2 noktasında 2,45 MPa basıncın oluştuğu, patlayıcıya uzak kalan 1, 6 ve 7 numaralı noktalarda ise basıncın oluşmadığı tespit edilmiştir.

4.3.16.2. Hasar Durumu

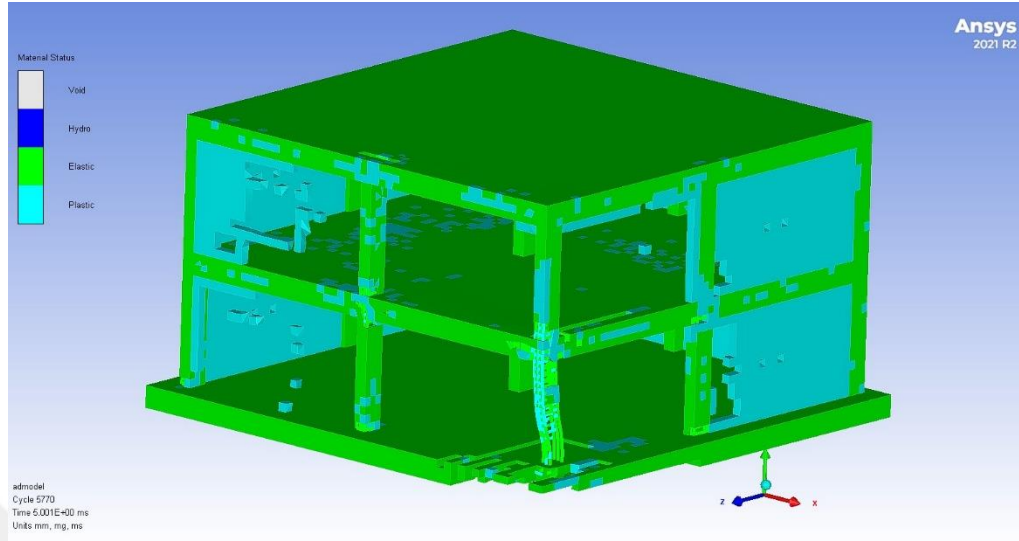
470 kg TNT patlayıcısının infilakı, yapı elemanlarının belirli bölgelerinde plastik hasar bölgelerinin oluşmasına neden olmuştur. Yapı ve yapı elemanları üzerinde meydana gelen elastik ve plastik bölgelerin dağılımı ve parçalanmış kısımlar Şekil 4.149.'da gösterilmiştir. Patlama noktasına yakın bölgede yapısal elemanlarda plastik davranış görülürken, nispeten daha uzak bölgelerde elastik davranış görülmektedir.



Şekil 4.149. AS16-470-40/35 yapısal elastik davranış kontur diyagramı

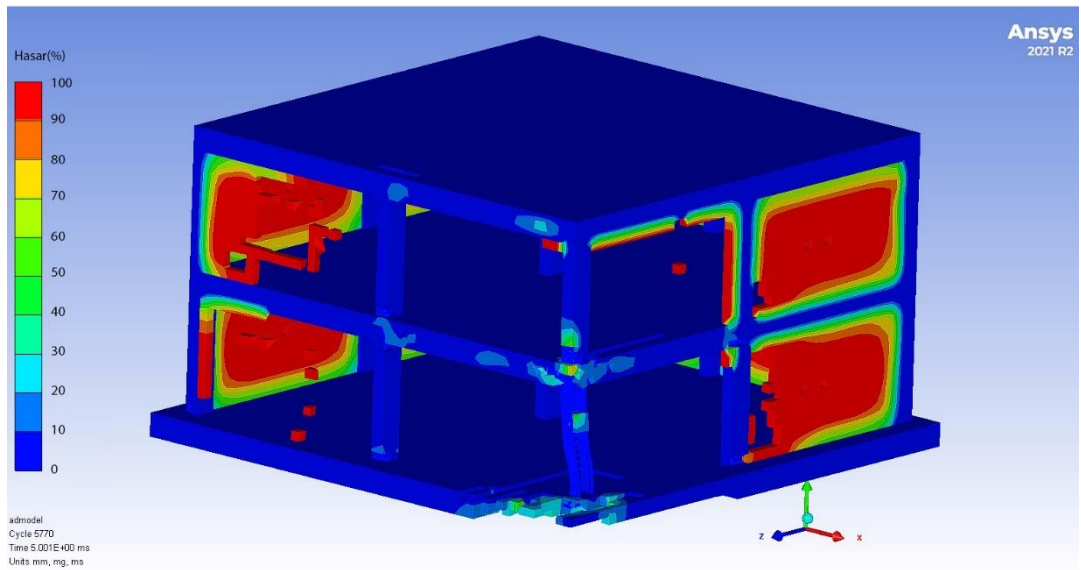
Patlayıcının tam karşısında bulunan 30 x 50 boyutlarındaki kolon incelendiğinde, patlayıcıya yakın olan bölgede betonun tamamen parçalandığı ve temelle bağlantısının kalmadığı görülmektedir. Sağ kolonun ön yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde plastik hasar görülmektedir. Patlayıcıdan uzak olan bölgelerde ise davranış elastik bölgede kalmıştır. Temel ile kolonun birleşim bölgesinden ayrıldığı, patlayıcıya yakın olan kısımda betonun parçalandığı ve alt kısımlarda plastik hasar olduğu dikkat çekmektedir. Patlama dalgası etkisinin birinci kat yapısal ve yapısal olmayan elemanlar tarafından sönümlenmesinden dolayı ikinci kattaki elemanlar elastik bölgede kalmıştır. Patlama dalgasının çok büyük bir bölgeye etki etmediği, etki bölgesi dışındaki elemanlarda ise ciddi bir hasarın olmadığı dikkat çekmektedir.

470 kg TNT infilakı sonucunda duvarlarda oluşan hasarlara ait kontur diyagramı Şekil 4.150.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.150. AS16-470-40/35 duvarlarda meydana gelen hasarın kontur diyagramı

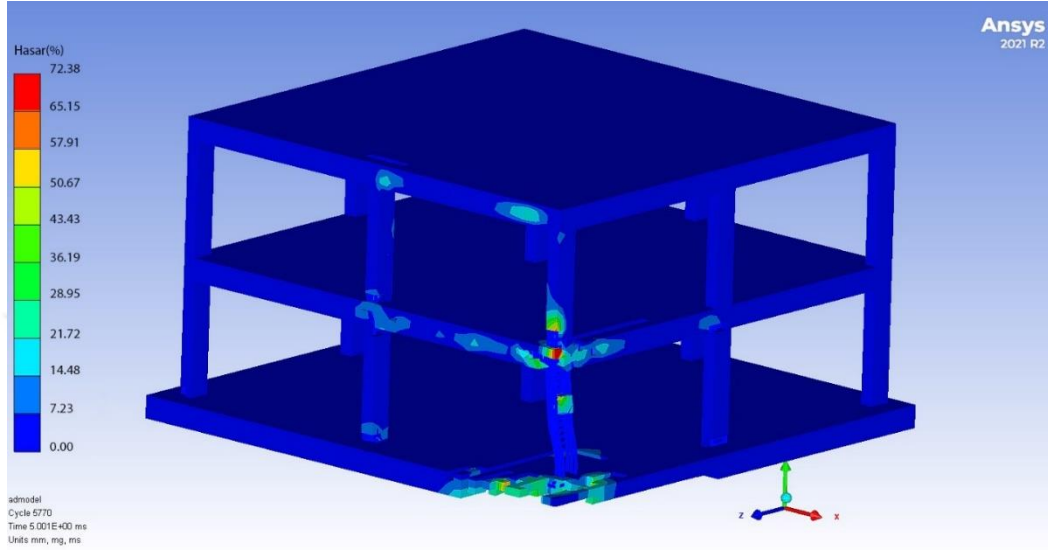
Şekil 4.150.'de görüldüğü gibi patlayıcının sol tarafında bulunan duvarlardan patlayıcıya yakın olan duvarların tamamı parçalanmış, ön cephede uzak olan duvarlar az hasar almıştır. Yapının sağ cephesindeki birinci kat duvarlarının tamamı hasar alırken, patlayıcıya uzak olan duvarlar kısmi hasar almıştır. Arka cephe duvarlarında ise neredeyse hiç bir hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.151. AS16-470-40/35 duvarlarda meydana gelen hasarın % kontur diyagramı

Şekil 4.151. incelendiğinde hasar oranı duvarın taşıyıcı elemanlara yakın dış kısımlarında daha az oranlarda iken, duvarın orta kısımlarında % 100 seviyesine ulaşmıştır.

Şekil 4.152.'de yüzde hasar kontur diyagramı verilmiştir. Bu diyagramda duvarlar dikkate alınmadan hasar yüzdesi görülmektedir.

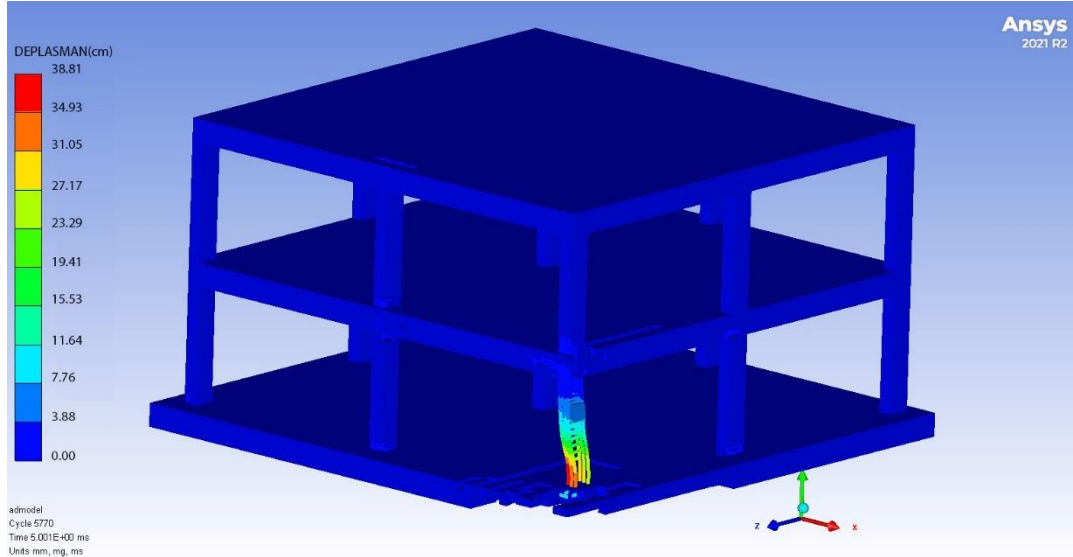


Şekil 4.152. AS16-470-40/35 nihai hasar görüntüsü

Şekil 4.152.'daki diyagram incelendiğinde 5 milisaniyelik analiz sonucunda maksimum hasar oranı % 72,38 olarak görülmektedir. En çok hasarı patlayıcının karşısında bulunduğu birinci kattaki kolonun temel ile birleştiği kısım almıştır. Birinci Kat kiriş uçları ve birleşim bölgelerinde de nispeten daha yüksek hasar yüzdesi oluşmuştur.

4.3.16.3. Yer Değiştirme

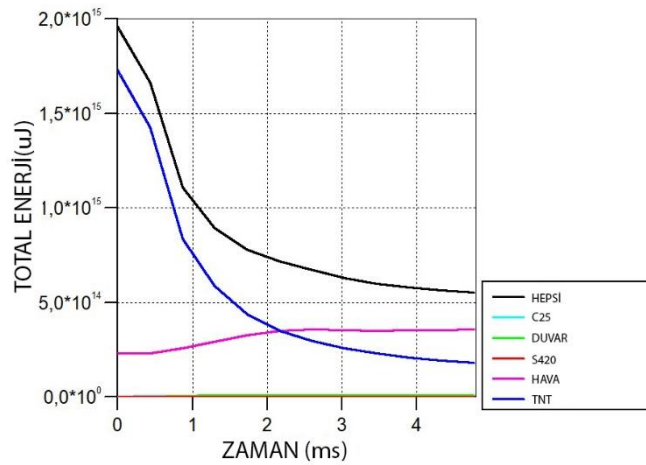
470 kg TNT patlayıcısının infilakı sonucunda yapı elemanları üzerinde yerdeğiştirmeler meydana gelmiştir. En yüksek yer değiştirme değeri temel kolon birleşim bölgesinde ve patlayıcıya yakın bir bölgede oluşmuştur. Analiz sonu yer değiştirme görüntüsü Şekil 4.153.'te verilmiştir. Kolondaki parçalanmaya bağlı olarak orta kolonun en alt bölgesinde yüksek bir yer değiştirme değeri görülmektedir. Yer değiştirme diyagramından orta kolonun tamamen etkisini kaybettiği görülmektedir.



Şekil 4.153. AS16-470-40/35 yer değiştirme görünümü

4.3.16.4. 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. 16. analizdeki toplam enerji- zaman grafiğı Şekil 4.154.'te verilmiştir.



Şekil 4.154. AS16-470-40/35 toplam enerji-zaman grafiğı

TNT malzemenin yaydığı enerji ve yapı elemanları tarafından bu enerjinin ne kadarının sönmölediğı Çizelge 4.39.'da gösterilmiştir. C35 beton tarafından $6.97E+13$ uJ,

donatı tarafından $1.13\text{E}+12$ uJ, duvar tarafından $9.68\text{E}+13$ uJ, hava tarafından $3.60\text{E}+15$ uJ ve patlayıcı tarafından $1.73\text{E}+16$ uJ absorbe edildiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.39. AS16-470-40/35 için patlama sonrası sönümlenen total enerji değerleri

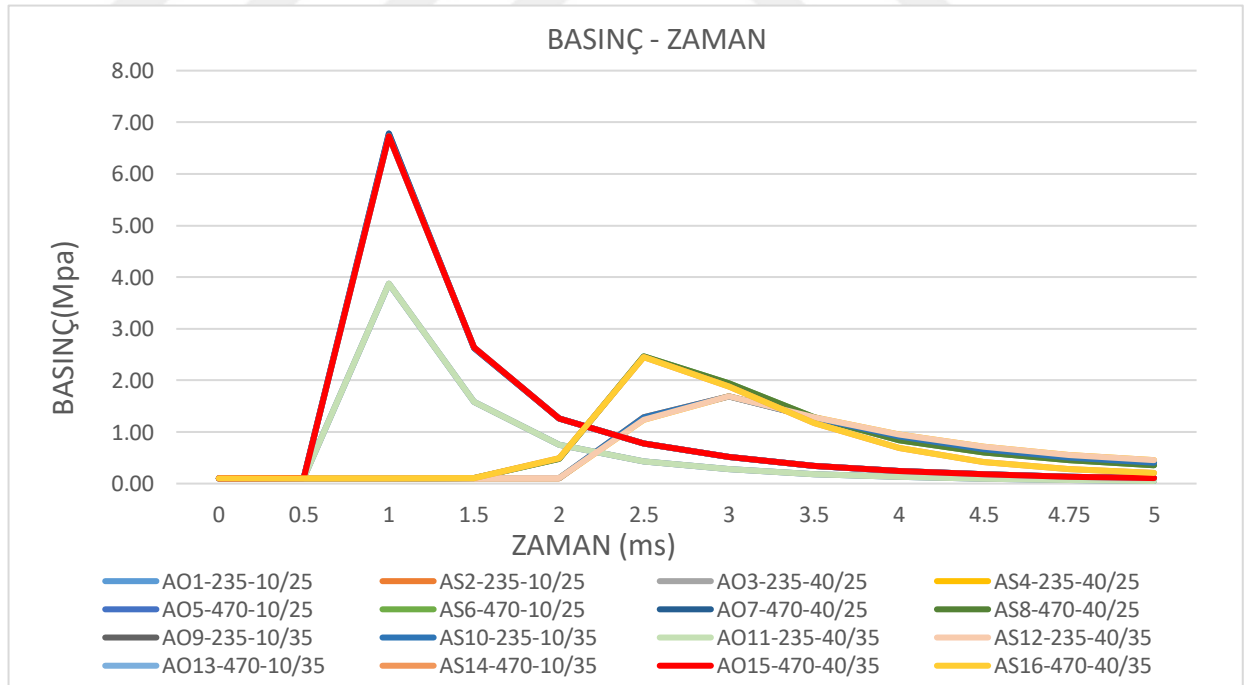
Malzeme	Enerji(uJ)
BETON	$6,97\text{E}+13$
DUVAR	$9,68\text{E}+13$
DONATI	$1,13\text{E}+12$
HAVA	$3,60\text{E}+15$
TNT	$1,73\text{E}+16$

4.4. Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.4.1. Patlama Senaryolarında Patlama Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

4.4.1.1. Okuma Noktası 2 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

16 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 2 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.155.'de verilmiştir.

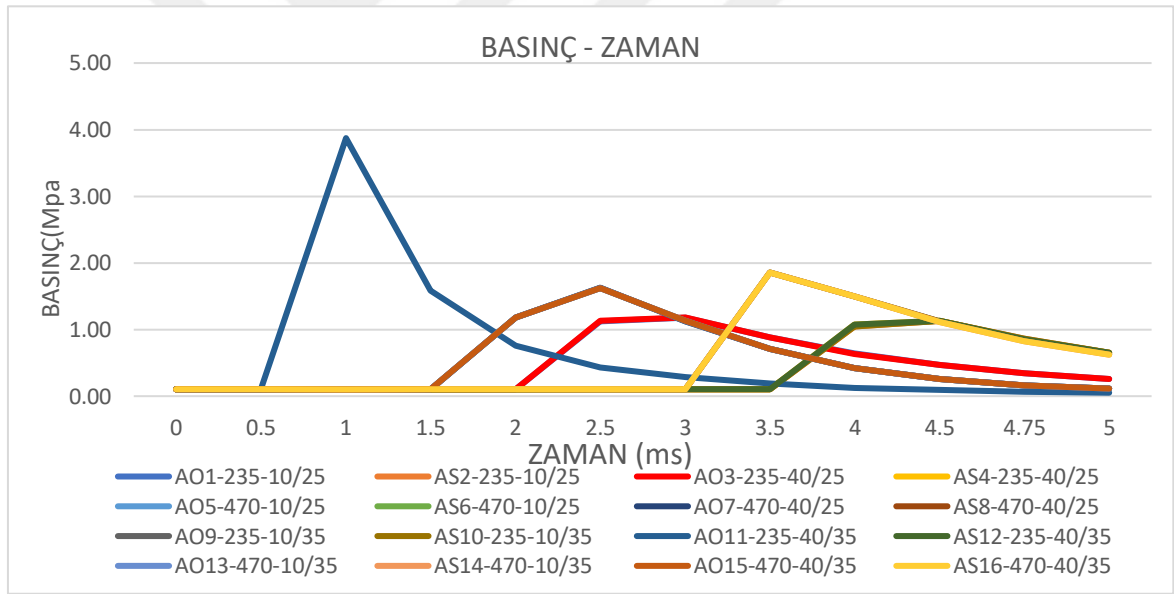


Şekil 4.155. 2 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Tüm patlama senaryolarının sonuçları incelendiğinde, 2 numaralı basınç noktasında oluşan en büyük basınç değeri yaklaşık 1 milisaniyede ve 6,78 MPa olarak AO5-470-10/25 ve AO7-470-40/25 analizinde elde edilmiştir. İkinci en büyük değer yine 1 milisaniyede 6,73 MPa olarak AO9-235-10/35, AO13-470-10/35 ve AO15-470-40/35 analizinde, ardından da 1 milisaniyede 3,87 MPa olarak AO11-235-40/35 analizinde elde edilmiştir. Patlayıcı ağırlığının arttığı durumlarda büyük basınç değerleri gözlenmiştir. Dikkate alınan parametreler altında eksenel yük etkisinin artmasının basınç değerini etkilemediği görülmüştür. 2 noktasında en büyük basınç değerinin elde edildiği durum patlayıcı konumunun orta kolonun karşısında olduğu durumlardır.

4.4.1.2. Okuma Noktası 3 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

16 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 3 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.156.’da verilmiştir.

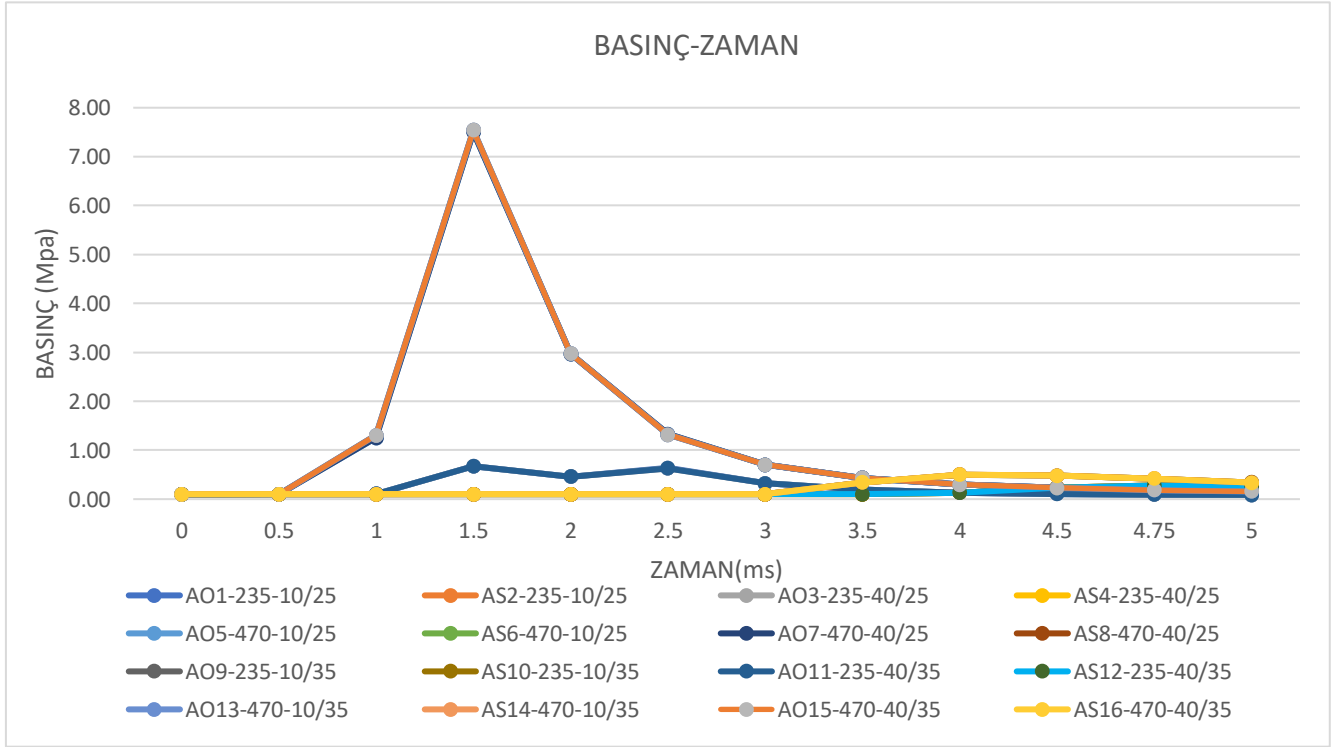


Şekil 4.156. 3 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Patlama senaryolarının sonuçları incelendiğinde 3 numaralı basınç noktasında oluşan en büyük basınç değerine yaklaşık 1 milisaniyede ve 3,87 MPa olarak AO11-235-40/35 analizinde okunmuştur. İkinci en büyük değer 3,5 milisaniyede 1,86 MPa AS16-470-40/35 ve AS6-470-10/25 analizlerinde, üçüncü en büyük değer 2,5 milisaniyede 1,63 MPa AO5-470-10/25 ve AO7-470-40/25 analizlerinde okunmuştur. 3 noktasının en büyük değere ulaştığı an patlayıcı konumunun orta kolonun karşısında olduğu durumlardır.

4.4.1.3. Okuma Noktası 4 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

16 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 4 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.157.’de verilmiştir.

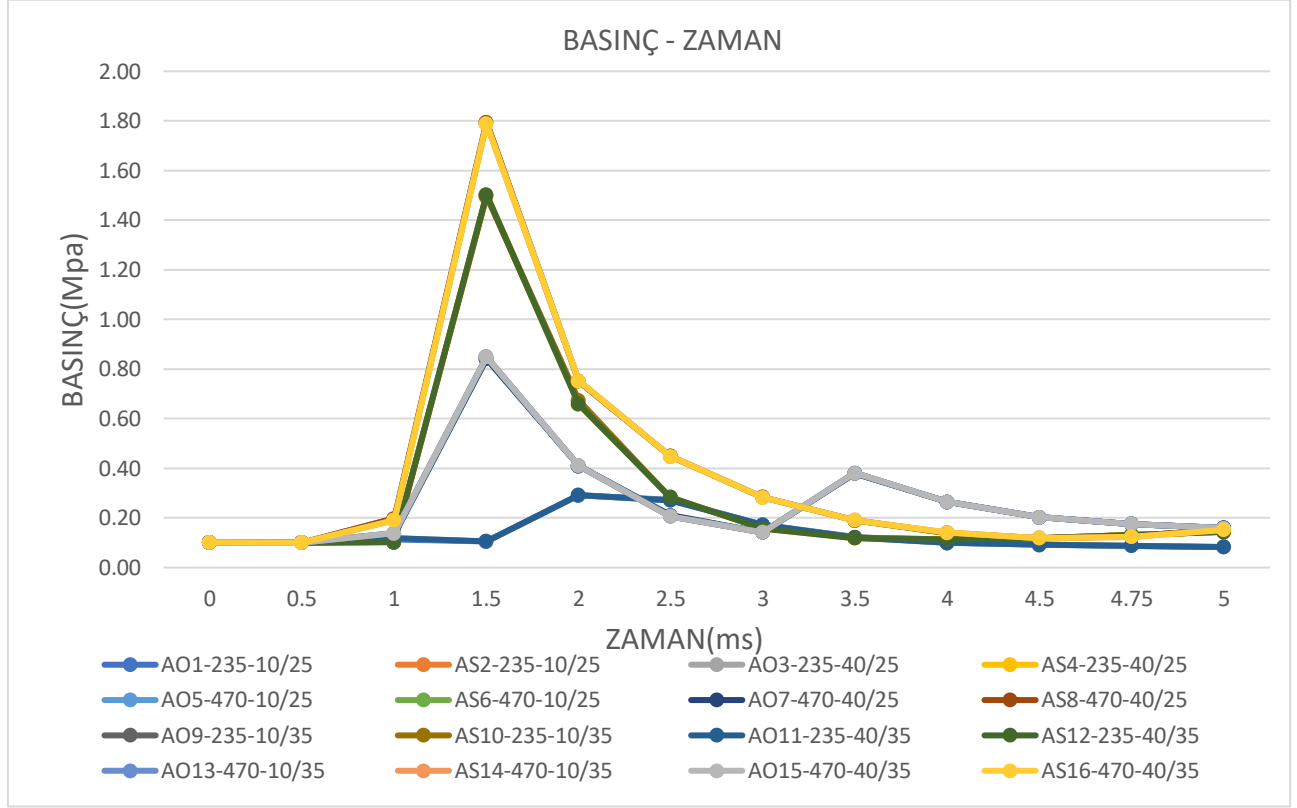


Şekil 4.157. 4 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Patlama senaryolarının sonuçları incelendiğinde 4 numaralı basınç noktasında oluşan en büyük basınç değerine yaklaşık 1,5 milisaniyede 7,54 MPa olarak AO9-235-10/35, AO13-470-10/35 ve AO15-470-40/35, ikinci en büyük değer ise 7,5 MPa olarak AO5-470-10/25 ve AO7- 470-40/25 analizlerinde, üçüncü en büyük değer ise 1,5 milisaniyede 0,67 MPa olarak AO1-235-10/25, AO3-235-40/25 ve AO11-23040/35 analizlerinde okunmuştur. 4 numaralı okuma noktasında, patlayıcının orta kolunun karşısında yer aldığı durumlarda en büyük basınç değerleri elde edilmiştir. Patlayıcının sağ kolunun karşısında yer aldığı durumlarda, patlama noktasına uzak olması ve şok dalgası gelene kadar yapısal elemanlar ve hava tarafından sönmülenmesinden dolayı düşük basınç değerleri elde edilmiştir. En büyük basıncın okunduğu analizlerde eksenel kuvvet etkisinin artmasıyla basınç değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Beton sınıfının artması da 4 numaralı okuma noktasında elde edilen maksimum basınç değerine etki etmemiştir.

4.4.1.4. Okuma Noktası 5 için Basınç Değerlerinin Karşılaştırılması

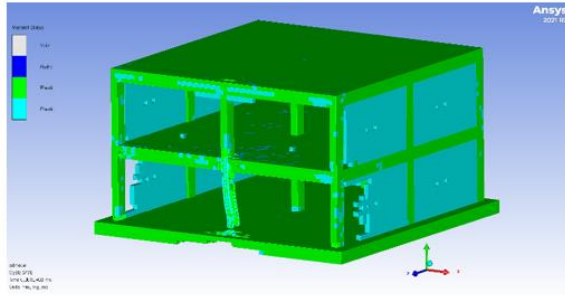
16 farklı patlama senaryosu sonuçlarından 4 numaralı okuma noktası için elde edilen basınç – zaman grafiği Şekil 4.158.'de verilmiştir.



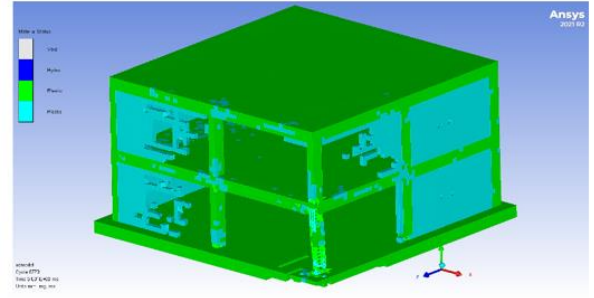
Şekil 4.158. 5 numaralı okuma noktası için tüm patlama senaryoları için basınç–zaman grafiği

Patlama senaryolarının sonuçları incelendiğinde 5 numaralı basınç noktasında oluşan en büyük basınç değeri yaklaşık 1,5 milisaniyede ve 1,80 MPa olarak AS6-470-10/25 ve AS8-470-40/25 analizlerinde okunmuştur. İkinci büyük değer yine 1,5 milisaniyede 1,79 MPa olarak AS14-470-10/35 ve AS16-470-40/35 analizlerinde, ardından da 1,5 milisaniyede 1,50 MPa olarak AS4-235-40/25, AS10-235-10/35 ve AS12-235-40/35 analizlerinde elde edilmiştir. 5 numaralı okuma noktasında patlayıcının sağ kolunun karşısında yer aldığı durumlarda en büyük basınç değerleri elde edilmiştir.

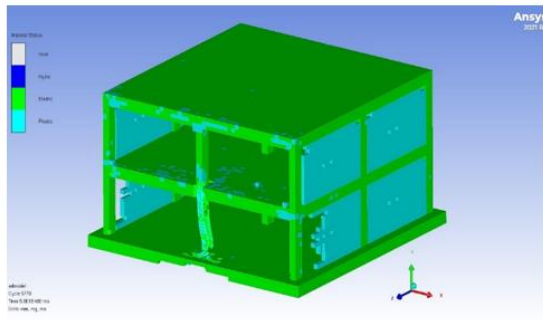
4.4.3. Tüm Patlama Senaryolarında Patlama Hasar Diyagramlarının Karşılaştırılması



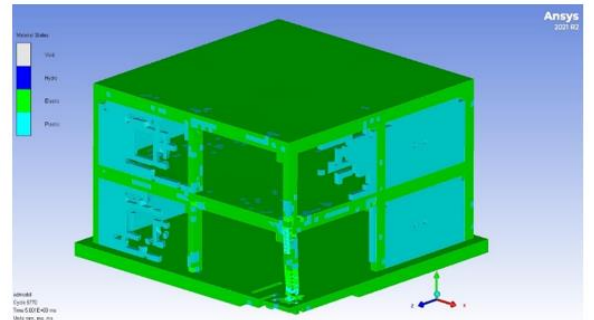
AO1-235-10/25



AS2-235-10/25

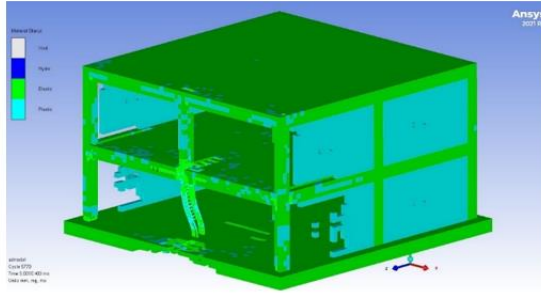


AO3-235-40/25

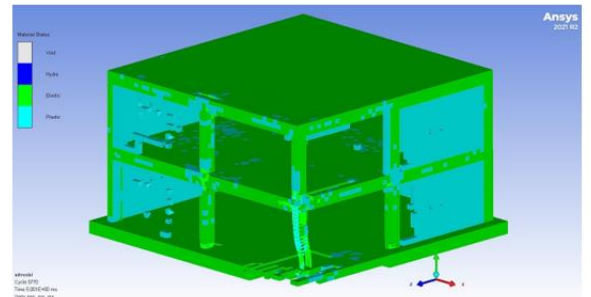


AS4-235-40/25

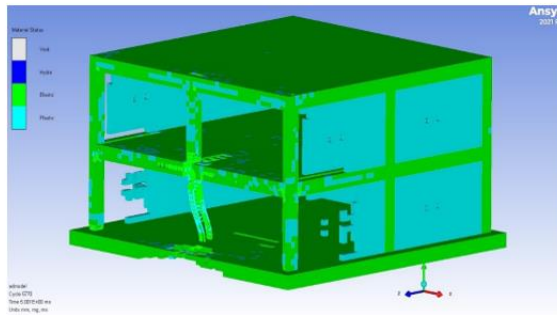
Şekil 4.159. Hasar diyagramları 1



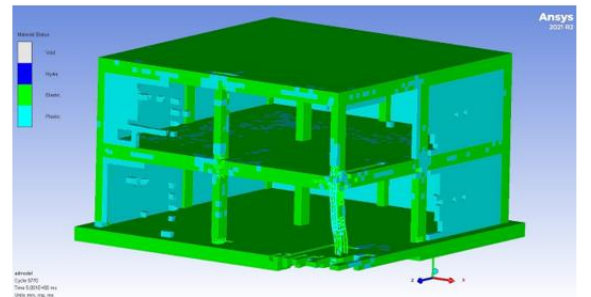
AO5-470-10/25



AS6-470-10/25

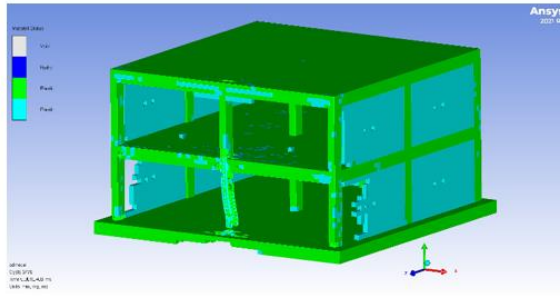


AO7-470-40/25

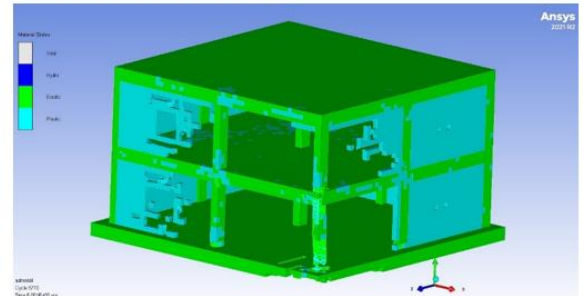


AS8-470-40/25

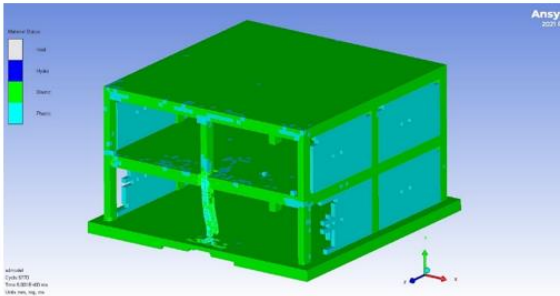
Şekil 4.160. Hasar diyagramları 2



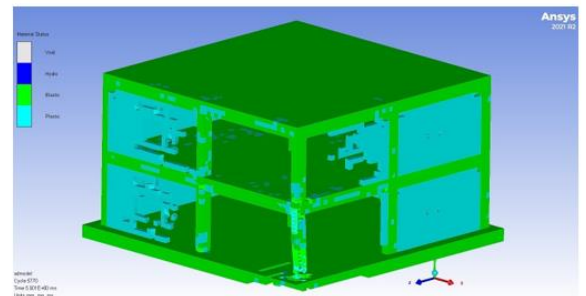
AO9-235-10/35



AS10-235-10/35

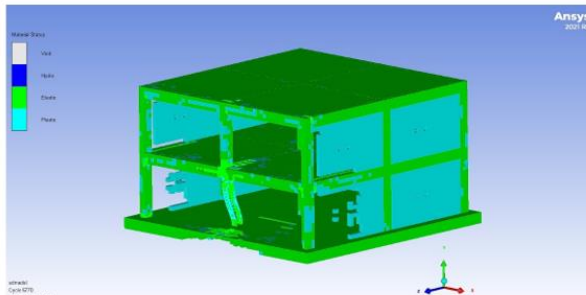


AO11-235-40/35

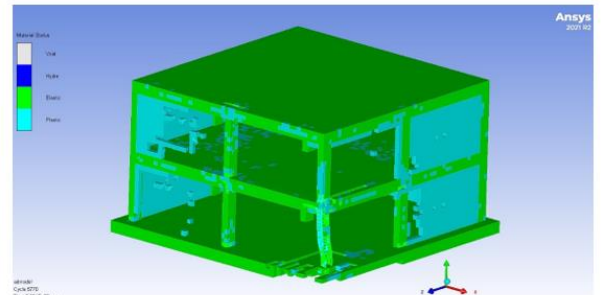


AS12-235-40/35

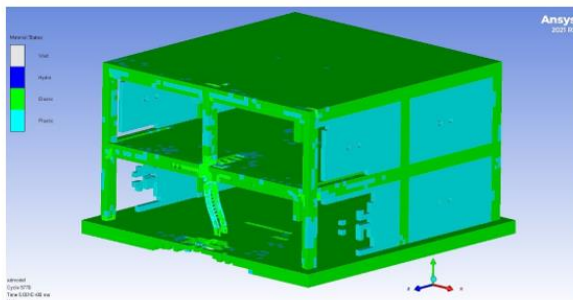
Şekil 4.161. Hasar diyagramları 3



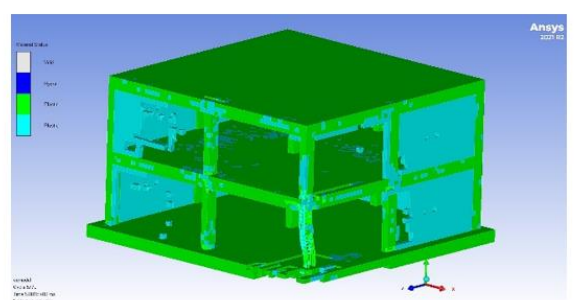
AO13-470-10/35



AS14-470-10/35



AO15-470-40/35



AS16-470-40/35

Şekil 4.162. Hasar diyagramları 4

Şekilde 4.159. , Şekilde 4.160. , Şekilde 4.161. ve Şekilde 4.162. 'de toplamda 16 adet analiz için elde edilen hasar diyagramları verilmiştir. Hasar diyagramlarında yapılan incelemeler sonucunda analizlerin bir kısmında eksenel yükün artması ile moment kapasitesinin arttığı fakat kapasite aşılmadığından dolayı plastik hasar oranının azaldığı, bazı analizlerde ise hasar oranının değişmediği görülmektedir. Ayrıca beton sınıfının değişmesinin yapıda oluşan plastik hasara bir etkide bulunmadığı dikkat çekmektedir.

4.5. Ampirik Formüller ve UFC 3-340-02 Değerlendirmesi

Bu bölüme kadar olan kısımda, TNT patlayıcısının iki katlı betonarme yapıya olan etkisi ve binanın patlama yükü karşısındaki davranışları ANSYS AUTODYN sonlu eleman yazılımı ile incelenmiş ve sonuçlar yazılım üzerinden değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise, çalışmanın 3. bölümünde açıklanan, araştırmacıların önerdiği ampirik formüller ve patlama davranışı üzerinde yapılan çalışmalarda bir standart olarak kabul edilen UFC 3-340-02 yönetmeliği ile elde edilen parametreler incelenerek bir kıyaslama yapılmıştır. Formülleri incelenen araştırmacılar Brode, Mills, Henrych, Kinney ve Graham, Sadovsky, Kingery ve Bulmash olup okuma noktalarında hesaplamalar yapılmıştır. Analiz modeli iki durum olarak incelenmiştir. Birinci durumda patlayıcı binanın önünde konumlanmıştır ve patlayıcı kütlesi 235 kg ve 470 kg olarak alınmıştır. İkinci durumda ise TNT ağırlıkları aynı olmak üzere patlayıcı sağdaki kolonun karşısında dikkate alınmıştır. Araştırmacılar ve UFC 3-340-02 yönetmeliğine göre hesaplanan basınç değerleri için 7 tane ölçüm noktası seçilmiş ve hesaplamalar o noktalara göre yapılmıştır.

Çizelge 4.41. 235 Kg patlayıcı için okuma noktalarına göre basınç değerleri (MPa) (1. Durum)

Okuma Noktası	1	2	3	4	5	6	7
Z	0,191	0,345	0,788	0,258	0,385	1,401	2,01
Brode	88,21	15,79	1,55	36,72	11,51	0,35	0,15
Newmark ve Hansen	97,08	18,02	1,81	41,85	13,14	0,42	0,19
Mills	251,03	42,64	3,57	102,16	30,62	0,66	0,24
Mays ve Smith	200	101,23	16,93	157,21	75,5	5,13	1,28
Henrych	17,62	7,88	2,6	11,75	6,77	1,27	0,83
Kingery ve Bulmash	38,02	11,22	2,02	20,48	8,94	0,62	0,29
Kinney ve Graham	16,75	7,39	1,64	11,35	6,2	0,47	0,2
Sadovsky	127,14	24,53	3,19	54,52	18,28	1,05	0,6
UFC 3-340-02	18	7	1,8	10	6,75	0,45	0,2
AO1-235-10/25	4.18	3.87	1,8	0.67	0.29	0	0
AO3-235-40/25	4.18	3.87	1,8	0.67	0.29	0	0
AO9-235-10/35	4.18	3.87	1.62	0.67	0.29	0	0
AO11-235-40/35	4.18	3.87	1.62	0.67	0.29	0	0

Çizelge 4.42. 470 Kg patlayıcı için okuma noktalarına göre basınç değerleri (MPa) (1. Durum)

Okuma Noktası	1	2	3	4	5	6	7
Z	0,141	0,254	0,581	0,19	0,283	1,032	1,481
Brode	217,32	38,36	3,58	89,93	27,83	0,76	0,31
Newmark ve Hansen	248,27	43,72	4,13	102,57	31,73	0,9	0,37
Mills	628,99	106,86	8,89	256,04	76,75	1,61	0,57
Mays ve Smith	333,65	174,94	34,88	264,9	133,58	11,68	3,2
Henrych	26,08	11,99	3,88	17,77	10,31	1,85	1,19
Kingery ve Bulmash	71,55	21,12	3,81	38,54	16,82	1,16	0,55
Kinney ve Graham	23,75	11,59	3	16,89	9,92	0,93	0,41
Sadovsky	307,37	56,85	6,44	129,55	41,85	1,83	0,96
UFC 3-340-02	21	11	3	17,5	9,5	0,85	0,42
AO5-470-10/25	36,43	6,78	1,63	7,5	0,84	0	0
AO7-470-40/25	36,43	6,78	1,63	7,5	0,84	0	0
AO13-470-10/35	35,95	6,73	1,62	7,54	0,85	0	0
AO15-470-40/35	35,95	6,73	1,62	7,54	0,85	0	0

Çizelge 4.43. 235 Kg patlayıcı için okuma noktalarına göre basınç değerleri (MPa) (2. Durum)

Okuma Noktası	1	2	3	4	5	6	7
Z	0,876	0,922	1,163	0,682	1,054	1,11	1,964
Brode	1,17	1,02	0,56	2,3	0,72	0,63	0,16
Newmark ve Hansen	1,37	1,20	0,67	2,67	0,85	0,75	0,2
Mills	2,61	2,25	1,14	5,51	1,51	1,3	0,26
Mays ve Smith	10,95	10,45	7,77	26,12	8,98	8,36	1,35
Henrych	2,27	2,13	1,6	3,14	1,8	1,69	0,86
Kingery ve Bulmash	1,63	1,46	0,91	2,74	1,11	1	0,31
Kinney ve Graham	1,32	1,19	0,71	2,2	0,89	0,79	0,21
UFC 3-340-02	1,3	1,2	0,9	2,2	0,8	1	0,21
AS2-235-10/25	0	1,69	1,13	0,28	1,5	0	0
AS4-235-40/25	0	1,69	1,13	0,28	1,5	0	0
AS10-235-10/35	0	1,69	1,13	0,28	1,5	0	0
AS12-235-40/35	0	1,69	1,13	0,28	1,5	0	0

Çizelge 4.44. 470 Kg patlayıcı için okuma noktalarına göre basınç değerleri (MPa) (2. Durum)

Okuma Noktası	1	2	3	4	5	6	7
Z	0,646	0,679	0,857	0,502	0,776	0,818	1,447
Brode	2,67	2,32	1,24	5,39	1,62	1,4	0,33
Newmark ve Hansen	3,09	2,69	1,45	6,18	1,88	1,64	0,39
Mills	6,48	5,57	2,79	13,76	3,74	3,2	0,61
Mays ve Smith	24,29	23,19	17,4	51	20,02	18,68	3,36
Henrych	3,37	3,16	2,34	4,71	2,65	2,48	1,22
Kingery ve Bulmash	3,06	2,76	1,7	5,15	2,09	1,88	0,58
Kinney ve Graham	2,45	2,22	1,38	3,92	1,7	1,52	0,44
Sadovsky	5,01	4,45	2,67	9,2	3,3	2,95	0,99
UFC 3-340-02	2,3	2,5	1,4	3,8	1,7	1,5	0,41
AS6-470-10/25	0	2,46	1,86	0,5	1,80	0	0
AS8-470-40/25	0	2,46	1,86	0,5	1,80	0	0
AS14-470-10/35	0	2,45	1,86	0,5	1,79	0	0
AS16-470-40/35	0	2,45	1,86	0,5	1,79	0	0

Çizelgeler incelendiğinde ANSYS Autodyn yazılımı ile elde edilen sonuçların literatürdeki önerilerle önemli derecede farklılıklar içerdiği görülmektedir. Ancak Z değerinin artmasıyla birlikte aradaki farkın azaldığı söylenebilir. 235 kg patlayıcı ağırlığı ile yapılan analizlere kıyasla 470 kg patlayıcı ağırlığı ile yapılan analizler nispeten ampirik ifadeler ile daha yakın sonuçlar vermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında; iki katlı betonarme yapıda, farklı TNT ağırlığı, konumu, beton sınıfı ve farklı kolon eksenel yükü parametreleri altında, patlayıcının infilak etmesi sonucunda yapı üzerinde oluşan etkiler araştırılmıştır. Patlama etkilerinin hesabında sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. Patlama katı modeli ANSYS Workbench yazılımında modellenmiş daha sonrasında hava akışkan modellemesi için ANSYS Autodyn yazılımıyla ilişkilendirilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

İki katlı betonarme yapı üzerinde toplam 16 adet analiz yapılmıştır. Faydalanılan 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. 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. Sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- 235 kg patlayıcı ile gerçekleştiren analizler incelendiğinde yapı 470 kg patlayıcı ağırlığı ile gerçekleştirilen patlamaya göre daha az hasar almıştır. Fakat bu ağırlıkta gerçekleşen bir patlama altında yapıdaki hasar da yapıyı kullanılamaz hale getirecek seviyededir. .
- Patlama esnasında oluşan enerji yapısal elemanlar (kolon, kiriş, döşeme, temel) ve yapısal olmayan elemanlar(duvar) tarafında sönümlenmektedir. Patlayıcı ağırlığının artması ile bu elemanların sönümlendiği enerji miktarı azaldığından dolayı yapıdaki hasar artmaktadır.
- Orta kolon karşısında ve sağ kolon karşısında patlayıcının bulunduğu durumda gerçekleştirilen 8 er adet analiz gerçekleşmiştir. Beton sınıfının değişmesinin yapıda oluşan plastik hasara ve yer değiştirmeye hiçbir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Patlayıcı ağırlığının fazla olduğu analizlerde basınç, yerdeğiştirme ve plastik hasar değerleri artmıştır. Patlayıcının karşısında yer alan kolonda donatı ve beton elemanlarda

parçalanmalar görülmüştür. Kolon kiriş birleşim bölgelerinde de ağır hasar oluşmuştur.. Eksenel yük etkisinin arttığı durumlarda basınç değerlerinde bir değişim gözlemlenmemiştir. Patlayıcı ağırlığının 235 kg olduğu durumlarda eksenel yükün artması ile beraber moment kapasitesi artmış fakat kapasite sınırı aşılmadığından plastik hasar miktarında azalma meydana gelmiştir. Patlayıcı ağırlığının 470 kg olduğu durumlarda ise eksenel yük oranının artmasının etkisi gözlenmemiştir.

5.2 Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında ileride yapılacak çalışmalara aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Elemanlardaki kesit boyutları ve donatı düzenleri çalışma kapsamında değişken olarak ele alınmamıştır. Bu değişkenlerin patlama davranışı üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- Bu çalışmada ele alınan aksine iç patlama etkileri incelenebilir.
- Eksenel yük etkisi bu çalışma kapsamında çekme kırılması bölgesinde olacak şekilde dikkate alınmış olup bu etkinin artırılarak daha yüksek eksenel yük etkisi altındaki patlama davranışının incelenmesi faydalı olabilir.
- Taşıyıcı sistem eleman yerleşimi asimetrik seçilerek yapı üzerinde burulma etkisinin oluşmasının etkisi incelenebilir.
- Bu teorik çalışmaların yanında deneysel çalışmalarla sonuçların doğrulanabilmesi için deneysel çalışmalar teşvik edilmeli ve desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- Altunışık A. C., Önalın F., Sunca F., 2021, Effects of Concrete Strength and Openings in Infill Walls on Blasting Responses of RC Buildings Subjected to TNT Explosive, *Iranian Journal of Science and Technology*, 45:2525–2554.
- Ağbaba B., 2019, Balastlı Demiryolu ve Balastsız Demiryolunun Ansys Programı Yardımıyla Analizinin Yapılması ve Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gazi Üniversitesi.
- Al-Zuhairi Alaa H. A., Qasim A. J., 2016, Response Of R.C. Barriers Subjected To Tnt Explosion Blast Loading, *Applied Research Journal*, 2(3), 125-133.
- Al-Juneed A., 2020, Patlama Yükleri Etkisindeki Betonarme Binaların Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- ANSYS Workbench, Swanson Analyses Systems, Ansys Inc. USA, 2021.
- ANSYS AUTODYN, Swanson Analyses Systems, Ansys Inc. USA, 2021.
- Astaneh- Asl A., Notes on Blast Resistance of Steel and Composite Building Structures, 2010, *University of California*, 1-90.
- Brode, H.L., 1955. Numerical solution of spherical blast waves, *Journal of Applied Physics*, American Institute of Physics, 26(6), 766-775.
- Cömert M., İlki A., 2009, Blast Resistance Assessment Of A Typical Public Building In Turkey, *International Conference UACEG*, 1-10.
- Cömert M., 2010, Betonarme Yapıların Patlamalar Karşısındaki Performanslarının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- 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%B1,zaman%20art%C4%B1%C5%9F%C4%B1%20ger%C3%A7ekten%20h%C4%B1z%C4%B1%20hesaplan%C4%B1r.> [Ziyaret Tarihi: 27 Ağustos 2022]
- Çayıroğlu İ., 2022, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Analiz (Ansys), Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Ekermen E. N., 2022, Patlayıcı ve Yüksek Patlayıcı Maddelerin Özellikleri, Sınıflandırılması ve Patlama Etkileri, https://www.kmo.org.tr/resimler/ekler/5d9f44cfbfd5a1a_ek.pdf [Ziyaret Tarihi: 13 Haziran 2022].

- Department of Defense., 2008. “Structures to resist the effects of accidental explosions.” UFC 3-340-02, Washington, USA.
- Draganic H., Varevac D. 2018, Analysis of Blast Wave Parameters Depending on Air Mesh Size, *Hindawi*, 3157457, 18.
- Erdil A., 2022, Dinamik Analizlerde Implicit ve Explicit Çözüm Metodu, <https://blog.tekyaz.com/implicit-ve-explicit-cozum-metodu/>. [Ziyaret Tarihi: 27 Ağustos 2022]
- Fairlie G.E., 1998, The Numerical Simulation of High Explosives using AUTODYN 2D & 3D. *Explo '98, Institute of Explosive Engineers 4th Biannual Symposium*, 1-13.
- FEMA 426, “To Migrate Potential Terrorist Attacks Against Buildings” 2011.
- Güler M. S., Şen S., 2015, Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler, *Ordu Üniversitesi Bilim Teknik Dergisi*, 5(1), 56-66.
- Godio M., Portal N. W., Flansbjer M., Magnusson J., Byggnevi M., 2021, Experimental And Numerical Approaches To Investigate The Out-Of-Plane Response Of Unreinforced Masonry Walls Subjected To Free Far-Field Blasts, *Rise Research Institutes Of Sweden*. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112328>
- Hacıfendioğlu K., Birinci F., 2009, Stochastic Dynamic Response Of Masonry Minarets Subjected To Random Blast And Earthquake-Induced Ground Motions, *The Structural Design Of Tall And Special Buildings*, 20, 669-678.
- Hansson H., Skoglund P., 2002, Simulation Of Concrete Penetration in 2D and 3D With The RHT Material Model, *Swedish Defence Research Agency*, 49.
- Hu G., Wu J., ve Li L., 2016, Advanced Concrete Model in Hydrocode to Simulate Concrete Structures under Blast Loading, *Hindawi Publishing Corporation Advances in Civil Engineering*, 13.
- 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*.
- Kar H., 2022, Patlayıcı Maddeler, Atatürk Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi Ders Notları, <http://www.mku.edu.tr/files/1062-a6949a7d-222f-4707-8fd3-987ed20f2441.pdf> [Ziyaret Tarihi: 13 Haziran 2022].
- Khan R., Farooq S. H., Usman M., 2019, Blast Loading Response of Reinforced Concrete Panels Externally Reinforced with Steel Strips, *Infrastructures Journal*, 4, 54. <http://dx.doi.org/10.3390/infrastructures4030054>
- Korkut S., 2019, Implicit ve Explicit Arasındaki Farklar, <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/11/implicit-ve-explicit-arasindaki-farklar/> [Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2022].

- Köksal O., Karaca Z., 2017, Patlatma Kaynaklı Yer Hareketi Etkisindeki Bitişik Nizam Yapıların Çarpışma Analizi, *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*.
- Kölemenoglu Ş., 2021, Betonarme Perdenin Patlama Etkilerine Karşı Lineer Olmayan Düzlem Dışı Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Ma, G., Hao, H. ve Zhou, Y., 2000. Assessment of Structure Damage to Blasting Induced Ground Motions, *Engineering Structures*, 22, 1378–1389.
- Önalın F., 2019, Patlama Yüküne Maruz Betonarme Binaların Dinamik Davranışlarının Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Philip N., George B., John T., Simon A. E., Jacob J. J., P S C., M J.K., 2019, Analytical Study On Scaling Of RC Beams Under Close-In Blast Loading, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(5), 442-445.
- Polat Ö., 2021, Mükerrer İç Patlama Yükleri Altındaki Betonarme Oda Davranışının Deneysel ve Teorik Olarak İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gazi Üniversitesi, 1-102.
- Saidou S. N., 2018, Patlama Yükünün Betonarme ve Yığma Binalara Etkisi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Shallan, O., Eraky, A., Sakr, T., & Emad, S., 2014, Response of Building Structures to Blast Effects, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 4(2).
- Şen N. 2013, Azit ve Nitro Grubu İçeren Organik Patlayıcı Maddelerin Termal Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi ve Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (Hplc) Kullanılarak Analiz Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, *Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ankara Üniversitesi.
- Şibil R., 2019, Farklı Geometriye Sahip Oksidasyon Hendeklerinin Hidrolik ve Hidrodinamik Davranışlarının Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile Analizi, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Toplu E., 2020, Sismik Yalıtımlı Yapılarda Patlama Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Toplu E., Kırtel O., 2021 Yapı Sistemlerinde Patlama Etkilerinin ve Patlama Güvenliğinin Araştırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25, 442-450.
- Toy A. T., Sevim B., 2016, Structural Response of Two-Storey Reinforced Concrete Building Under Blasting Effects, *CBÜ Fen Bil. Dergi*, 12(3), 419-426.

- Toy A. T., Sevim B., 2019, Blasting Response of a Two-Storey RC Building Under Different Charge Weight of TNT Explosives, *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 44:565-577.
- Toy A. T., 2022, Patlamaların Mühendislik Yapılarının Davranışlarına Etkisi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Turner, M. J., Clough, R. W., Martin, H. C. and Topp, L. J., 1956. Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures., *Journal of the Aeronautical Sciences*, 23, 805–823.
- Wang S., Yan L., Liang Q., Xu M., 2017, Research On RHT Constitutive Model Parameters Of Fiber Reinforced Concrete Based On Experiment and Numerical Simulation, *Advances in Engineering Research (AER)*, 135.
- Wu, C., Hao, H., Lu, Y. ve Sun, S., 2004. Numerical simulation of structural responses on a sand layer to blast induced ground excitations, *Computers & Structures*, 82, 799-814.
- Wu, C., Hao, H., 2005, Modeling Of Simultaneous Ground Shock And Airblast Pressure On Nearby Structures From Surface Explosions, *International Journal of Impact Engineering*, 31, 699–717.
- Wu, C., Hao, H. Ve Lu, Y., 2005, Dynamic Response And Damage Analysis Of Masonry Structures And Masonry Infilled RC Frames To Blast Ground Motion, *Engineering Structures*, 27, 323-333.
- Yandzio E., Gough M., 1999, Protection of Buildings against Explosions, Steel Construction Institute.
- <https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-37193326>, 2016. [Ziyaret Tarihi: 1 Aralık 2022].
- https://tr.wikipedia.org/wiki/2020_Hendek_havai_fi%C5%9Fek_fabrikas%C4%B1_patlamas%C4%B1, 2020. [Ziyaret Tarihi: 1 Aralık 2022].
- <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=27&RecID=309>, 2004. [Ziyaret Tarihi: 13 Mart 2023].
- <http://arsiv.ntv.com.tr/news/244717.asp>, 2003. [Ziyaret Tarihi: 13 Mart 2023].