

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPILARIN PATLAYICI İLE KONTROLLÜ YIKIMI İÇİN
SİMÜLASYON GELİŞTİRİLMESİ

Volkan TAVŞAN

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ
JÜRİ ÜYELERİ
Doç. Dr. Temel TÜRKER
Doç. Dr. Murat YAYLACI

RİZE-2021
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPILARIN PATLAYICI İLE KONTROLLÜ YIKIMI İÇİN SİMÜLASYON
GELİŞTİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ danışmanlığında, Volkan TAVŞAN tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 29/06/2021 tarihinde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Doç. Dr. Temel TÜRKER	
Üye	: Doç. Dr. Murat YAYLACI	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ	

Doç. Dr. Ahmet YANIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Kontrollü patlatma ile yapıların yıkımı için geliştirilmiş yazılımların az olması ve mevcut programların da pahalı olması nedeniyle bu çalışma kapsamında bir simülasyon programı oluşturulmuş ve bu sayede yapı modeli üzerinde uygulanan her adım sonrası ortaya çıkan yer değiştirmelerin kümülatif olarak hesaplanması sağlanmıştır. MATLAB ve SAP2000 programlarının birlikte çalıştırılmasıyla oluşturulan bu simülasyon programında yapının istenilen yöne yıkılması için en uygun yıkım tasarımı elde edilebilecektir.

Bu tezi hazırlamamda bana yardımcı olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ'e, Karadeniz Teknik Üniversitesi'ndeki hocalarım Doç. Dr. Temel TÜRKER ve Prof. Dr. Tayfun DEDE'ye, gerek yıkım planlarının temin edilmesi gerekse çimento silosunun patlatılma sürecindeki yardımları için başta Sayın Mehmet GÜLER olmak üzere tüm Ege Nitro çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

Volkan TAVŞAN

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Yapıların Patlayıcı ile Kontrollü Yıkımı için Simülasyon Geliştirilmesi” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 29/06/2021

Volkan TAVŞAN

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

YAPILARIN PATLAYICI İLE KONTROLLÜ YIKIMI İÇİN SİMÜLASYON GELİŞTİRİLMESİ

Volkan TAVŞAN

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ

Her gün çok sayıda bina kullanım ömrünü tamamlayarak yıkım için boşaltılmaktadır. Bu tarz riskli binaların fazla olması, gelişmiş yıkım tekniklerine olan gereksinim artırmıştır. Bu tekniklerden en hızlısı patlayıcı ile yapılan yıkımdır. Bu yıkım tekniği farklı yapılar üzerinde planlı olarak uygulandığında, geleneksel yıkım tekniklerine göre daha emniyetli, daha hızlı ve daha ucuzdur. Kontrollü patlatma ile yıkımın bu avantajlarının yanı sıra, yapının yıkılmaması veya istenilen yöne yıkılmaması gibi dezavantajları da mevcuttur. Yapıların patlayıcı ile kontrollü yıkımının en doğru şekilde planlanabilmesi için patlayıcı miktarlarının, yerlerinin ve patlatma sırasının doğru olarak belirlenmesi gerekir. Patlatmanın planlanmasında sonlu eleman modeli ile simülasyonlar yapılması gerçekçi bir tasarım için fayda sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, patlayıcı ile yıkılacak yapıların yapısal davranışını analiz ederek yıkım mekanizmasını gerçeğe yakın tahmin edecek bir simülasyon programı hazırlanmıştır. Bu program, patlayıcı ile yıkılacak betonarme bir çimento silosu üzerinde test edilmiştir. Silonun yıkım planı, simülasyon programı ile analiz edilmiş ve her adımda elde edilen yıkım yönü ile gerçek yıkım yönü karşılaştırılmıştır. Gerçek patlatma sonrasındaki sonuçlar simülasyon ile tahmin edilen çökme mekanizmasını doğrular niteliktedir. Bu çalışma sonuçları kullanılarak patlayıcıyla yıkım planlarının başarısını ve yapının yıkım mekanizmasını önceden tahmin edebilmek mümkün olacaktır.

2021, 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Patlatmalı Yıkım, Simülasyon Programı, Yapısal Analiz.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF SIMULATION FOR CONTROLLED DEMOLITION OF STRUCTURES WITH EXPLOSIVES

Volkan TAVŞAN

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate School of Postgraduate Education
Department of Civil Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali GÜRBÜZ**

Every day, many buildings are evacuated for demolition at the end of their useful life. The abundance of such risky buildings has increased the need for advanced demolition techniques. The fastest of these techniques is destruction with explosives. When this demolition technique is applied on different structures in a planned manner, it is safer, faster and cheaper than traditional demolition techniques. In addition to these advantages of demolition with controlled blasting, there are also disadvantages such as not being demolished the structure or not being collapsed in the desired direction. The amount of explosives, their locations and the order of detonation must be determined correctly in order to plan the controlled demolition of structures in the most accurate way. Making simulations with the finite element model in the planning of blasting will be beneficial for a realistic design.

In this thesis, a simulation program that will predict the mechanism of demolition in a realistic way by analyzing the structural behavior of structures planned to be demolished with explosives has been prepared. The program was tested on a reinforced concrete cement silo that will be demolished with explosives. The demolition plan of the silo was analyzed with the simulation program and the actual demolition direction was compared with the demolition direction obtained at each step. The results obtained after real blasting confirm the collapse mechanism predicted by simulation. By using the results of this study, it will be possible to predict the success of explosive demolition plans and the demolition mechanism of the structure in advance.

2021, 59 pages

Keywords: Explosive Demolition, Simulation Program, Structural Analysis.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti.....	2
1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı	4
1.4. Yıkımın Tanımı ve Yıkım Nedenleri	6
1.5. Yıkım Teknikleri.....	9
1.6. Patlayıcı Kullanılarak Yapıların Kontrollü Yıkımı.....	13
1.6.1. Patlayıcı ile Yapı Yıkım Teknikleri	13
1.6.1.1. Yapının Kendi Sınırlar İçinde Göçmesi.....	14
1.6.1.2. Yapının Belli Bir Yöne Devrilerek Yıkılması	15
1.6.1.3. Yapının Devrilirken Kendi İçerisinde Göçerek Yıkılması.....	17
1.6.1.4. Yapının Parçalı Olarak Yıkılması	17
1.6.1.5. Patlayıcı ile Yıkımın Avantaj ve Dezavantajları	18
1.6.2. Patlayıcı ile Yapı Yıkım Tekniğinde Kullanılan Ekipmanlar.....	19
1.6.2.1. Dinamitler.....	20
1.6.2.2. Plastik Patlayıcılar	20
1.6.2.3. Patlayıcı ile Yapı Yıkımında Kullanılan Ateşleme Sistemleri.....	20
1.6.2.3.1. Elektrikli Ateşleme Sistemleri	21
1.6.2.3.2. Elektriksiz Ateşleme Sistemleri (Non-Electric/NONEL).....	23
1.6.3. Yıkımda Kullanılacak Şarj Miktarının Hesaplanması	23
1.6.3.1. Patlatılacak Hacime ve Kütleyle Göre Patlayıcı Madde Miktarı Hesabı.....	23
1.6.3.2. Hauser'e Göre Patlayıcı Madde Miktarı Hesabı.....	24
1.6.4. Patlayıcı ile Yıkım Tekniğinin Uygulama Yöntemi.....	25

2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	27
2.1.	Geliştirilen Simülasyon Programı	27
2.2.	Program Yardımıyla Analiz Edilecek 10 Katlı Betonarme Bina	28
2.3.	Program Yardımıyla Analiz Edilecek Çimento Silosu	30
3.	BULGULAR	32
3.1.	10 Katlı Betonarme Binanın Program Yardımıyla Analizi	32
3.2.	Çimento Silosunun Program Yardımıyla Analizi	44
4.	TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	54
5.	ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR		57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Türkiye’de meydana gelen deprem sayısının yıllara göre dağılım grafiği.....	6
Şekil 2. Türkiye deprem tehlike haritası.....	7
Şekil 3. Türkiye’deki kentleşme oranının yıllara göre değişimi	8
Şekil 4. Mekanik aletler ile yıkım	9
Şekil 5. Çelik küre ile yıkım.....	9
Şekil 6. Beton makası ile yıkım.....	10
Şekil 7. Yüksek erişimli makine ile yıkım	10
Şekil 8. Çekme halatı ile yıkım	10
Şekil 9. Patlayıcı ile yıkım.....	11
Şekil 10. Denizli'deki yıkım kazası	11
Şekil 11. Malatya'daki yıkım kazası.....	12
Şekil 12. Yapının kendi içinde göçmesi için örnek ateşleme sırası.....	14
Şekil 13. Yapının kendi sınırları içerisinde göçmesi.....	15
Şekil 14. Yapının devrilmesi için örnek ateşleme sırası.....	15
Şekil 15. Yapının belli bir yöne devrilerek yıkılması.....	16
Şekil 16. Yapının devrilerek yıkılmasında uygulanabilecek kama tipleri.....	16
Şekil 17. Yapının devrilirken kendi içerisinde geçerek yıkılması.....	17
Şekil 18. Yapının parça parça patlatılarak yıkılması.....	17
Şekil 19. Gecikmesiz elektrikli kapsül kesiti.....	21
Şekil 20. Gecikmeli elektrikli kapsül kesiti.....	22
Şekil 21. Elektriksiz kapsül kesiti.....	23
Şekil 22. Yapıların yıkımı için hazırlanan simülasyon programının algoritması.....	27
Şekil 23. Kat ötelemesi	28
Şekil 24. 10 katlı betonarme bina modeli	29
Şekil 25. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapıya ait kat planı	29
Şekil 26. Gaziantep’teki 60 m’lik çimento silosunun tip kesiti.....	31
Şekil 27. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapının SAP2000 programı ile modellenmesi....	32
Şekil 28. Geliştirilen simülasyon programının arayüzü	33
Şekil 29. Yapı modelinin arayüz programına aktarılması	33
Şekil 30. Yapı modelinin arayüz programına aktarılması için seçilmesi	33
Şekil 31. Kontrol noktasının ve en büyük yer değiştirme değerinin atanması	34

Şekil 32. Taşıyıcı elemanların silinmesi için SAP2000 programının açılması	35
Şekil 33. Öncelik sırasına göre taşıyıcı elemanların yapı modeli üzerinden silinmesi ..	35
Şekil 34. Taşıyıcı elemanları silinmiş yapı modelinin analizinin gerçekleştirilmesi	36
Şekil 35. Modelde silinen taşıyıcı elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi	36
Şekil 36. İkinci patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli	37
Şekil 37. İkinci patlatma tasarımının analiz sonuçları.....	37
Şekil 38. Modelde silinen taşıyıcı elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi.	38
Şekil 39. Üçüncü patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli	39
Şekil 40. Üçüncü patlatma tasarımının analiz sonuçları.....	39
Şekil 41. Modelde silinen taşıyıcı elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi.	40
Şekil 42. Dördüncü patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli	40
Şekil 43. Dördüncü patlatma tasarımının analiz sonuçları	41
Şekil 44. Beşinci patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli	42
Şekil 45. Beşinci patlatma tasarımının analiz sonuçları	43
Şekil 46. Hedeflenen yöne ve yer değiştirmeye uygun yıkım tasarımının yapılması	43
Şekil 47. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapıya ait tasarım sonuç raporu.....	44
Şekil 48. Çimento silosunun iç ve dış kısımlarının modellenmesi.....	45
Şekil 49. Siloya ait mevcut kolon şeması	45
Şekil 50. Kontrol noktasının ve en büyük yer değiştirme değerinin atanması	46
Şekil 51. Kolon A1 ve B1'in boyutları ve donatı planı	46
Şekil 52. Kolon A2 – A4 –B2 –B4 boyutları ve donatı planı.....	47
Şekil 53. Kolon A3 – B3 boyutları ve donatı planı	47
Şekil 54. Perde duvarların kolona çevrilmesi ve deliklerin belirlenmesi	48
Şekil 55. Silo için patlayıcı yerleşim krokisi.....	48
Şekil 56. Kolon B1'de yapılacak değişiklikler ve oluşan kolon planı.....	49
Şekil 57. Yapı modelinin xz-yz doğrultularındaki görünüşü ve deformasyon şekli	49
Şekil 58. Modelde silinen elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi	50
Şekil 59. Yapı modelinin xz doğrultusundaki görünüşü ve deformasyon şekli	50
Şekil 60. Hedeflenen yöne ve yer değiştirmeye uygun yıkım tasarımının yapılması	51
Şekil 61. Patlatmalı yıkımı yapılacak siloya ait tasarım sonuç raporu	52
Şekil 62. Gaziantep'teki çimento silosunun yıkımına ait görüntüler	53

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Delik sıkılama katsayıları	25
Tablo 2. 10 katlı binaya ait özellikler.....	29
Tablo 3. Çimento silosuna ait özellikler	30



SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ASI	The Adaptively Shifted Integration
c	Özgöl Şarj Miktarı (kg/m ³)
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
D	Sıkılama Katsayısı
H	Yapı Yüksekliği (m)
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
L	Kullanılacak Patlayıcı Miktarı (kg)
M	Patlatılacak Nesnenin Kütlesi (kg)
MATLAB	Matrix Laboratory
NG	Nitrogliserin
NONEL	Elektriksiz Kapsül
PETN	Pentaeritritol tetranitrat
RDX	Cyclotrimethylene Trinitramine
SAP2000	Structural Analysis Program
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
V	Patlatılacak Nesnenin Hacmi (m ³)
q	Özgöl Patlayıcı Miktarı
w	Delik Etki Mesafesi (m)
Δ	Yapının Tepe Noktasında Oluşan Deplasman Değeri (m)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geçtiğimiz yıllar içerisinde ülkemizde inşası tamamlanan yapıların; kullanım ömürlerinin dolması, yürürlükte olan ilgili yönetmeliklerdeki şartları sağlamaması, depreme karşı yapısal yönden veya tasarım yönünden zayıflıklar içermesi gibi nedenlerin yanı sıra doğal afetler, savaşlar, kentleşme (nüfus artışı) gibi nedenlerden dolayı yenilenmesi veya yıkılması gerekmektedir. Bu tür yapıların geleneksel yıkım teknikleriyle yıkımı uzun sürede gerçekleştiğinden çevreyi rahatsız etmekte; ayrıca yüksek maliyet ve emniyetsiz çalışma şartlarını beraberinde getirmektedir. Kentsel dönüşüm kapsamında başlatılan yıkım faaliyetlerinin daha hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleşmesi için yeni yıkım teknikleri üzerinde araştırmalar yapılmış ve diğer yöntemlere göre daha çok avantaja sahip olan patlayıcı ile yıkım tekniği fikri ön plana çıkmıştır. Ancak patlayıcı ile yapı yıkım tekniği, geleneksel yıkım teknikleri ile karşılaştırıldığında avantajlara sahip olduğu kadar birçok dezavantaja da sahiptir. Yakın mesafedeki yapılara hasar verebilme, yıkımın tam olarak gerçekleşmemesi ve yıkım esnasında serbest kalan parçaların etrafa zarar verebilmesi başlıca risk durumlarıdır. Söz konusu risklerin gerçekleşmesi maliyeti büyük ölçüde arttırıp can ve mal kayıplarına neden olabileceğinden planlama aşamasının özenle hazırlanması, yıkıma ilişkin işlemlerin tecrübe sahibi kişiler tarafından gerçekleştirilmesi ve yıkım mekanizmasının mümkün olduğunca gerçeğe yakın tahmin edilebilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Yapıların patlayıcı ile kontrollü yıkımı için geliştirilmiş simülasyon programlarının az olması ve mevcut programların oldukça pahalı olması nedeniyle genellikle tecrübelerle bağlı uygulamalar yapılmakta ve bunun sonucunda istenmeyen durumlarla karşılaşılabilir. Ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde sonlu eleman yöntemi ile yapıların modellendiği ve bilgisayar ortamında patlatma tasarımlarının ortaya konulduğu görülmektedir. Bu süreçte, sonlu eleman modeli üzerinde patlatılacak taşıyıcı elemanlar seçilerek silinmekte ve yapının deformasyon şekli üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Değerlendirme sonucunda uygun olmayan bir yönelim olması durumunda başa dönülmekte ve süreç tekrarlanmaktadır. Oldukça zaman alan bu işlemlerin daha hızlı ve etkin bir şekilde yapılabilmesi bu anlamda oldukça önemlidir. Zaman kaybını önlemek ve yapının yıkım yönünü gerçeğe uygun şekilde belirlemek için bu çalışma kapsamında;

MATLAB ve SAP2000 programının birlikte etkileşim içinde çalışması sağlanarak bir program oluşturulmuştur. SAP2000 programında sonlu eleman modeli üzerinde patlatılacak taşıyıcı elemanlar seçilerek silinecek ve oluşturulan programda yapının deformasyon şekli adım adım incelenecektir. Bu sayede yapının hedeflenen yöne yıkılması için patlatılması gereken taşıyıcı elemanların sırası belirlenecek ve sonuç olarak en uygun yıkım tasarımı elde edilecektir. Oluşturulan program ile simüle edilen sistemin yıkım yönü, istenildiği gibi değil ise yapılacak işlem adımları geri alınabilecek ve yeni tasarım belirlenebilecektir. Bunun sonucunda yapının istenilen yöne yönelmesini sağlayacak patlatma tasarımı ortaya konulabilecektir.

1.2. Literatür Özeti

Kontrollü patlatma ile yapı yıkımı yönteminin başarı ile uygulanabilmesinde yıkım planının doğru hazırlanması ve yapısal davranışın sayısal yöntemlerle yeterli doğrulukta belirlenmesi oldukça önemli olup bu alanda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur.

Molin ve Lauritzen (1992) tarafından yapılan çalışmada, beton ve betonarme yapılarda patlayıcıların etkisiyle oluşan durumları incelenmiştir. Patlama anında açığa çıkan gaz basıncı, şok dalgaları ve titreşimlerin beton ve betonarme yapılarda oluşturduğu etkiler araştırılmıştır.

Kurukawa, Yoshida, Saito, Yumamoto ve Nakamura (1993) tarafından yapılan çalışmada, Japonya'da bulunan 6 katlı betonarme binanın yıkımında bazı yapı elemanlarının patlama sırasındaki durumu incelenerek bu yapı elemanlarına yerleştirilmesi gereken patlayıcı miktarı ve uzaklıkları hakkında bilgiler verilmiştir.

Kasai, Saito, Seki, Tomita ve Ishibashi (1993) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, Japonya'da bulunan 6 katlı betonarme binanın patlayıcı ile yıkımı için yıkım planı hazırlanmış ve yıkım için gerekli olan koşullar sağlanmıştır.

Sawada, Yamaguchi, Kobayashi, Nakajiku, Shibata ve Shindo (1993) tarafından yapılan çalışmada, Japonya'da bulunan 6 katlı betonarme binanın yıkımı için patlayıcıların gecikme aralıkları, patlayıcıların miktarları, titreşim ve gürültü seviyeleri hesaplanmış, binanın önceden planlandığı gibi yıkımı gerçekleştirilmiştir.

Isobe ve Toi (1998) tarafından yapılan çalışmada, ASI (The Adaptively Shifted Integration - Uyarlanabilir Şekilde Değiştirilmiş Entegrasyon) sonlu elemanlar metodu kullanılarak 5 katlı, 5 açıklıklı betonarme bir binanın mekanizma durumu incelenmiştir.

Bagasian, Dunn ve Chrostowski (1999) tarafından yapılan çalışmada, Florida'da Cape Canaveral Hava İstasyonu'ndaki dikey entegrasyon binası (çelik çerçeve yapısı) bilgisayar yardımı ile modellenmiş, patlayıcı ile yıkımı sonucu oluşan yer değiştirmeler ve mekanizma durumları incelenmiştir.

Görgün (2002) tarafından yapılan tez çalışmasında, yapıların patlayıcı ile yıkımında kullanılan malzemeler, hesap yöntemleri ve patlayıcı ile yapı yıkım teknikleri incelenmiştir.

Bahadır (2002) tarafından yapılan tez çalışmasında, 3 farklı yapının bilgisayar programı yardımıyla modellenmesi yapılarak yıkım esnasındaki davranışı incelenmiştir.

Erkoç, Sunu, Aldaş ve Özkazanç (2006) tarafından yapılan çalışmada, Yıldız Teknik Üniversitesi-Davutpaşa yerleşkesi içinde bulunan su kulesi incelenmiş ve sonrasında ise patlayıcı madde kullanılarak yıkılmıştır. Yıkım sırasında kulenin devinimi, önceden yapılan analizlere uyumlu olarak gerçekleşmiş; sadece beklenenin aksine, su deposu etkilenmeden sağlam kalmıştır.

Yılmaz (2006) tarafından çalışmada; patlatmalı yıkımı yapılacak yapı bilgisayar ortamında modellenerek mekanizma durumuna gelene kadar yıkımın her aşamasında yapı elemanlarına ait plastikleşme momentleri hesaplanmış ve iç kuvvet diyagramları incelenmiştir.

Griffin (2008) tarafından yapılan tez çalışmasında, kontrollü patlatma yolu ile yapı yıkımlarının bilgisayar destekli modellenmesi yapılmıştır. Modelleme ile patlama aralıkları ve malzeme özellikleri üzerinde düzenlemeler yapılması, yapıda yıkılma mekanizmasını etkileyebilecek taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının dikkate alınması gerektiği ortaya konulmuştur.

Lupoae ve Bucur (2009) tarafından kontrollü patlatma yolu ile yapı yıkımında bilgisayar modellemesi ile yapı elemanlarında meydana gelen gerilme ve yer değiştirmelerin yıkım sürecindeki değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmada ani moment kapasitesinin aşılması sonucu yıkım mekanizmasının tetiklendiği ve perde duvar altındaki yapı elemanlarının düşey yer değiştirmede etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Doğan, Uzal, Pehlivanoğlu ve İycil (2009) tarafından Türkiye'de Diyarbakır 8. Hava Üstü bünyesinde bulunan su kulesinin yıkımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucu su kulesinin istenilen yönde yıkımı sağlanmıştır.

Sikiwat, Breidt ve Hartmann (2009) tarafından yapılan çalışmada, patlayıcı ile yapı yıkımının bilgisayar ortamında basit modellenmesi yapılarak yıkılma mekanizması, temel

yapı elemanlarının davranışları ve yıkımın diğer yapılaşmalar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bahadır ve Açıkel (2009) tarafından yapılan çalışmada; patlayıcı ile yıkılacak yapı bilgisayar ortamında modellenmiş ve her yapı elemanının plastikleşme momentleri hesaplanmıştır. Çalışmada; yıkım yönü tespit edilerek hangi yapı elemanlarının patlatılacağına karar verilmiş, daha sonra plastikleşen kesitler tespit edilip yapı mekanizma durumuna gelene kadar işlem sürdürülmüş ve bilgisayar ortamında yapının yıkımı gerçekleştirilmiştir.

Özyurt, Özer, Karadoğan ve Kalaycı (2016) tarafından yapılan çalışmada; Edirne Kapıkule Gümrük Lojman Binası'nın patlayıcı ile yıkımı amaçlanmış; fakat devrilerek yıkılması planlanan yapı olduğu yere çökmüştür. Yapılan çalışmada, patlayıcı yerleştirilmeyen yapı elemanlarının yeterli hasar almadığı görülmüş, kat sayısının azlığı ve sıralı patlatma ateşleme süresinin kısa olmasından dolayı makineli yıkımın daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Özmen, Soyluk ve Anıl (2017) tarafından yapılan çalışmada, patlayıcı kullanılarak yıkılması planlanan binaların yapısal davranışının analizi ve yıkım sürecine yapısal hataların etkisi ortaya konulmuştur.

Anil, Chandrasekaran ve Boominathan (2020) tarafından yapılan çalışmada 17 katlı betonarme bir yapı bilgisayar ortamında modellenerek yapıya deprem ve patlatma kuvvetleri ayrı ayrı etki ettirilmiştir. Çalışmada, patlamaya bağlı titreşim nedeniyle meydana gelen kuvvetlerin deprem kuvvetlerinden daha az olduğu görülmüştür. Yapı deprem kuvvetlerini karşılayacak şekilde tasarlandığından, patlatma sonucunda yapıda küçük çatlaklar haricinde büyük hasar oluşmamış ve yapı patlatma kaynaklı yüklere dayanabilmiştir.

1.3. Tezin Amacı ve Kapsamı

Patlayıcı madde kullanılarak gerçekleştirilen yapı yıkımlarının artması ve bu süreçte karşılaşılan hatalar göz önüne alındığında, sürecin daha iyi yönetilebilmesi amacıyla bir simülasyon programının oluşturulmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yurt dışında Extreme Loading for Structure gibi gelişmiş ve pahalı profesyonel yazılımlar olmasına karşın ülkemizde bu amaçla kullanılabilecek bir yazılım olmaması, bu proje fikrinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Tasarlanan simülasyon programı; iki farklı

programın kombinasyonundan oluşup, yıkım sürecini aşamalı ve kümülatif değerlendirme imkanı sunacaktır.

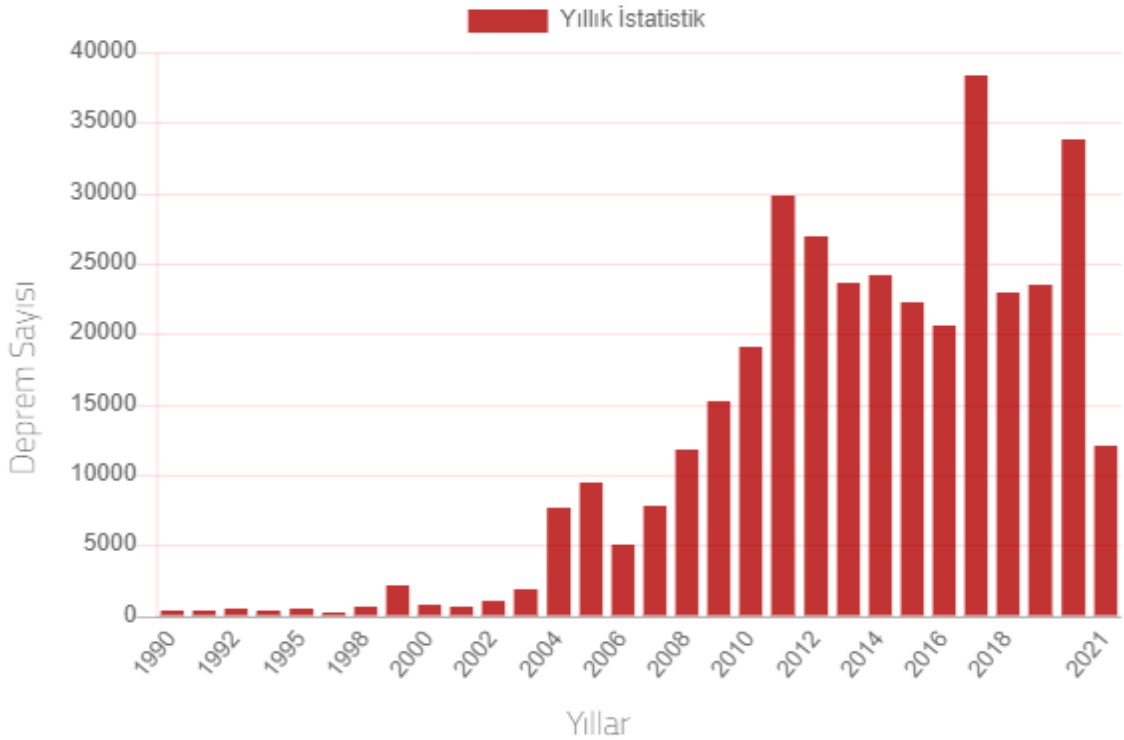
Yeryüzünde birçok yapının; ekonomik ömrünü doldurması, kentleşme nedeniyle gerekli ihtiyacı karşılayamaması, doğal afetler ve savaşlar gibi nedenlerden dolayı hasar görmesi gibi durumlar göz önüne alındığında bu yapıların yenilenmesi ya da yıkılması gerekmektedir. Ülkemizde bu tür yapıların yıkımı için geleneksel yıkım tekniklerinin kullanılması yıkım süresini ve maliyeti artırmaktadır. Avrupa ve Uzakdoğu ülkelerinde kullanımı yaygınlaşan, ülkemizde de son dönemlerde kullanılmaya başlanan patlayıcı ile yıkım tekniğinin; yıkım süresinin kısa olması ve yüksek yapılarda yıkım maliyetinin düşük olması nedeniyle diğer yıkım tekniklerinden bir adım önde olduğu görülmektedir. Ancak bu yıkım yönteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için gerekli statik hesaplamalar yapılmalı ve patlatma alanında uzman kişiler görevlendirilmelidir. Yapıdaki taşıyıcı elemanların patlatılma sırasının belirlenmesi kontrollü patlatma tekniğinin en önemli aşaması olup düzgün belirlenemediği takdirde yıkım istenildiği gibi sonuçlanamamaktadır. Örneğin; 6 Nisan 2018 tarihinde Danimarka'nın Vordingborg şehrinde 53 metre yüksekliğinde bir silo kontrollü bir şekilde yıkılmak istenmiş, fakat dev silo ters tarafa yıkılmıştır [URL-1]. 10 Kasım 2010 tarihinde ise ABD'nin Ohio eyaletinde Mad River Elektrik Santrali'nin kulesi, dinamitlerin patlatılmasının ardından planlanan yöne doğru değil, sağlam elektrik hatlarının üzerine yıkılmıştır [URL-2]. Yapıların patlayıcı ile kontrollü yıkımının en doğru şekilde planlanabilmesi için, bir başka deyişle bu tür durumlarla karşılaşmamak ya da bu riski en aza indirebilmek için modern mekanik sonuçları içeren, yıkım mekanizmasının mümkün olduğunca gerçeğe yakın tahmin edilebilmesini sağlayan bir yıkım simülasyon programına ihtiyaç vardır. Mevcut simülasyon programlarının az olması ve olan programların da pahalı olması, bu proje çalışmasının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır.

Bu projenin amacı; patlayıcı ile kontrollü yıkımı yapılacak yapıların planı, konumu, durumu, betonarme malzeme özellikleri ve komşu yapılarla etkileşimi dikkate alınarak, yıkımın en önemli aşaması olan, taşıyıcı elemanların patlama sırasının saptanmasını ve buna bağlı olarak yıkım yönünün gerçeğe uygun şekilde belirlenmesini sağlayan bir simülasyon programının geliştirilmesini sağlamaktır.

1.4. Yıkımın Tanımı ve Yıkım Nedenleri

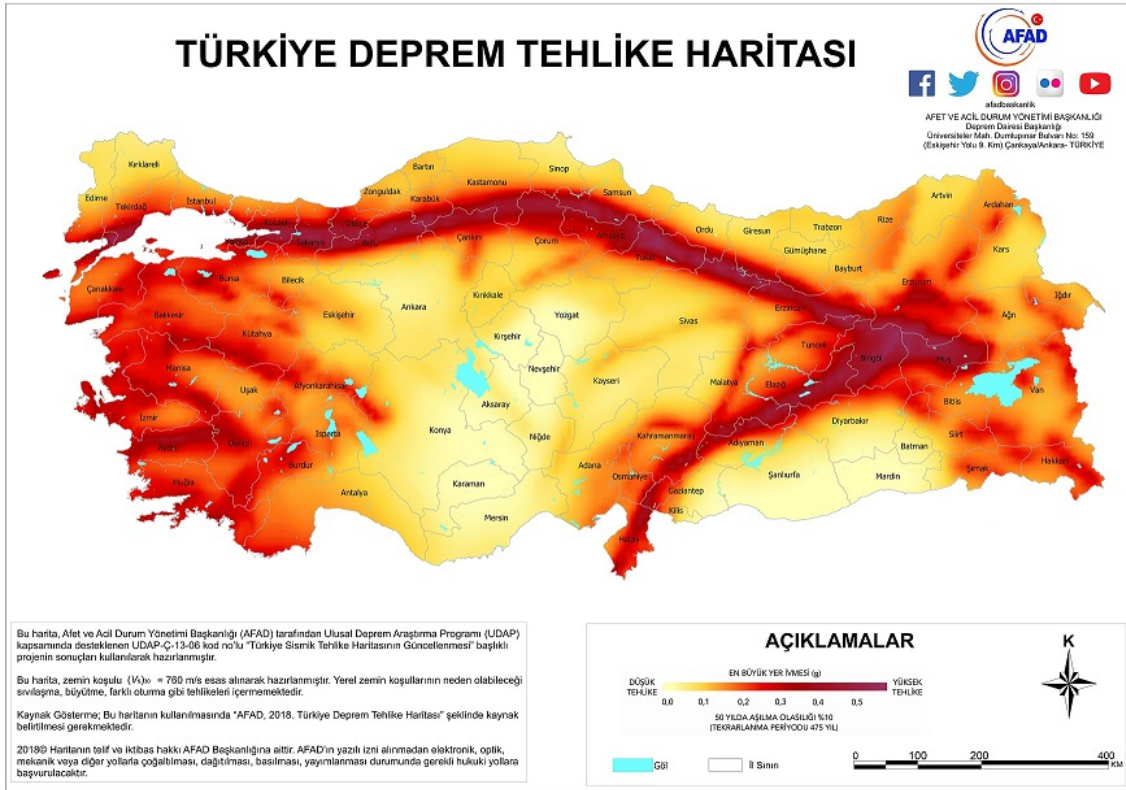
Yıkım; yürürlükte olan yönetmelikleri karşılama konusunda yetersiz, ekonomik ömrünün sonuna gelmiş veya doğal afetler sonucunda farklı düzeylerde hasar almış yapıların mühendislik ölçütleri doğrultusunda projelendirilip belirli araç ve teknikler kullanılarak ortadan kaldırılması işlemi olarak tanımlanabilir.

Ülkemizde mevcut olan bazı yapıların; kullanım ömürlerinin dolması, doğal afetler, savaşlar gibi nedenlerden dolayı da yenilenmesi ya da yıkılması gerekmektedir. Özellikle 2011 yılında Van’da meydana gelen depremden sonra, izinsiz - riskli yapıların yıkılması ve eski yapıların yenilenmesi yolunda gereken adımlar atılmıştır. Bunun neticesinde yapı yıkım tekniklerinin etkinliği üzerine araştırmalar artmış ve en uygun yöntemin belirlenmesine odaklanılmıştır. Mayıs 2012’de "Afet Riski Altındaki Alanların Yenilenmesi" adlı yeni bir yasa hazırlanmış ve ilgili mevzuatların yasalaşmasıyla birlikte Türkiye çapında kentsel dönüşüm projeleri başlamıştır (Cushman ve Wakefield, 2014). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan ve Türkiye’de meydana gelen deprem sayısının yıllara göre dağılımını gösteren grafik Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Türkiye’de meydana gelen deprem sayısının yıllara göre dağılım grafiği (AFAD)

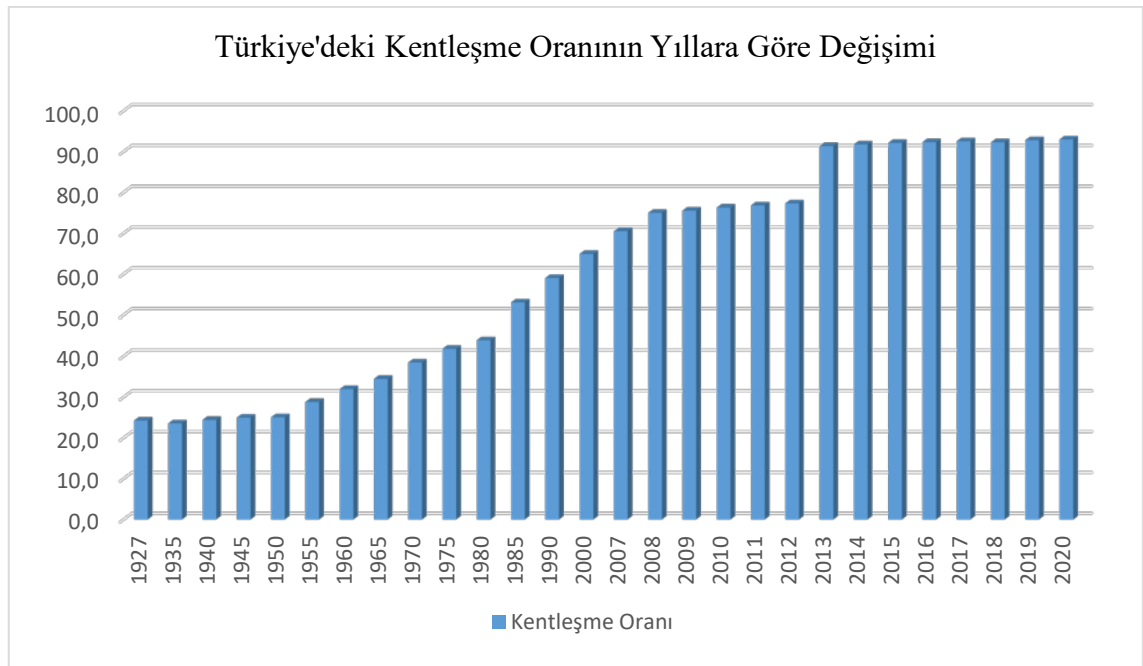
Ülkemizin büyük bir bölümünün en büyük yer ivme değerinin bulunduğu bölgelerde yer alması nedeniyle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından kentsel dönüşüm uygulamalarında yapı ve alan bazında risk içeren bölgelere öncelik verilmiştir. En son 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmi Gazete’ de yayımlanmıştır. Yeni harita 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir ve Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018, Türkiye Deprem Bölgesi Haritası)

Yeni haritada, bir önceki haritadan farklı olarak deprem bölgeleri yerine en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiş ve “deprem bölgesi” kavramı ortadan kaldırılmıştır. Deprem tehlike haritası risk haritası değildir. Risk haritası olması için bu tehlike haritası üzerinde yapıların, nüfusun deprem anında etkilenme durumunu bilmek, ekonomik kayıpları saptamak ve depremin çevreye vereceği zararları hesaplayıp bu zarar ve kayıp sonuçlarını gösteren harita oluşturmak gerekir [URL-3].

Kentsel dönüşüm ihtiyacını gerektiren sebepler arasında deprem, sel, heyelan vb. afetlerin yanı sıra nüfusun artması ve hızlı gelişen kentleşme faktörleri de göz ardı edilmemelidir. Sanayileşme ile artan iş imkânları; kırsaldan kent merkezlerine göçü artırmış, bununla orantılı bir şekilde kentsel yapılaşma da önemli oranda artmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri incelendiğinde 1950’de %25 olan kentleşme oranının; 1980’de %43.9, 2000’de %64.9, 2012’de %77, 2017’de %92.5, 2020’de ise %93 olduğu görülmüştür [URL-4]. Türkiye’deki kentleşme oranının yıllara göre değişimi Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye’deki kentleşme oranının yıllara göre değişimi (TÜİK)

Kent nüfusunda her geçen gün meydana gelen bu artış konut sıkıntısına neden olmaktadır. Artan konut sıkıntısı ile birlikte, eski konutların yenilenmesi veya yıkılması büyük önem kazanmaktadır. Hem kentleşme nedeniyle ortaya çıkan konut ihtiyacı, hem de doğal afetler sebebiyle hasar görmüş yapıların varlığından dolayı; gelecek 20 yıl içerisinde ülkemizde yaklaşık 6700000 konutun yıkılıp yeniden yapılacağı öngörülmekte olup, bu da yıllık ortalama 335000 binanın yıkılıp yeniden inşa edilmesi gerektiği anlamına gelmektedir (Cushman ve Wakefield, 2014).

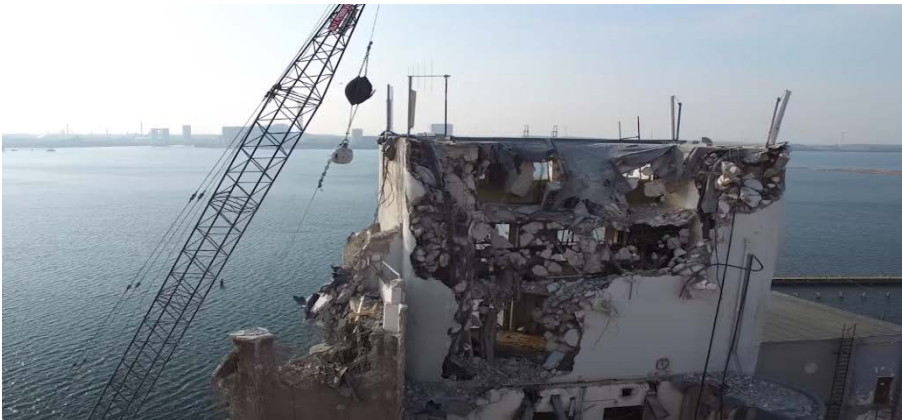
1.5. Yıkım Teknikleri

Ülkemizde başlatılan kentsel dönüşüm faaliyetleri kapsamında; eski ve yetersiz yapıların yıkılması veya yenilenmesinin daha etkin bir şekilde devam edebilmesi için birçok çalışma yapılmış ve yeni teknikler araştırılmıştır. Günümüzde yapıların tamamen ya da kısmi yıkımı için kullanılan teknikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Lauritzen ve Petersen, 1991; Görgün, 2002):

- Mekanik aletler yardımıyla ezerek veya kırarak parçalama ile yıkım (Şekil 4),
- Vince bağlı çelik küre yardımıyla yapıya vurarak parçalama ile yıkım (Şekil 5),
- Yüksek erişimli ve makaslı makineler ile yıkım (Şekil 6 ve Şekil 7),
- Çekme halatı ile yıkım (Şekil 8),
- Patlayıcılar ile kontrollü yıkım (Şekil 9),
- Kat eksiltme yöntemiyle yıkım.



Şekil 4. Mekanik aletler ile yıkım



Şekil 5. Çelik küre ile yıkım



Şekil 6. Beton makası ile yıkım



Şekil 7. Yüksek erişimli makine ile yıkım



Şekil 8. Çekme halatı ile yıkım



Şekil 9. Patlayıcı ile yıkım

Yapıların geleneksel yıkım teknikleri (çelik küre, balyoz, ekskavatör kepçesi ile vb.) ile yıkımının uzun sürede gerçekleşmesi; çevreye rahatsızlık vermekte, bunun yanı sıra yüksek maliyet ve emniyetsiz çalışma şartlarını beraberinde getirmektedir. Yeni tekniklerin araştırılmaya başlanmasındaki nedenlerden bir diğeri de, bu tekniklerin çevre ve çalışanlar üzerinde önemli derecede olumsuz etkilere sahip olabilmesidir. Özellikle de yapıların geleneksel teknikler ile yıkımının tecrübesiz, bilgisiz ve deneyimsiz kişiler tarafından yapılması durumunda bazen çok tehlikeli sonuçlara yol açmaktadır (Jimeno vd, 1995). 23 Kasım 2017’de Denizli’de Üçgen Çarşısı’nda yıkımı yapılan bloğun üstündeki bacanın, ekskavatörün üzerine devrilmesi (Şekil 10) [URL-5] ve 8 Ocak 2017’de Malatya’nın Battalgazi ilçesinde 6 katlı binanın yıkım sırasında iş makinesinin devrilmesi (Şekil 11) [URL-6] bu tehlikeli sonuçlara örnek gösterilebilir.



Şekil 10. Denizli’deki yıkım kazası



Şekil 11. Malatya'daki yıkım kazası

Yıkım endüstrisi için geliştirilen birçok teknik olmasına rağmen yıkım işi için en uygun şartları sağlayan tekniğin seçilmesi gerekir. Bir yıkım işi için kullanılacak en uygun tekniğin seçilmesinde;

- Yıkım işinin maliyeti ve yıkım işine ayrılan süre,
- Yıkım işinin kısmi ya da tamamen olup olmadığının tayini,
- İş makinelerinin çalışabileceği alan kapasitesinin yeterli olup olmadığının tayini,
- Yıkılacak yapıda kullanılan malzemenin kalitesi,
- Yıkılacak yapının veya yapısal elemanların geometrisi,
- Yıkılacak yapının boyutu ve konumu,
- Yıkılacak yapının çevresi ve trafik durumu,
- Yapının inşa edildiği zeminin özellikleri,
- Yapının taşıyıcı sistemi,
- Ekipmanların temini,
- Yıkım tecrübesi,
- İş sağlığı ve güvenliği (İSG) tedbirleri,
- Tehlikeli madde varlığı,
- Yıkım işinin güvenliği,
- İzin verilen rahatsızlık düzeyi (Gürültü, toz ve titreşim düzeyleri),
- Yıkım sonrasında oluşan molozun tekrar kullanımı,
- Ulaşım ve katı atığın depolanması gibi faktörler göz önüne alınmaktadır (Elliot ve Woolf, 2001; Görgün, 2002). Bu faktörlerden en önemlilerinin; yıkılacak yapının konumu, boyutları ve yıkım maliyeti olduğu söylenebilir.

Ülkemizde kentsel dönüşüm kapsamında devam eden faaliyetlerin hızlı ve etkin devam edebilmesi için patlayıcı ile yıkım tercih edilmelidir.

1.6. Patlayıcı Kullanılarak Yapıların Kontrollü Yıkımı

Patlayıcı ile yıkım tekniğinde amaç; yapının statik dengesini bozulmasını sağlayarak yapının ağırlık merkezini hareket ettirmektir. Bu doğrultuda yapının alt katlarına ya da temele yakın bölgelere patlayıcı yerleştirilerek yapının taşıyıcı elemanlarından bazıları tahrip edilir ve yapının statik dengesi bozulması sağlanır. Böylece yapı harekete başladığında diğer taşıyıcı elemanlar artan kuvvetler etkisiyle taşıyıcı özelliğini kaybeder ve yapının yıkılması sağlanır (Olofsson, 1980). Bu yıkım tekniğinde yapının fiziksel ve statik özellikleri iyi analiz edilmelidir. Daha sonra patlatılacak elemanlarda delik çapı ve yeri hesaplanmalı; kullanılacak ateşleyici çeşidi, patlayıcı madde cinsi ve miktarı belirlenmelidir. Bu konuda uzman kişilerin edindiği tecrübelerle dayanarak her yapı için optimum patlatma tasarımı ve ateşleme dizaynı farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar; yapı malzeme özellikleri, yıkım amacı, yapının ve çevresindeki doğal/yapay yapıların konumu ve geometrisinden kaynaklanmaktadır (Olofsson, 1980; Özyurt, 2013). Patlatma tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer iki unsur; şarj miktarı ve ateşleme sırasıdır. Yanlış belirlenmiş şarj miktarı ve ateşleme sırası, yıkımın istenilen şekilde gerçekleşmesine engel olabilir ya da yıkım maliyetini arttırabilir. (Olofsson, 1980; Dowding, 1996; Özyurt, 2013). Patlayıcı yerleştirilecek taşıyıcı elemanların seçimi, delik geometrisi dizaynı, patlayıcı tipi ve miktarının seçimi yıkım alanında uzman personeller tarafından yapılmalıdır. Uzman personel; inşaat mühendisi, geoteknik mühendisi, jeofizik mühendisi ve patlatma mühendisinden oluşmalıdır (Doğan vd., 2009).

1.6.1. Patlayıcı ile Yapı Yıkım Teknikleri

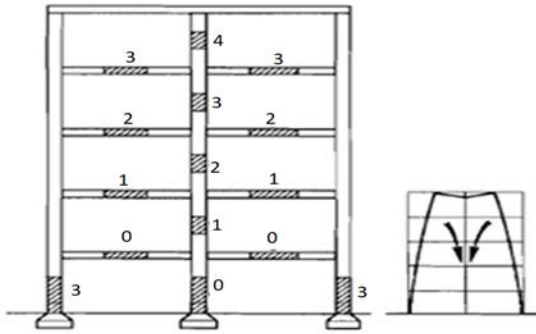
Kontrollü patlama ile yıkımda yapının parçalanması, katların birbirleri ve zemin ile olan çarpışması ilkesine dayanır. Patlayıcılar, yapıya yalnızca düşme ivmenin verilmesi ve göçme için tasarlanan mekanizmanın gerçekleştirilmesi için kullanılır (Görgün, 2002). Bu teknikte yapının patlatma esnasındaki devrilme yönüne bağlı olarak uygulamada dört farklı teknik bulunmaktadır. Bu teknikler şu şekildedir (Koca, 2006) :

- Yapının kendi sınırları içerisinde yıkılması,
- Yapının belli bir yöne doğru (yana) devrilerek yıkılması,
- Yapının devrilme mesafesini kısa tutmak şartıyla belli bir yöne devrilirken kendi içinde de yıkılması,
- Yapının parçalı olarak patlatılarak yıkılması.

Patlayıcı ile yıkım şekli; yapının geometrisi, yapının özellikleri, yapının konumu, yapı çevresindeki trafik ve alt yapının durumu, yapının çevresindeki doğal/yapay yapıların varlığı, yapı çevresinde yıkım için gerekli büyüklükte boş bir alan bulunup bulunmadığı, amaçlanan maliyet ve yıkım sonuçlarına göre farklılık gösterir. Bu incelemelerin yapılmasından sonra yapının yıkılması için yukarıda belirtilen tekniklerden birisi seçilebilir.

1.6.1.1. Yapının Kendi Sınırları İçinde Göçmesi

Yapının kendi sınırları içinde göçmesi hedefleniyorsa ateşleme sırası ilk olarak yapının en iç bölgesindeki taşıyıcı elemanlardan başlar ve milisaniye gecikme elemanları yardımıyla kenar bölgelerde bulunan taşıyıcı elemanlara doğru ilerlemektedir (Özyurt, 2013). Şekil 12’de bu teknik için örnek bir ateşleme sırası gösterilmiştir.



Şekil 12. Yapının kendi içinde göçmesi için örnek ateşleme sırası (Jimeno vd., 1995)

Bu teknikte yapının stabilitesi zayıflatıldığı için bir çökme meydana gelir. Bu çökme ile, patlatılmayan kısımlar da birbirine ve yüzeye çarparak kırılır (Görgün, 2002). Kontrollü yıkımı planlanan yapının çevresinde başka yapılar mevcut ise, bir başka deyişle yıkım için gerekli büyüklükte boş bir alan yoksa bu tekniğin tercih edilmesi daha uygundur. Yapının kendi sınırları içinde yıkılmasının başarılı bir şekilde

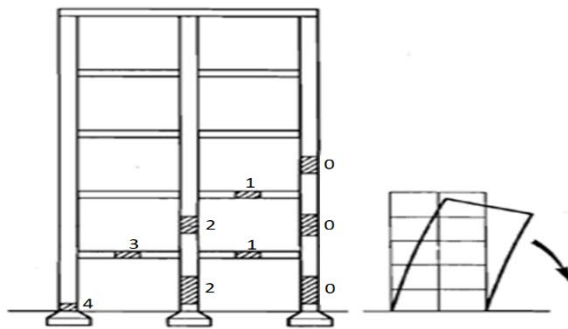
gerçekleştirilebilmesi için yapının yıkım sırasındaki davranışı simule edilmelidir. Yapılan planlama sonucunda, yapının kendi sınırları içinde yıkılabilesine olanak sağlayan bir tasarım elde edildiğinde patlatma işlemine geçilebilir. Şekil 13'te bir yapının kendi içinde göçmesi adım adım gösterilmiştir.



Şekil 13. Yapının kendi sınırları içerisinde göçmesi

1.6.1.2. Yapının Belli Bir Yöne Devrilerek Yıkılması

Yapının belli bir yöne devrilerek yıkılması, yapının yıkım yönünde bulunan taşıyıcı elemanların patlatılması sonucu değişen ağırlık merkezinin etkisi ile gerçekleşmektedir. Bu teknikte ateşleme sırası, devrilme yönünde bulunan taşıyıcı elemanlardan başlayıp gecikmeli olarak binanın iç kısmında bulunan taşıyıcı elemanlara doğru ilerlemektedir (Özyurt, 2013). Şekil 14'te bu teknik için örnek bir ateşleme sırası gösterilmiştir.



Şekil 14. Yapının devrilmesi için örnek ateşleme sırası (Jimeno vd., 1995)

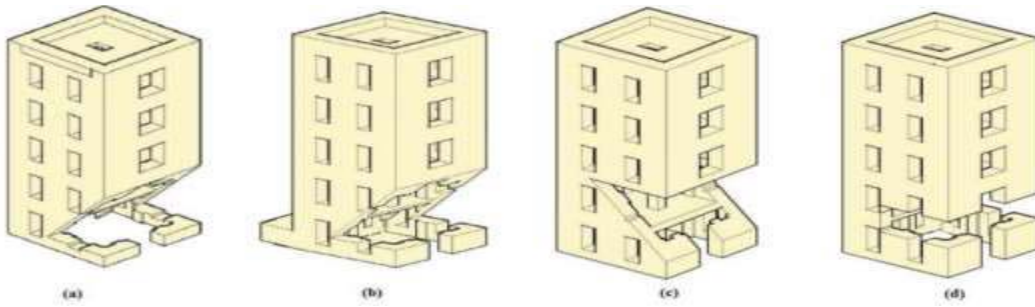
Kontrollü yıkımı planlanan yapının çevresinde yıkım için gerekli boş alan bulunması durumunda bu tekniğin tercih edilmesi daha uygundur. Yapının parçalanması, yapının devrilerek yere çarpması ile sağlandığı için bu teknikte kullanılan patlayıcı miktarı diğer tekniklere göre daha azdır (Şimşir ve Köse, 1996)

Yapının devrilmesi için yapı ağırlık merkezi izdüşümünün yapı alanının dışına çıkması gerekir. Patlatma sonrasında yapı ağırlık merkezi izdüşümü yapı alanı dışına çıkmadığında yan yatsa bile devrilmeyecektir. Bu durumun yaşanmaması için yapının statik özellikleri ve ağırlık merkezi titiz bir çalışma ile belirlenmelidir (Koca, 2006). Ayrıca yıkım esnasında meydana gelebilecek taş savrulması, titreşimler, toz ve hava şokunun çevreye etkisi hesaplanmalı, bu durumlara karşı gerekli önlemler alınmalıdır. Bir yapının yana devrilmesi Şekil 15’te adım adım gösterilmiştir.



Şekil 15. Yapının belli bir yöne devrilerek yıkılması

Betonarme yapılar eğilme ve çekme gerilmeleri taşıdığı için, belli bir yöne devrilirken bile rijitliğini korumakta ve ancak yere çarptığında parçalanmaktadır (Görgün, 2002). Yapının devrilmesi, patlatma düzleminin altında ya da üstünde planlanan kama ile bir patlatma boşluğunun oluşturulması ile mümkün olmaktadır. Yapının istenilen şekilde devrilmesi için en doğru kama geometrisinin seçilmelidir. Devrilmesi planlanan yapı rijit bir kütle olarak kabul edilir. Rijit bir yapının patlatma ile devrilerek yıkılması için mevcut olan dört kama tipi Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Yapının devrilerek yıkılmasında uygulanabilecek kama tipleri (Özyurt, 2013)

1.6.1.3. Yapının Devrilirken Kendi İçinde Göçerek Yıkılması

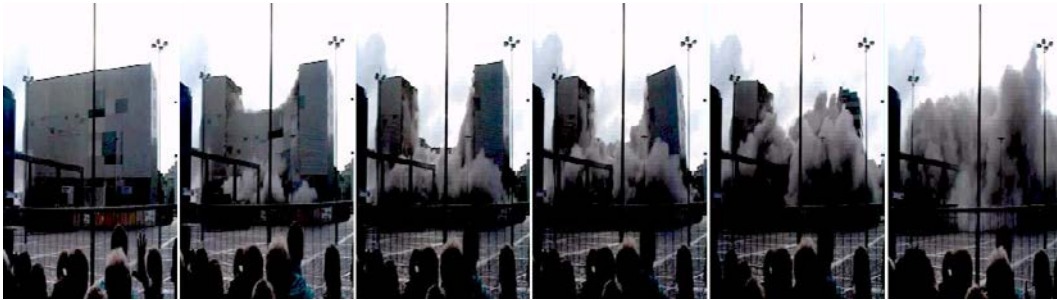
Patlayıcı ile yıkımı yapılacak yüksek bir yapının devrilerek yıkılması isteniyorsa fakat devrilme yönünde devrilmenin tamamen gerçekleşebileceği bir alan (yapının yüksekliğine eşit veya daha uzun boş bir arazi) yoksa yapının bazı katları patlatılarak yapı yüksekliği düşürülebilmektedir. Şekil 17’de görüldüğü gibi yapının yüksekliğinin azaltılarak devrilmesi; yıkım için gerekli olan alanın küçülmesini sağlamakta ve yıkım esnasındaki taş savrulmasının kontrol altına alınmasını kolaylaştırmaktadır (Koca, 2006). Kat yüksekliği düşürülen yapının devrilerek yıkılması esnasında oluşabilecek zemin sarsıntısı, hava şoku, toz oluşumu vb. etkiler; ilk durumdaki yapının devrilerek yıkılması esnasında oluşabilecek etkilere kıyasla genellikle daha düşük etkiye sahiptir.



Şekil 17. Yapının devrilirken kendi içerisinde göçerek yıkılması

1.6.1.4. Yapının Parçalı Olarak Yıkılması

Birbirine çok yakın konumlanmış yapılar arasında orta yükseliğe sahip ve geniş olan yapılar mevcut ve bu yapıların yıkımı için gerekli alan yok ise bu yapılar belli bir sıra ile yıkılmalıdır. Şekil 18’de görüldüğü üzere bu teknik, öncelikle orta bloğun patlatma ile yıkılması ve sonra ise geriye kalan iki bloğun belli bir sıra ile orta bloğun üzerine devrilmesi esasına dayanmaktadır (Görgün, 2002).



Şekil 18. Yapının parça parça patlatılarak yıkılması (Koca, 2006)

1.6.1.5. Patlayıcı ile Yıkımın Avantaj ve Dezavantajları

Yapıların patlayıcı ile yıkımı tekniğinin diğer geleneksel yıkım tekniklerine göre birçok avantajının yanında, patlayıcıların potansiyel tehlike riskinden dolayı dezavantajları da vardır. Bu avantajlar ve dezavantajlar aşağıda sunulmuştur.

Patlayıcı ile yıkım tekniğinin avantajları:

- Özellikle yüksek yapılarda uygulandığında daha düşük maliyetli olması,
- Diğer yıkım tekniklerine göre daha hızlı bir uygulama olması,
- Çevreye verilen rahatsızlıkların kısa bir zamanla sınırlandırılması,
- Trafik akışının olduğu yerlerde gerçekleştiğinde daha güvenli bir uygulama olması,
- Çalışma kontrolünün yüksek olması ve iş kazalarının minimuma indirilmesi (Jimeno vd., 1995),
- İş makinelerinin kullanımının zor olduğu durumlarda kullanılabilir olması vb. olarak sıralanabilir.

Patlayıcı ile yıkım tekniğinin dezavantajları:

- Yıkılacak yapının projesinin bulunmaması ve yapı malzeme özelliklerinin bilinmemesi durumunda gerekli çalışmaların yapılması ve bu çalışmaların zaman kaybına yol açması,
- Yıkım işi için patlayıcı, statik, güvenlik gibi konularda uzman ve tecrübeli bir ekibe ihtiyaç duyulması (Koca, 2006),
- Patlatma için gerekli izinlerin alınmasının zaman kaybına yol açması,
- Patlatma çevresindeki trafiğin kesilmesinin gerekmesi (Jimeno vd., 1995),
- Patlayıcıların potansiyel tehlike riskinin olması,
- Yakın mesafedeki yapılara hasar verebilmesi ihtimalinin olması,
- Yıkımın tam olarak gerçekleşmeme ihtimalinin olması vb. olarak sıralanabilir.

1.6.2. Patlayıcı ile Yapı Yıkım Tekniğinde Kullanılan Ekipmanlar

Farklı çalışma koşulları; kullanıldıkları farklı amaçlara uygun, farklı özelliklere sahip patlayıcıların üretilmesini gerekli kılmıştır. Herhangi amaca uygun ideal patlayıcıyı seçebilmek için mevcut patlayıcıların temel özellikleri dikkate alınmalıdır ve bu özellikler şunlardır (Olofsson, 1980):

- Yapı türü ve malzemesi,
- Patlayıcının patlatma hızı,
- Patlayıcının maliyeti,
- Patlayıcı maddenin gücü,
- Patlatma stabilitesi,
- Patlayıcı maddenin yoğunluğu ve suya karşı direnci,
- Patlayıcı maddenin duyarlılığı,
- Patlayıcı maddenin taşınma güvenliği,
- Çevresel özellikler,
- Patlayıcı maddenin dona karşı direnci,
- Patlayıcı maddenin oksijen dengesi,
- Patlayıcı maddenin depolama ömrü,
- Patlayıcı maddenin kritik çapı,
- Patlayıcı maddenin çıkardığı duman.

Yukarıda verilen parametrelerden en önemlilerinin yapı türü, yapı malzemesi, patlayıcının patlama hızı ve maliyeti olduğu söylenebilir. Yüksek dayanıma sahip beton veya betonarme yapıların patlayıcı ile yıkımında; yüksek patlama hızına sahip ve düşük maliyeti olan dinamitler kullanılmaktadır. Çelik ve kompozit betonarme yapıların yıkımında ise dinamitlerden daha yüksek patlama hızına sahi RDX ve PETN içerikli plastik patlayıcılar tercih edilmektedir (Görgün, 2002).

Patlayıcı ile yapı yıkımında bir diğer önemli husus ise ateşleme sisteminin ve sırasının belirlenmesidir. Patlayıcı ile yapı yıkımında, elektrikli gecikmeli kapsüller düşük maliyetli olduğundan elektriksiz kapsüllere göre daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bu sayede yapının dengesi istenilen yönde ve zamanlamada bozulabilmektedir. Ayrıca gecikmeli kapsüller ile yapılan patlatmalarda ardışık zamanlayıcı (sequential timer machine) kullanılarak gecikme aralıkları daha da istenilen şekilde belirlenebilmektedir. Bu sayede patlama esnasında ortaya çıkan ses ve titreşim en az düzeye indirgenebilmektedir. Yeni nesil NONEL (elektriksiz) kapsüller de patlayıcı ile yapı yıkımında kendisine uygulama alanı bulmakta; fakat yüksek maliyeti nedeniyle elektrikli ateşleme sistemlerine göre daha az tercih edilmektedir (Elliot ve Woolf, 2001; Görgün, 2002).

1.6.2.1. Dinamitler

Dinamitler nitroglikol, nitrogliserin, nitroselüloz, yakıt karışımı ve oksitleyici tuzlar olmak üzere beş ana maddeden meydana gelmektedir. NG ile de ifade edilen nitrogliserin ve nitroglikol bütün dinamitlerdeki sıvı kısmı oluşturur. Nitrogliserin ve nitroglikol (NG) içeriği; patlama hızı, enerji çıkışı ve su direncine bağlı olarak %5 ile %90 arasında değişebilir. Nitroselüloz; sıvı kısım ile diğer karışımların bir arada tutulması ve yakıt karışımının sızmasının önlenmesi amacıyla jelleştirici olarak da kullanılmaktadır (Görgün, 2002).

Patlayıcı ile yapı yıkımında, dinamitlerin yaygın kullanım alanı bulmasının nedeni yüksek patlama hızına ve kapsüle duyarlığa sahip olmasıdır. Patlayıcı ile yapı yıkım endüstrisinde çeşitli dinamitler vardır. Ancak yüksek patlama hızı, kolay temin edilebilme imkanı ve düşük maliyet nedeniyle genellikle jelatinit dinamitler ve PVC kartuşlar içindeki toz dinamitler tercih edilmektedir (Elliot ve Woolf, 1995; Görgün, 2002).

1.6.2.2. Plastik Patlayıcılar

Çelik yapıların yıkımı için kullanılan plastik patlayıcılar, içerdiği emici polimer malzemeden dolayı bu adı almıştır. Plastik patlayıcılarda birleşim konsantrasyonu %80 - % 92 arasındadır (Görgün, 2002).

Patlayıcı ie çelik yapıların yıkımında kullanılan plastik patlayıcılar genelde RDX (Cyclo Trimenthylene Trinitramine) içerikli olduğundan RDX olarak adlandırılmıştır. Plastik patlayıcılar sahip olduğu malzeme özelliklerinden dolayı istenilen şekli alabilmektedir. Plastik patlayıcılar, patlama sonucu sabit bir yöne yoğunlaştırılarak yapı elemanlarının kesilerek kopması sağlanır (Görgün, 2002).

RDX ile patlatılan çelik elemanlar yüksek basınç nedeniyle aniden kesilip kopmaktadır. RDX patlayıcılar beton ve betonarme yapı elemanlarının patlatılmasında kullanım ve başarıya ulaşma açısından sağlıklı sonuçlar vermediğinden bu tür yapılarda kullanımı tercih edilmemektedir (Görgün, 2002).

1.6.2.3. Patlayıcı ile Yapı Yıkımında Kullanılan Ateşleme Sistemleri

Patlayıcı ile yapı yıkımında yapının istenilen yöne doğru yıkımının sağlanabilmesi için ateşleme sisteminin seçimi oldukça önemlidir ve seçimde etkili olan birçok unsur

mevcuttur. Patlayıcı ile yapı yıkımında, elektrikli kapsüller düşük maliyetli olduğundan elektriksiz kapsüllere göre daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Elektriksiz (NONEL : Non- Electric) kapsüllerle gerçekleştirilen yıkım uygulamaları yüksek maliyetli olmasına rağmen kullanım ve güvenlik açısından daha iyi sonuçlar vermektedir (Görgün, 2002).

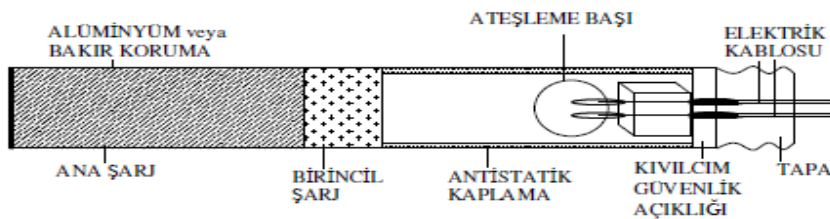
Patlayıcı ile yapı yıkımında ateşleme sisteminin seçiminin yanı sıra hesaplamalar sonucunda belirlenen yapı elemanlarına patlayıcıların uygun şekilde yerleştirilmesi ve patlatma aralıklarının uygun olarak belirlenmesi yapının yıkımının istenilen şekilde gerçekleşmesi açısından oldukça önemlidir. Bu süreçte olası bir hata, yıkımın istenmeyen şekilde gerçekleşmesine ya da yıkımın tam olarak gerçekleşmemesine neden olabilir.

1.6.2.3.1. Elektrikli Ateşleme Sistemleri

Patlayıcı ile yapı yıkımında kullanılan dinamit vb. patlayıcıların ateşlenmesi için yüksek enerjiye ihtiyaç vardır. Bu tip patlayıcıların ateşlenmesi; enerji kaynağı ile kapsül veya detonatör yardımıyla mümkün olmaktadır. Patlayıcıların gecikme aralıklarını istenilen sürede ve milisaniye cinsinden belirlemek için gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılmaktadır. Elektrikli kapsüllerde en önemli nokta kapsülün elektrik direncidir. Elektrikli kapsüllerin gecikmesiz ve gecikmeli olmak üzere iki türü vardır (Koca, 2006).

Gecikmesiz elektrikli kapsüller

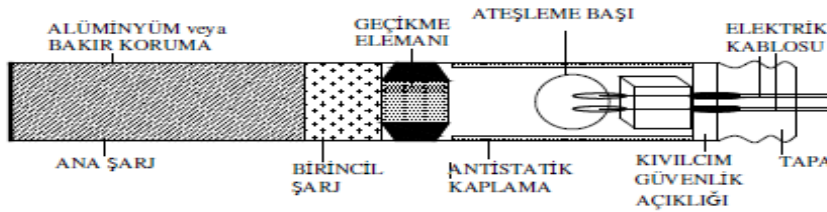
Elektrik direnci ile ısıtılan kibrit başı yardımıyla ateşlemenin başladığı gecikmesiz elektrikli kapsüllerde; birincil şarj olan kibrit başı ana şarjı ateşler ve patlama için gerekli olan enerji elde edilir (Koca, 2006). Şekil 19’da bir gecikmesiz elektrikli kapsül kesiti gösterilmiştir.



Şekil 19. Gecikmesiz elektrikli kapsül kesiti (Koca, 2006)

Gecikmeli Elektrikli Kapsüller

Patlayıcı ile yapı yıkımında patlayıcılar aynı anda ateşlenir; fakat gecikmeli elektrikli kapsüller yardımıyla patlama olayı gecikmeli olarak gerçekleştirilebilir. Bu kapsüllerde ateşleme elektrik direnci tarafından ısıtılan kibrit başı ile gerçekleştirilir. Bu kapsüllerin gecikmesiz kapsüllerden farkı ise; kibrit başı ile primer (birincil) şarj arasında gecikmeyi sağlayan ve gecikme aralığına bağlı olarak boyu değişkenlik gösteren bir geciktirme elemanının bulunmasıdır. Geciktirme elemanı, oksijen taşıyıcı maddeler ile dağıtılmış metallere meydana gelir. Geciktirme elemanının yanma süresi bellidir, bu sayede gerekli boyda kesilerek istenilen patlatma aralığı elde edilmiş olur (Görgün, 2002). Şekil 20’de bir gecikmeli elektrikli kapsül kesiti gösterilmiştir.

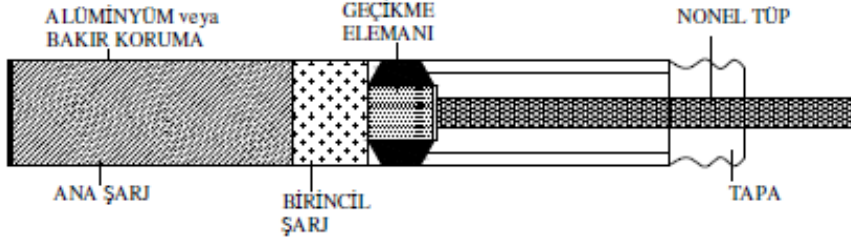


Şekil 20. Gecikmeli elektrikli kapsül kesiti (Koca, 2006)

Gecikmeli elektrikli kapsüller; kısa gecikmeli ve uzun gecikmeli kapsüller olmak üzere iki çeşittir. Kısa gecikmeli kapsüllerin gecikme periyodu 8 ila 50 ms arasında olup yapıların patlayıcı ile yıkımında en yaygın kullanılan türdür. Uzun gecikmeli kapsüllerin periyodu ise 200 ila 500 ms arasında olup genellikle madencilik alanında kullanılmaktadır (Görgün, 2002).

1.6.2.3.2. Elektriksiz Ateşleme Sistemleri (Non-Electric/NONEL)

Elektriksiz kapsüllerde ateşleme, ince bir plastik tüp içinde ilerleyen alev yardımıyla gerçekleşir. Ateşlemeyi sağlamak için uygun kalite ve çapa sahip tüpün iç çeperi; kapsül şokuna duyarlı, sürtünme ve ateş ile patlamayan özel bir patlayıcı madde ile kaplanır. Patlatma anında 2000 m/s’lik hıza ulaşan şok dalgası gecikme elemanını ateşler (Görgün, 2002). Bu kapsüllerde gecikme aralığının dizaynı kapsül yüzeyinde yapılır ve bu sayede düzeltme işlemlerinin istenilen zamanda yapılması sağlanır (Koca, 2006). Şekil 21’de bir elektriksiz kapsül kesiti verilmiştir.



Şekil 21. Elektriksiz kapsül kesiti (Koca, 2006)

1.6.3. Yıkımda Kullanılacak Şarj Miktarının Hesaplanması

Patlayıcı ile yapı yıkım çalışmasında kullanılacak patlayıcı madde miktarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken en önemli parametreler; beton ve betonarme yapının özellikleri ve elemanlardaki donatı oranıdır. Yıkılması planlanan yapıya ait kolon, kiriş, perde duvarı vb. elemanların boyutlarının, geometrisinin patlatma öncesi belirlenmesi ve bu elemanların gerekli ortamlarda test edilmesi gerekir. Bunun için yapıda seçilen belli noktalardan karotlar alınır ve yapıya ait statik projeler ayrıntılı olarak incelenir. Daha sonra; yapı elemanlarının malzeme özellikleri hakkında bilgi edinmek için veya kullanılacak patlayıcı madde miktarının belirlenmesi için deneme patlatma atımları yapılabilir. Bu atımlardaki sonuçlar ve benzer çalışmalar var ise o çalışmalarda gerekli adımlar dikkate alınarak en uygun patlatma tasarımı ortaya konur (Görgün, 2002).

Yapı ve yapı elemanlarının patlatılarak yıkılmasında çoğu zaman, uygun delik geometrisi ve patlayıcı madde miktarının belirlenmesi için baca ve köprülerde olduğu gibi bir test patlatması yapılmasına imkan yoktur. Bu durumda yapılan patlatma tasarımı, bacanın istenilen bir yöne düşmesini, köprünün yeterince parçalanarak yıkılmasını veya binanın yüklenebilir tane iriliğine kadar ufalanmasını garanti edebilmelidir. Bu durum ise ancak doğru bir delik tasarımı ve patlayıcı madde miktarı hesabı ile mümkün olmaktadır. Patlayıcı ile yapı yıkım çalışmalarında doğru delik tasarımı ve patlayıcı madde miktarının hesabı için aşağıda verilen ampirik formüller kullanılmaktadır (Şimşir ve Köse, 1996).

1.6.3.1. Patlatılacak Hacime ve Kütleye Göre Patlayıcı Madde Miktarı Hesabı

Patlayıcı ile yapı yıkımında kullanılacak patlayıcı miktarının belirlenmesi için uygulamada en çok kullanılan ampirik formüller şunlardır (Şimşir ve Köse, 1996).

- Hacime göre hesap : $L = V \cdot q$ (1)

- Kütleye göre hesap : $L = M \cdot q$ (2)

L : Kullanılacak patlayıcı miktarı (kg)

V : Patlatılacak nesnenin hacmi (m^3)

M : Patlatılacak nesnenin kütlesi (kg)

q : Özgül patlayıcı miktarı – özgül şarj değeri (patlatılması planlanan birim hacimdeki patlayıcı ağırlığı)

(q değerinin birimi; hacme göre hesapta kg/m^3 , kütleye göre hesapta ise kg/t 'dir.)

Şarj miktarı hesaplanırken; hacime göre hesap formülünün kullanımı daha kolaydır. Çünkü patlatılması planlanan yapı için gözlem sonucu yapı elemanlarının boyutları kolaylıkla belirlenebilir ve hata yapılma oranı düşüktür. Ancak kütleye göre yapılan hesaplamalarda yapı elemanın kütlesini belirlemek zordur. Yapı elemanının kütlesi, alınan numuneler kullanılarak laboratuvar ortamında deneyler sonucu elde edilmektedir. Fakat bu sonuçlar sadece alınan numune için geçerlidir ve yapı elemanı homojen değilse yapı elemanının tamamını kapsamayabilir. Bu durum da hesaplanan şarj miktarını etkilemektedir. Ayrıca özgül şarj değerinin amaca uygun bir şekilde iyi belirlenmesi gerekmektedir. Özgül şarj değeri genellikle hep yapı elemanı tipi için yapılan test atımları ile belirlenmektedir. Test atımı mümkün olmayan durumda ise benzer yapı patlatmalarına ait değerler kullanılmaktadır. Elde edilen L değeri, V toplam hacmine sahip yapının veya yapı elemanının patlatılması için gerekli toplam patlayıcı miktarını verir, fakat bu patlayıcının yapı içinde nasıl dağıtılması gerektiği hakkında bir bilgi vermez. Bu işi patlatma mühendisinin bilgi ve tecrübesine bırakır (Şimşir ve Köse, 1996).

1.6.3.2. Hauser'e Göre Patlayıcı Madde Miktarı Hesabı

Hauser formülü; tek delik için delik başına düşen patlayıcı miktarını vermektedir (Şimşir ve Köse, 1996).

$$L = w^3 \cdot c \cdot d \quad (3)$$

L : Patlayıcı madde miktarı (kg)

w : Delik etki mesafesi (m)

c : Özgül şarj miktarı (patlatılacak birim hacim içindeki patlayıcı ağırlığı) (kg/m³).

d : Sıkılama katsayısı

Tablo 1’de; (3) numaralı denklemde yer alan sıkılama katsayısının, patlayıcının yerleştirilme şekline göre hangi değerleri alacağı gösterilmiştir.

Tablo 1. Delik sıkılama katsayıları "d" (Şimşir ve Köse, 1996)

Patlayıcı yerleştirme şekli	Sıkılama katsayısı
Patlatılacak cismin ortasında, sıkılanmış delik şarjı	1.0
Patlatılacak cismin ilk 1/3 'ünde, sıkılanmış delik şarjı	1.4
Cismin üzerine konmuş, sıkılanmış patlayıcı	3.5
Cismin üzerine konmuş, sıkılanmamış patlayıcı	4.5

c ve q değerlerinin ikisi de özgül şarj miktarını göstermesine rağmen bu değerler farklı yazarlar tarafından tanımlanmıştır ve c ile q değerleri arasında $c=8q$ ilişkisi vardır. Başarı ile sonuçlanan her yıkım sonunda kullanılan patlayıcı miktarının patlatılan hacime oranıyla bulunabilen q değerinin 8 ile çarpılmasıyla c değeri bulunabilir (Şimşir ve Köse, 1996).

1.6.4. Patlayıcı ile Yıkım Tekniğinin Uygulama Yöntemi

Yapıların patlayıcı ile yıkımında yıkım aşamasının sırası aşağıdaki gibi özetlenebilir (URL-7).

- Uygulamanın yapılacağı ilin kurum yöneticilerinin katılacağı bir koordinasyon kurulu toplantısı düzenlenir.
- Patlatma yapılacak bölgede güvenli alan tespiti yapılarak bölgeye ait güvenlik haritası (safety plan) çıkarılır ve kurum yöneticileri ile paylaşılır.
- Yapıların beton kalite testleri ve donatı yoğunluğu tespiti yapılır. Test sonuçlarına göre her bir taşıyıcı kolon ya da perdeler için kullanılacak patlayıcı yoğunluğu ve

yerleştirme açıları belirlenir. Her bir patlayıcıya ait infilak süreleri belirlenir. Planlama bir simülasyon olarak hazırlanır ve yetkililerle paylaşılıp onay alınır.

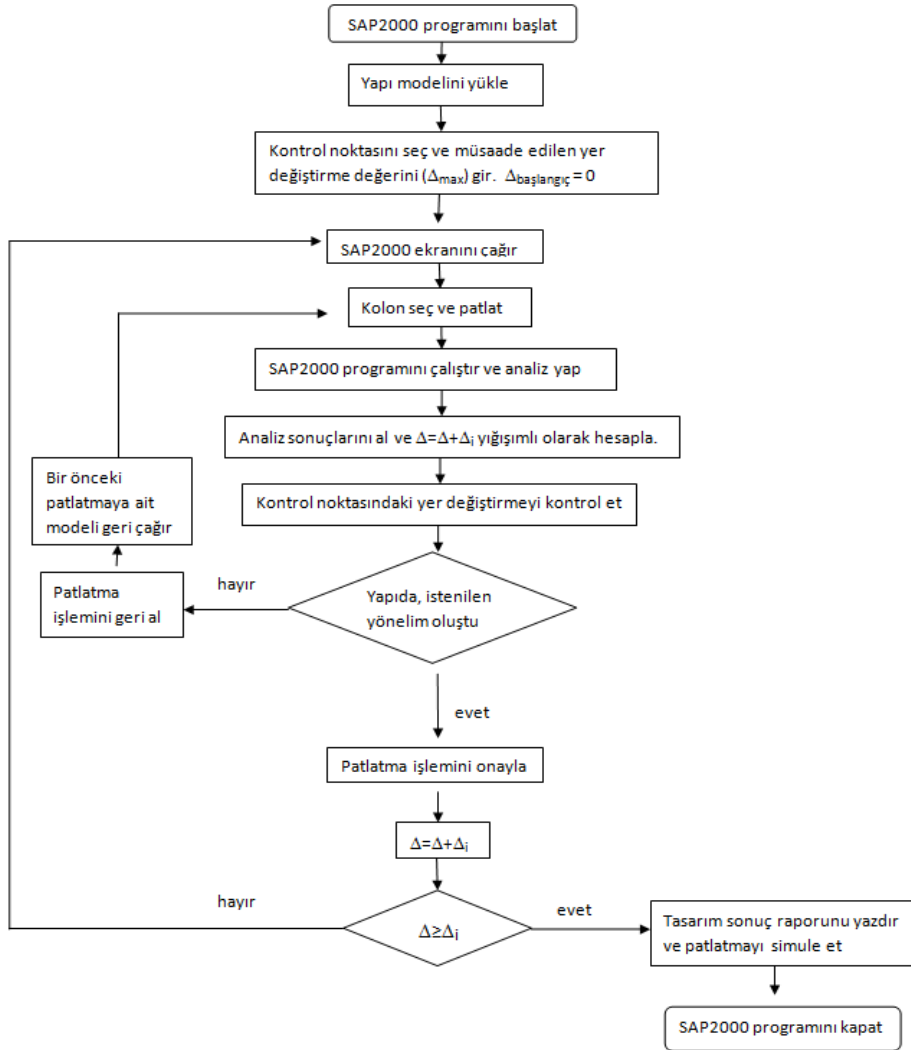
- Patlayıcıların temini için gerekli mercilerden izin alınır ve özel araçlara yüklenerek sahaya getirilir.
- Patlayıcı yerleştirilen taşıyıcı elemanlar kauçuk keçe ve tel çitle sıkıca sarılır.
- Ateşleyici fünye bağlanmadan önce test cihazı ile akım testi yapılır. Daha sonra ise ateşleyici fünye bağlanır.
- Patlatma mühendisi veya saha personeli son 1 dakika anonsunu yapar ve sirenler çalmaya başlar. Son 10 saniye sesli olarak geri sayım yapılır ve patlatma gerçekleştirilir.
- 5 dk süreyle sahaya kimse girmeyerek beklenir. 5 dk sonunda patlatma mühendisi veya görevli saha personeli sahaya girer ve patlamamış olan patlayıcıları tespit ederek eder.
- Daha sonra durum normal anonsu geçilir ve her şey normale döner.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

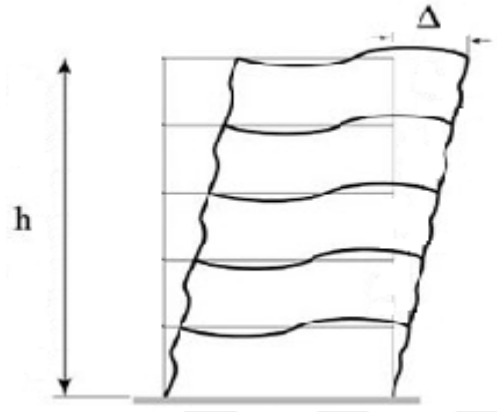
2.1. Geliştirilen Simülasyon Programı

Yapıların patlayıcı ile kontrollü yıkımının simüle edilebilmesini sağlayacak programın oluşturulabilmesi için literatürdeki mevcut programlar incelenmiştir. Literatürde patlayıcı kullanılarak yapıların kontrollü yıkımı için yapılan çalışmalar ele alındığında sonlu eleman yöntemi kullanılarak yapıların modellendiği ve bilgisayar ortamında kontrollü patlatma tasarımlarının ortaya konulduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen yıkım simülasyon programına ait adımlar Şekil 22'deki algorithmada sunulmuştur (Türker vd., 2020).



Şekil 22. Yapıların yıkımı için hazırlanan simülasyon programının algoritması

Yıkım tasarımında ani göçme durumunun oluşması istendiği için patlatma süresince yapıda plastik mafsall oluşumu ihmal edilmiştir. Yıkım tasarımında yatay kümülatif yer değiştirmeler esas alınmıştır. En büyük yatay yer değiştirme değeri, Şekil 23'te gösterilen görel kat ötelemesi ve (4) numaralı denklemde verilen oran göz önüne alınarak belirlenmiştir. Yapının tepe noktası için programa girilecek olan maksimum deplasman değeri, yapı yüksekliğinin 0.04'sine karşılık gelmekte olup bu değer aşıldığında yapının yıkıldığı kabul edilmiştir.



Şekil 23. Kat ötelemesi

$$\frac{\Delta}{h} > 0.04 \quad (4)$$

Δ : Yapının tepe noktasında oluşan deplasman değeri (m)

h : Yapı yüksekliği (m)

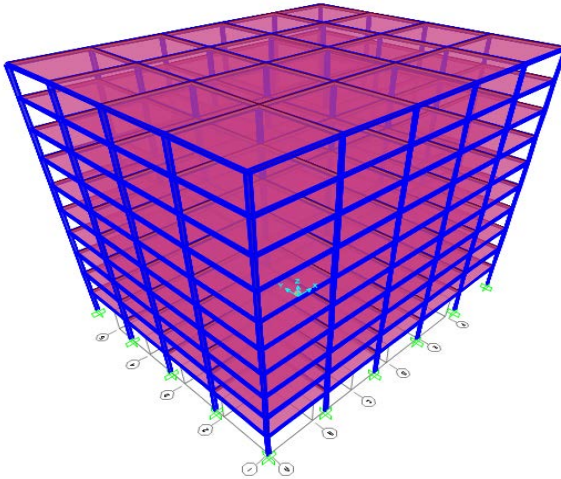
2.2. Program Yardımıyla Analiz Edilecek 10 Katlı Betonarme Bina

Seçilen tipik bir yapının yıkımı simülasyon programında simüle edilmiştir. Seçilen yapı, 4.5x5m aks açıklığına sahip 10 katlı bir betonarme binadır. Görel kat ötelemesinde müsaade edilen değer kat yüksekliğinin 0.02'si olup, bu bilgiden hareketle yapının kesin göçtüğünü anlamak için bu değer iki katı seçilmiştir. Böylece tepe noktası için programa girilen maksimum deplasman değeri, yapı yüksekliğinin 0.04'ü olan 1.2 (30*0.04) m'ye karşılık gelmektedir. Yani yapıda istenen yönde oluşan yatay deplasmanın sayısal değeri 1.2 m'yi aştığında yapının yıkıldığı kabul edilmiştir.

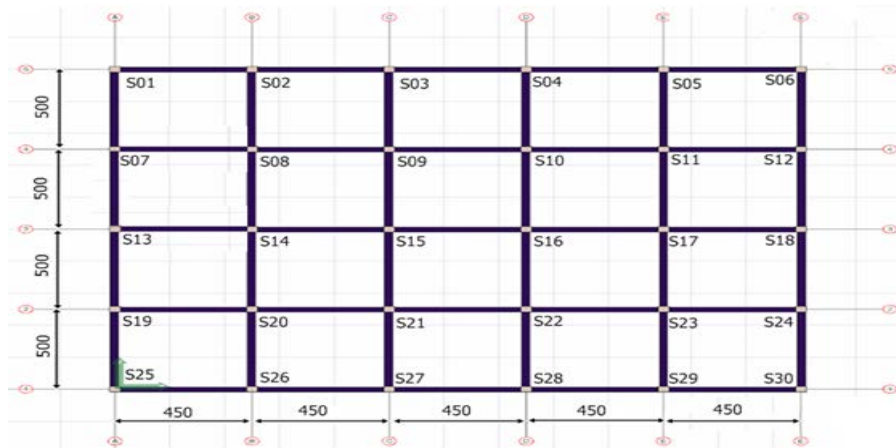
Binaya ait özellikler Tablo 2’de, yapı modeli ve kat planı ise Şekil 24 ve Şekil 25’te gösterilmiştir.

Tablo 2. 10 katlı binaya ait özellikler

Yapının Genel Özellikleri	
Tüm Katlardaki Yükseklik (m)	3
Kat Sayısı / Bina Yüksekliği (m)	10 / 30
Toplam Bina Yüksekliği (m)	30
Taşıyıcı Sistem	Betonarme Çerçeve
Beton Sınıfı / Donatı Sınıfı	C25 / S420
Tüm Kirişler / Tüm Kolonlar (cm)	30x60 / 35x35



Şekil 24. 10 katlı betonarme bina modeli



Şekil 25. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapıya ait kat planı

2.3. Program Yardımıyla Analiz Edilecek Çimento Silosu

Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen simülasyon programı gerçek bir yapının patlayıcı ile yıkım işi üzerinde test edilmiştir. Bunun için patlayıcı ile yıkımı gerçekleştirilecek örnek bir yapıya ait yıkım planı temin edilmiştir. Temin edilen yıkım planı patlatma tarihinden önce simüle edilerek mevcut yapının yıkım modeli çıkarılmıştır. Patlatma esnasında yapının yıkım modeli kamera ile kayıt altına alınarak simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Yıkımı gerçekleştirilen yapı Gaziantep’te yer alan 10 bin tonluk çimento silosudur. Yapıya ait özellikler Tablo 3’te gösterilmiştir. Silonun perde duvar kalınlığı; 17.6 m yüksekliğe kadar 1 m, bu yükseklikten tepe noktasına kadar ise 0.5 m’dir. Programda elde edilen yıkım yönü ile uygulamada elde edilen yıkım yönü karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Çimento silosuna ait özellikler

Silonun Genel Özellikleri	
Yapı Ağırlığı (ton)	10000
Silo Uzunluğu (m) / Silo Çapı	60 / 23
Beton Sınıfı / Donatı Sınıfı / Çelik Sınıfı	C25 / S420 / St37
Taşıyıcı Sistem	Betonarme

Çimento silosunun yıkımı için oluşturulan patlatma tasarımında, var olan yıkım projesinin analizi yapılmış olup yıkım yönü ve yapının yıkılıp yıkılmadığı kontrol edilmiştir. Yıkım tasarımında yatay kümülatif yer değiştirmeler esas alınmıştır. En büyük yatay yer değiştirme değeri, Şekil 23’teki’teki durum ve (4) numaralı denklem göz önüne alınarak belirlenmiştir. En büyük yatay yer değiştirme değeri, görelî kat ötelemesi oranı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Görelî kat ötelemesinde müsaade edilen değeri kat yüksekliğinin 0.02’si olup, bu bilgiden hareketle yapının kesin göçtüğünü anlamak için bu değerin iki katı seçilmiştir. Böylece tepe noktası için programa girilen maksimum deplasman değeri, yapı yüksekliğinin 0.04’ü olan 2.4 (60*0.04) m’ye karşılık gelmektedir. Yani yapıda istenen yönde oluşan yatay deplasmanın sayısal değeri 2.4 m’yi aştığında yapının yıkıldığı kabul edilmiştir.

Şekil 26. Gaziantep’teki 60 m’lik çimento silosunun tip kesiti



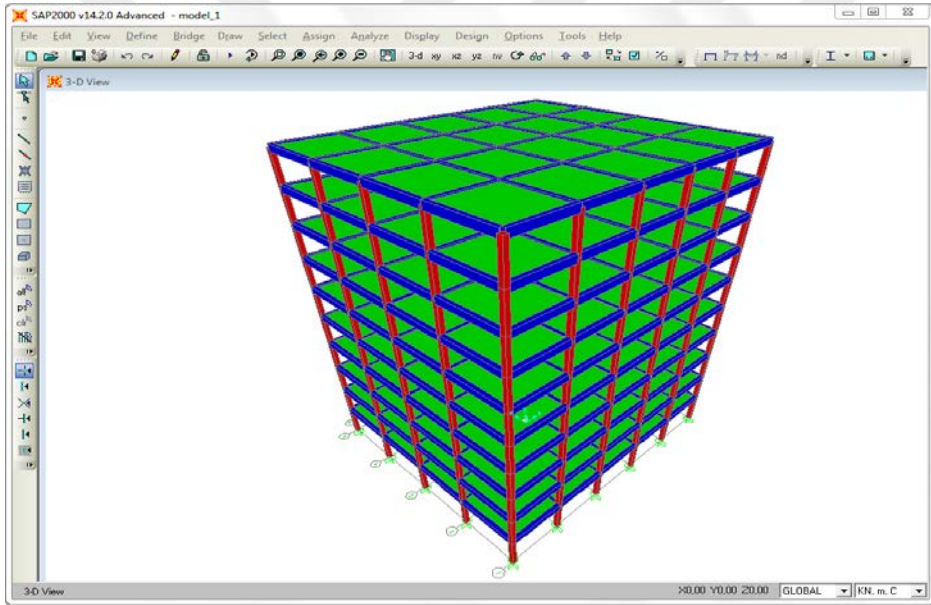
Şekil 26. Gaziantep’teki 60 m’lik çimento silosunun tip kesiti

3. BULGULAR

3.1. 10 Katlı Betonarme Binanın Program Yardımıyla Analizi

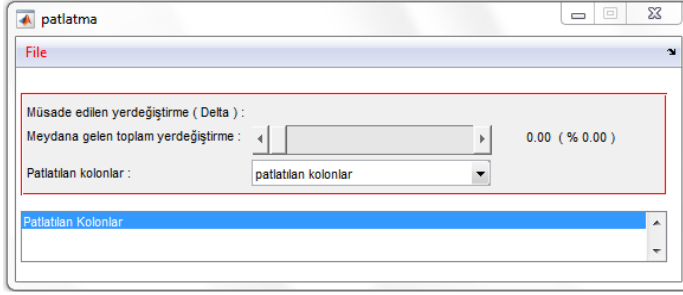
Analiz edilecek olan yapının modellenmesinden analizine kadar olan süreç aşağıda aşamalı olarak açıklanmıştır (Türker vd., 2020).

- a) **Patlatmalı yıkımı yapılacak yapının SAP2000 programı yardımıyla modellenmesi:** Patlatma ile kontrollü yapı yıkımının bilgisayar ortamında incelenmesi için öncelikle herhangi bir sonlu eleman programıyla yapı modelinin oluşturulması gerekir. Bu çalışma kapsamında SAP2000 programıyla modellenen yapı Şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 27. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapının SAP2000 programı ile modellenmesi

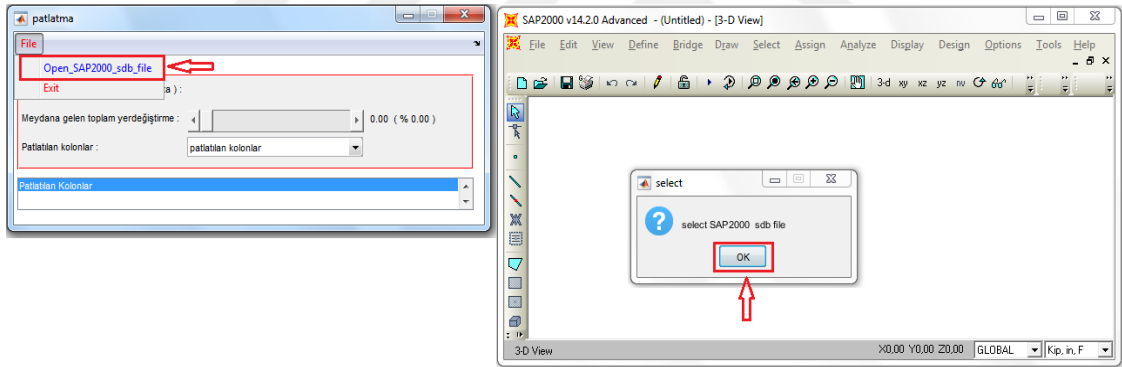
- b) **Patlatmalı yıkım simülasyon programının açılması:** Herhangi bir yapının patlatma ile kontrollü yıkımında, yıkım yönünün belirlenebilmesi amacıyla taşıyıcı elemanların belirli bir sırayla patlatılması gerekmektedir. Bu sıranın belirlenebilmesi için yapıdan eleman çıkartıldıkça adım adım analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, bir yapının patlatma ile kontrollü yıkımının adım adım incelenmesi için MATLAB programı yardımıyla bir simülasyon programı oluşturulmuştur (Şekil 28) (Türker vd., 2020).



Şekil 28. Geliştirilen simülasyon programının arayüzü

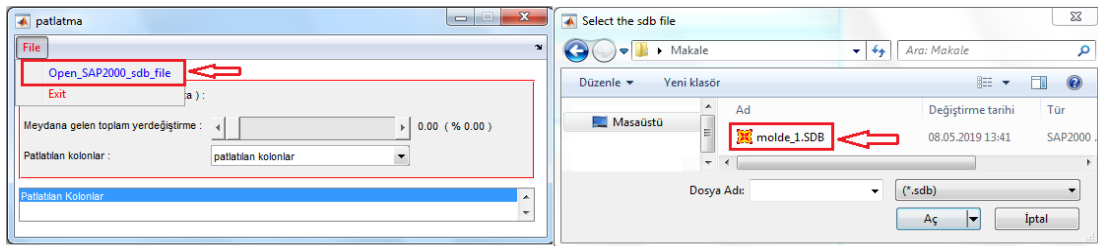
Bu programın çalışma adımları aşağıda sırasıyla verilmiştir:

- c) **SAP2000 programında oluşturulan yapı modelinin arayüz programına aktarılması:** Oluşturulan yapı modelinin kümülatif deformasyon şeklinin detaylı incelenebilmesi için, tasarlanan arayüz programında 'File' sekmesi içindeki 'Open_SAP2000_sdb_file' düğmesine tıklanarak arka planda SAP2000 programının otomatik olarak açılması sağlanır (Şekil 29) (Türker vd., 2020).



Şekil 29. Yapı modelinin arayüz programına aktarılması

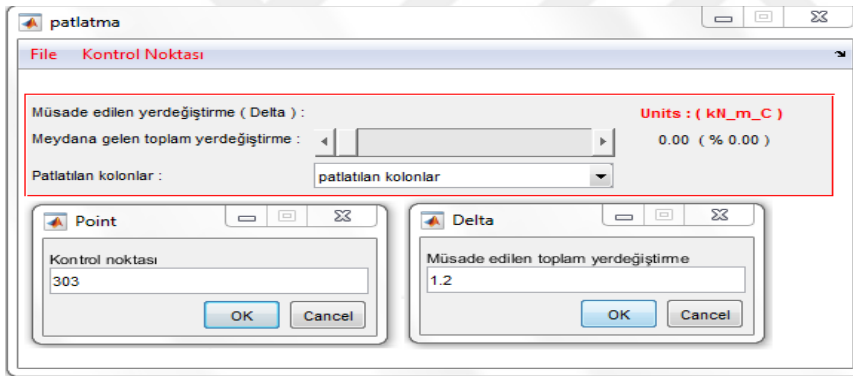
Açılan 'Select the sdb file' bölümünde, SAP2000 programı yardımı ile oluşturulan 'model_1' adlı dosya seçilir ve dosya simülasyon programına aktarılmış olur (Şekil 30).



Şekil 30. Yapı modelinin arayüz programına aktarılması için seçilmesi

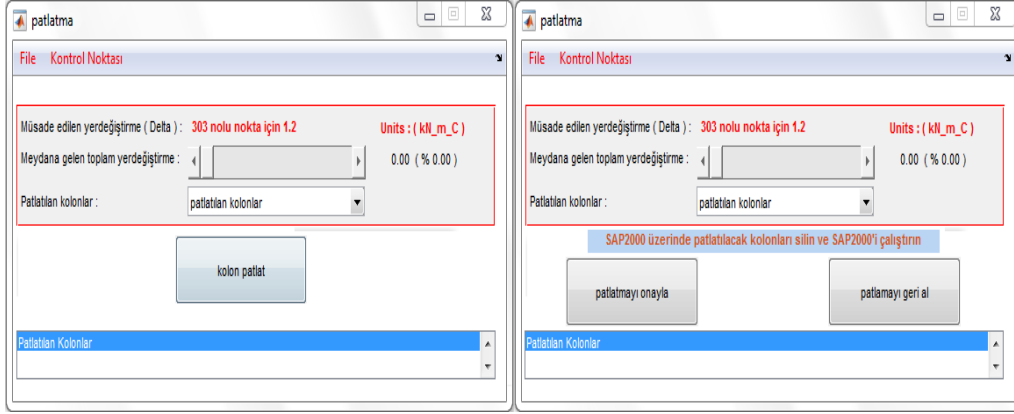
Bu aktarma işlemiyle yapıya ait veri dosyası MATLAB programına aktarıldığı için bu veri dosyasında yapılan her değişiklik MATLAB programına otomatik olarak kaydedilmektedir.

- d) Oluşturulmuş yapı modelinde bulunan bir kontrol noktasının atanması ve yapıda izin verilen toplam yer değiştirmenin kullanıcı tarafından belirlenmesi:** SAP2000 programı; patlatmalı yıkımı yapılacak yapı modelinde oluşan deformasyon değerini hesaplar, yapının çöküp çökmeyeceği hakkında bilgi veremez. Bu yüzden yapının çöküp çökmeyeceğini anlayabilmek için program üzerinde, her yapıda farklı olarak bir kontrol noktası seçilir ve bu kontrol noktasındaki deplasman miktarının, kullanıcı tarafından programa atanan en büyük deplasman miktarını aşıp aşmadığı kontrol edilir. Bu şekilde yapının göçüp göçmediği karar verilebilir. Bu bina için 303 no'lu noktada en büyük yatay yer değiştirme 120 cm olarak dikkate alınmıştır (Şekil 31) (Türker vd., 2020).



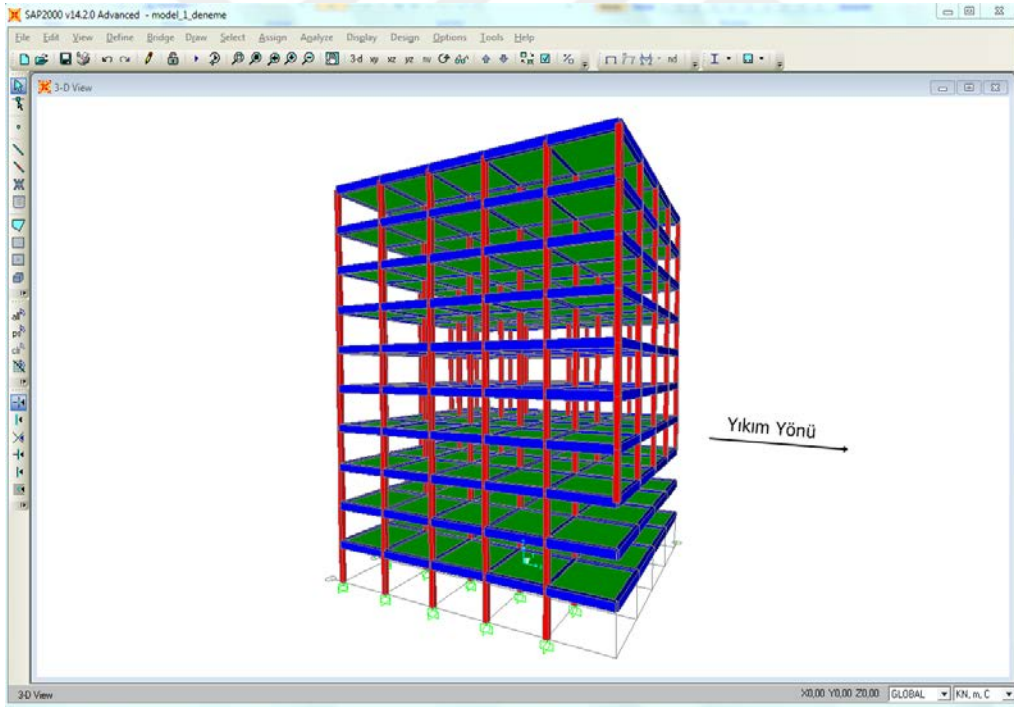
Şekil 31. Kontrol noktasının ve en büyük yer değiştirme değerinin atanması

- e) Yapının hedeflenen yöne doğru kontrollü yıkımı için patlatma sırasının belirlenmesi:** Yıkım yönüne göre yapıda patlatılacak taşıyıcı elemanların sırasının belirlenmesi için 'Kolon Patlat' düğmesine tıklanır (Şekil 32) ve SAP2000 programı otomatik olarak açılır (Türker vd., 2020).

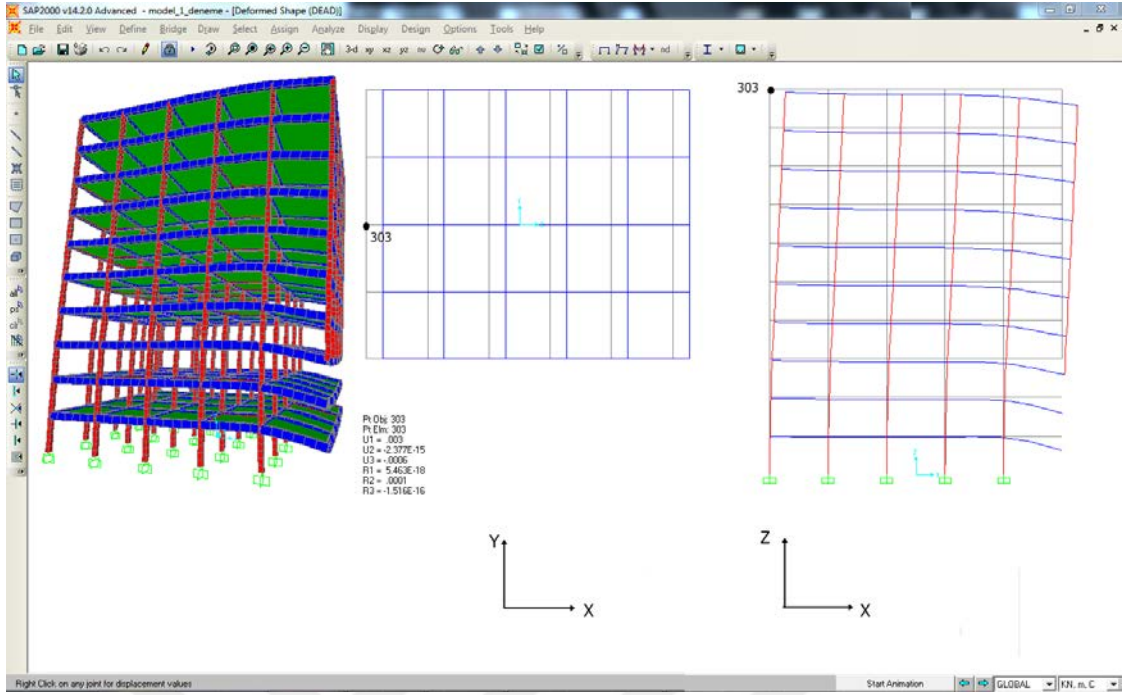


Şekil 32. Taşıyıcı elemanların silinmesi için SAP2000 programının açılması

Hedeflenen yıkım yönüne göre SAP2000 programındaki yapı modelinde hangi taşıyıcı elemanların silineceğine kullanıcı karar verir. Bu çalışmada; yapının devrilmesi istenen yön Şekil 33 ve 34’te verilmiştir.

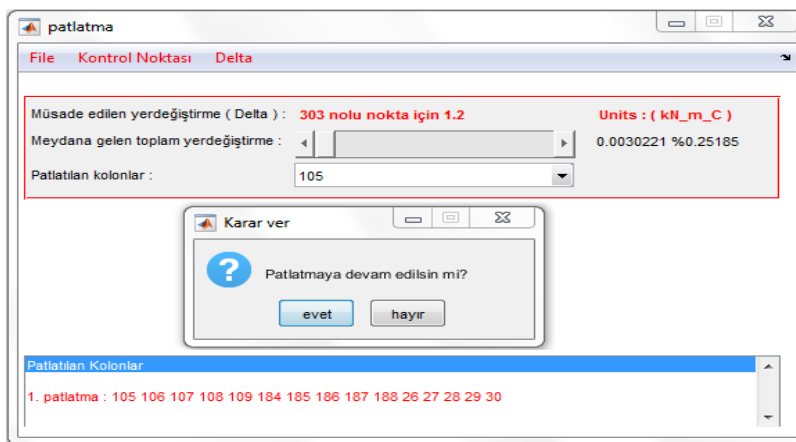


Şekil 33. Öncelik sırasına göre taşıyıcı elemanların yapı modeli üzerinden silinmesi



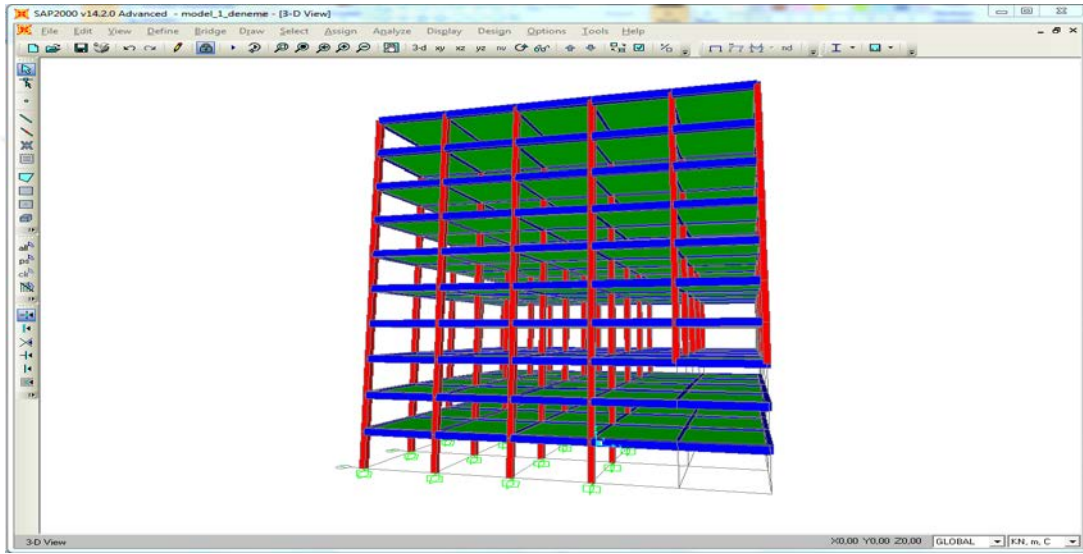
Şekil 34. Taşıyıcı elemanları silinmiş yapı modelinin analizinin gerçekleştirilmesi

f) Yapı modelinde patlatılan taşıyıcı elemanların numarasının saptanması, yapıdaki deformasyon şeklinin belirlenmesi ve yöneliminin sayısal değerinin kontrolü: Eğer ilk adımda; yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösteriyor fakat taşıyıcı elemanların öncelik sırasına göre patlatılması sonucu yapıda oluşan deformasyon değeri (0.0030221 m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (1.2 m) aşmıyorsa ikinci patlatma dizaynına ihtiyaç vardır (Şekil 35) (Türker vd., 2020).

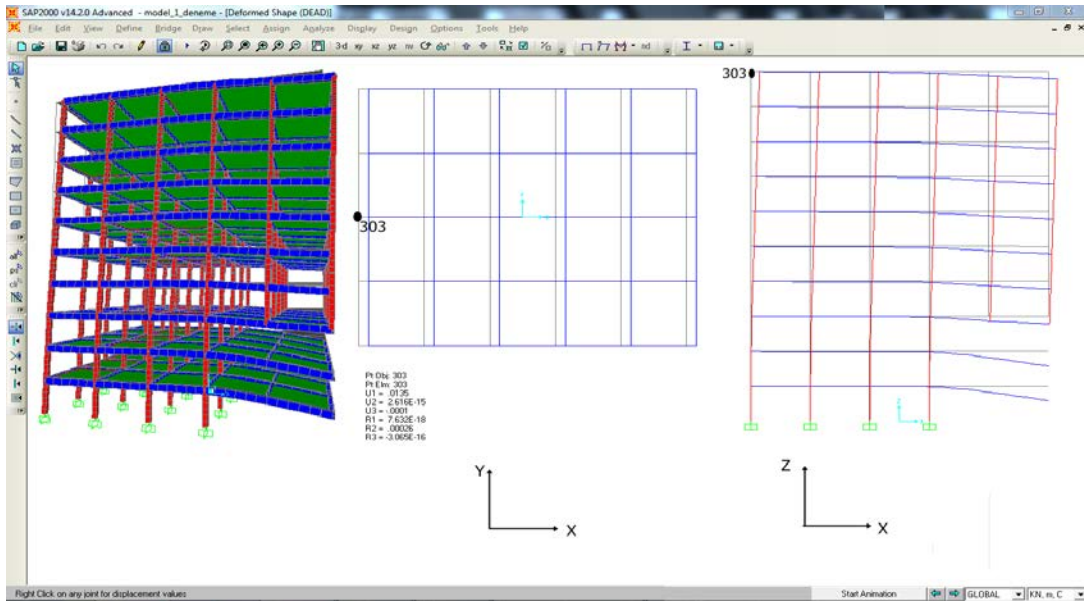


Şekil 35. Modelde silinen taşıyıcı elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi

g) Yapıdaki deformasyon değerinin izin verilen maksimum deformasyon değerine ulaşmadığı durumda ikinci patlatma dizaynının yapılması: Bunun için arayüz programında 'Kolon Patlat' düğmesine tıklanarak ilk patlatma sonucunda elemanları silinen yapı modeli dikkate alınır (Şekil 33). Daha sonra ise ikinci kez belirlenen öncelik sırasına göre programda taşıyıcı elemanlar seçilerek silinir (Şekil 36 ve Şekil 37). SAP2000 programında son haldeki yapı modelinin analizi yapılır (Türker vd., 2020).

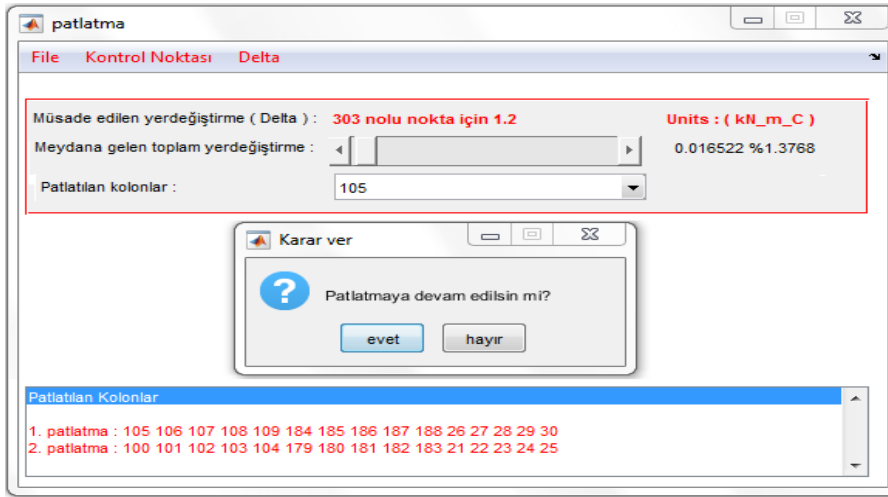


Şekil 36. İkinci patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli



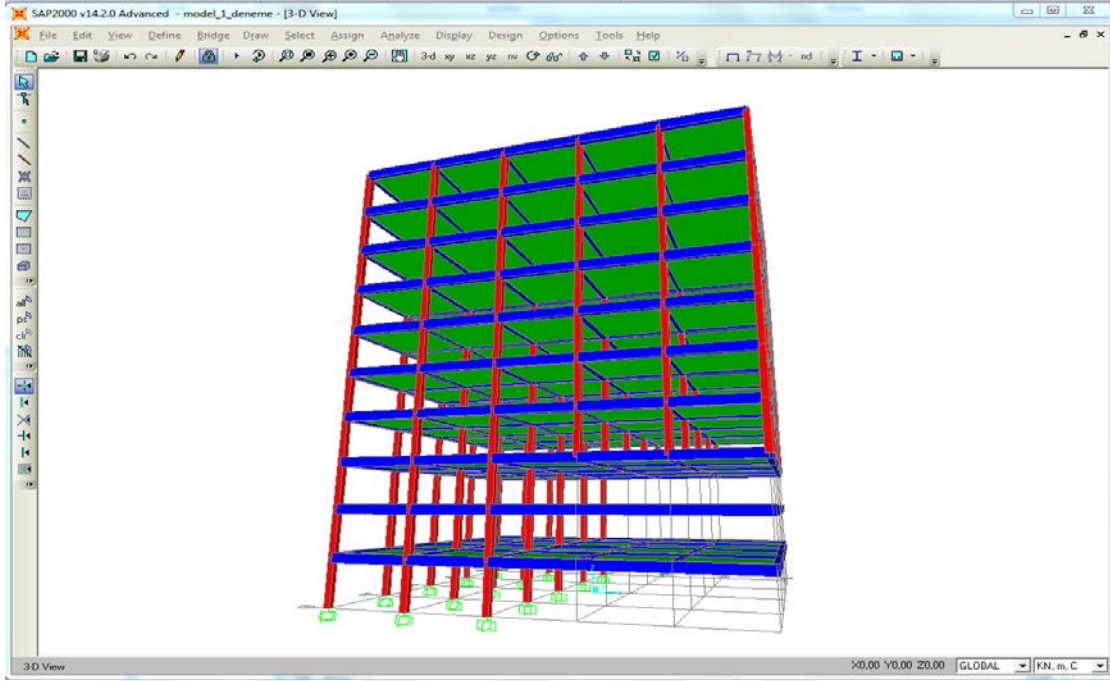
Şekil 37. İkinci patlatma tasarımının analiz sonuçları

- h) İkinci patlatma tasarımında yapıda oluşan deformasyon şeklinin belirlenmesi ve yöneliminin sayısal değerinin kontrolü:** Eğer ikinci adımda; yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösteriyor fakat taşıyıcı elemanların öncelik sırasına göre patlatılması sonucu yapıda oluşan deformasyon değeri ($0.003+0.0135=0.0165$ m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (1.2 m) aşmıyorsa üçüncü patlatma dizaynına ihtiyaç vardır (Şekil 38) (Türker vd., 2020).

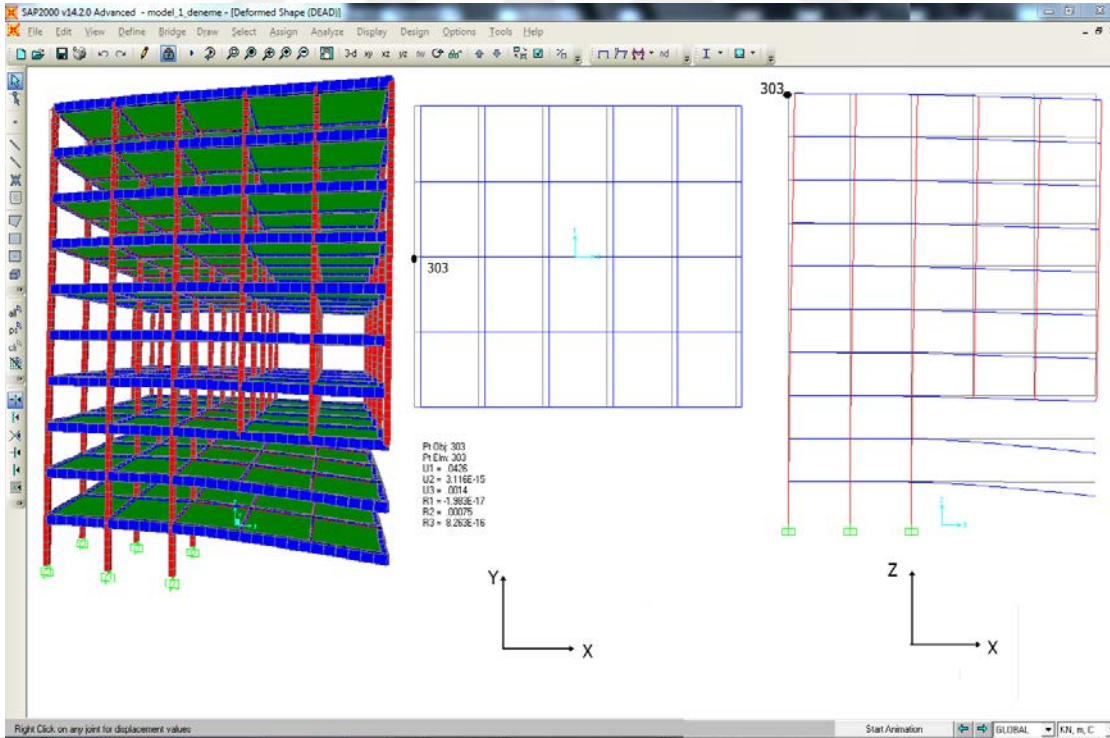


Şekil 38. Modelde silinen taşıyıcı elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi

- i) Yapıdaki deformasyon değerinin izin verilen maksimum deformasyon değerine ulaşmadığı durumda üçüncü patlatma dizaynının yapılması:** Şekil 36'daki yapı dikkate alınır ve üçüncü kez belirlenen öncelik sırasına göre taşıyıcı elemanlar silinerek analiz yapılır (Şekil 39 ve Şekil 40) (Türker vd., 2020).



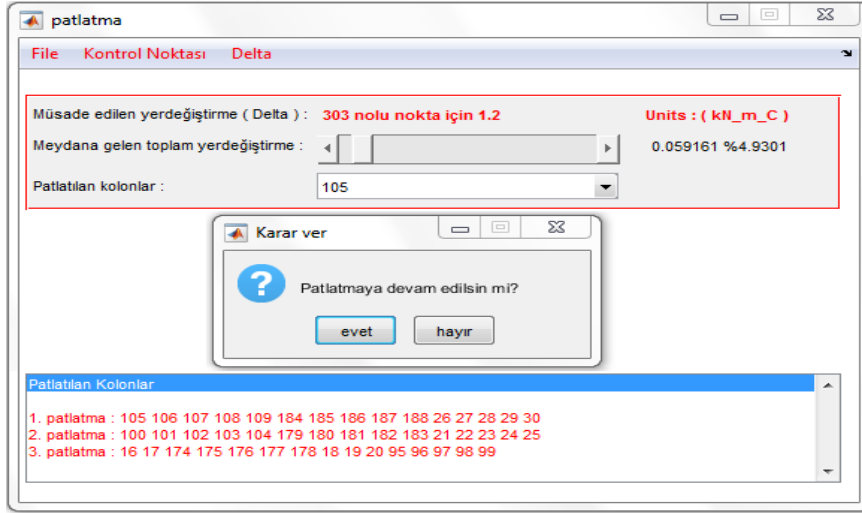
Şekil 39. Üçüncü patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli



Şekil 40. Üçüncü patlatma tasarımının analiz sonuçları

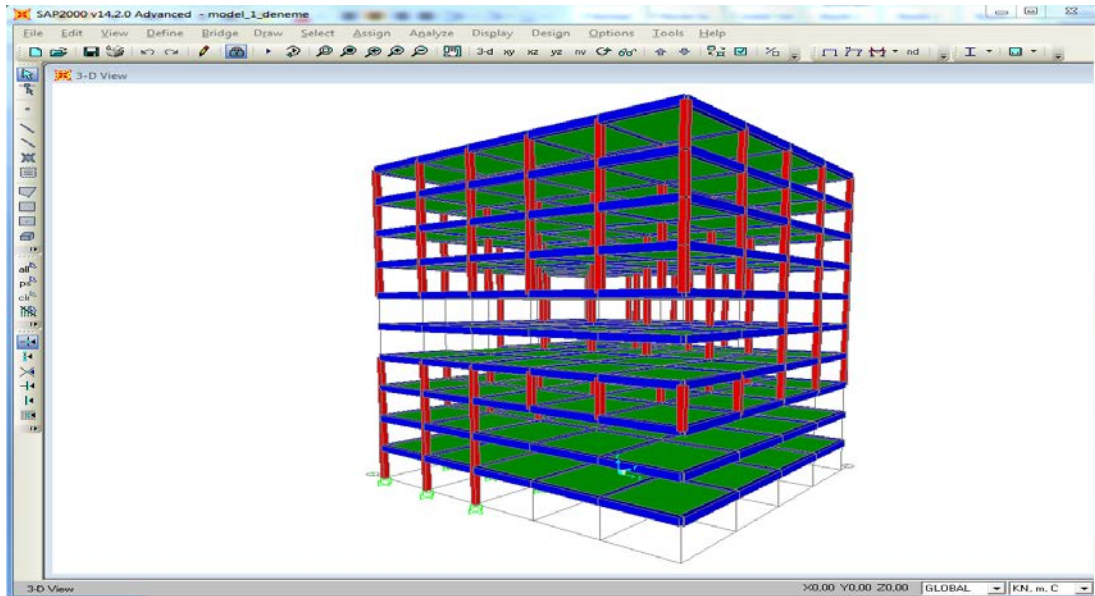
- j) **Üçüncü patlatma tasarımında yapıda oluşan deformasyon şeklinin belirlenmesi ve yöneliminin sayısal değerinin kontrolü:** Eğer üçüncü adımda; hem yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösteriyor, hem de taşıyıcı elemanların öncelik sırasına göre

patlatılması sonucu yapıda oluşan deformasyon değeri ($0.0165+0.0426=0,0591$ m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (1.2 m) aşmıyorsa dördüncü patlatma dizaynına ihtiyaç vardır (Şekil 41) (Türker vd., 2020).



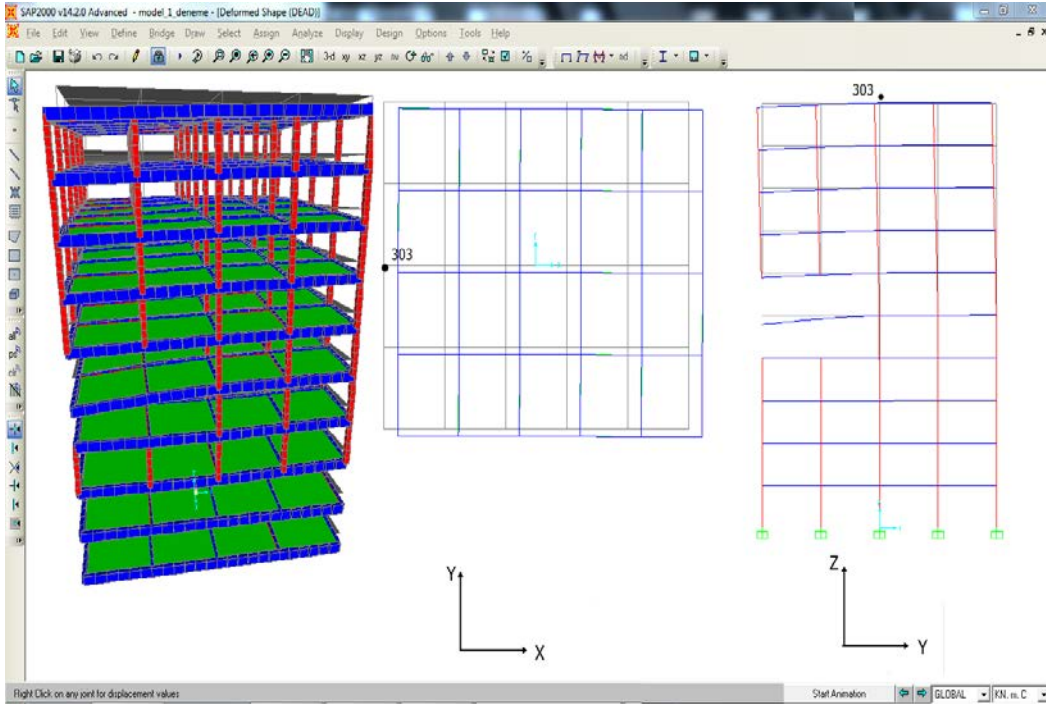
Şekil 41. Modelde silinen taşıyıcı elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi

k) Yapıdaki deformasyon değerinin izin verilen maksimum deformasyon değerine ulaşmadığı durumda dördüncü patlatma dizaynının yapılması: Yapının kontrollü yıkımı için dördüncü kez belirlenen öncelik sırasına göre programda taşıyıcı elemanlar seçilerek silinir (Şekil 42) (Türker vd., 2020).



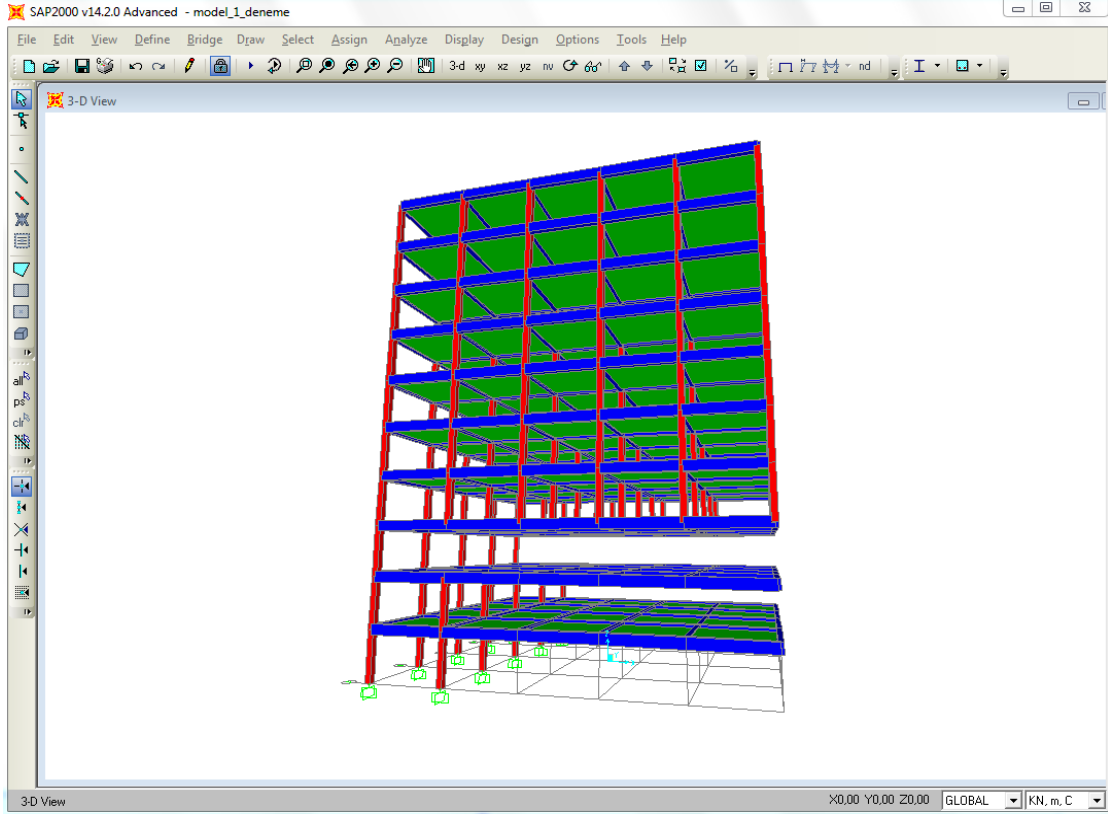
Şekil 42. Dördüncü patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli

- l) **İstenilen yönelimin oluşmaması durumunda yapı modelinin bir önceki haline getirilmesi ve bir önceki adımın tekrarlanması:** SAP2000 programındaki yapı modelinin istenilen yöne doğru yıkılmadığı durumda, arayüz programında ‘Patlamayı Geri Al’ düğmesine tıklanarak yapı modeli otomatik olarak bir önceki haline getirilir. Bu adımda yapı, y yönünde bir eğilim gösterdiği ve bu durum istenmediği için model bir önceki duruma getirilmeli; daha sonra ise farklı bir yıkım dizaynı oluşturulmalıdır (Şekil 43) (Türker vd., 2020).



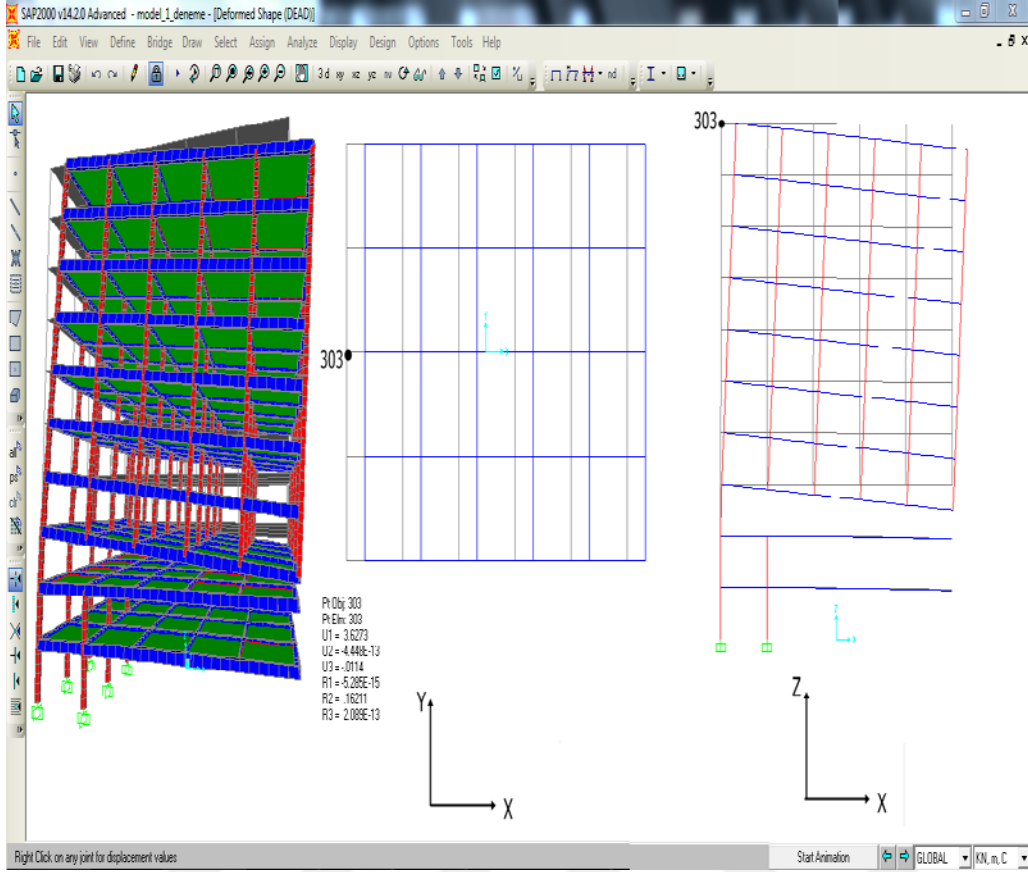
Şekil 43. Dördüncü patlatma tasarımının analiz sonuçları

- m) **Beşinci patlatma tasarımının belirlenmesi:** Yapının kontrollü yıkımı için dördüncü kez belirlenen öncelik sırasına göre programda taşıyıcı elemanlar seçilerek silinir (Şekil 44) (Türker vd., 2020).



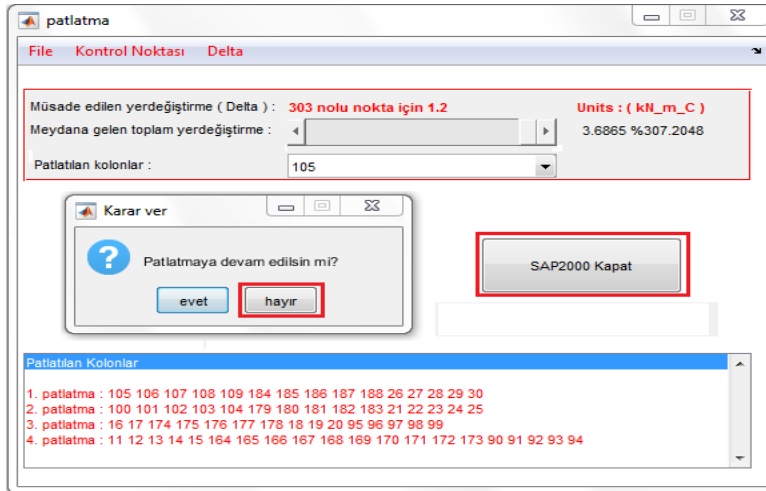
Şekil 44. Beşinci patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli

- n) **Beşinci patlatma tasarımında yapıda oluşan deformasyon şeklinin belirlenmesi ve yöneliminin sayısal değerinin kontrolü:** Eğer ilgili adımda; hem yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösteriyor, hem de taşıyıcı elemanların öncelik sırasına göre patlatılması sonucu yapıda oluşan deformasyon değeri (3.6865 m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (1.2 m) aşıyorsa yapının göçtüğü kabul edilir ve bu tasarım “yıkım tasarımı” olarak sonuçlanabilir (Şekil 45) (Türker vd., 2020).



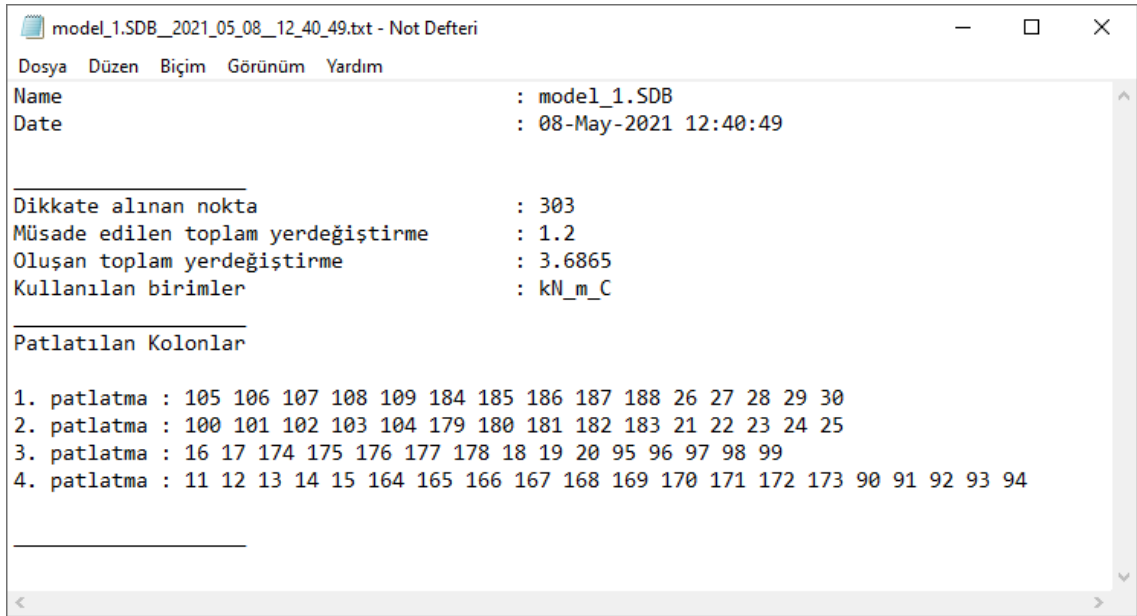
Şekil 45. Beşinci patlatma tasarımının analiz sonuçları

Hedeflenen yöne ve yer değiştirmeye uygun yıkım tasarımı elde edildikten sonra programda patlatma işlemi durdurulur ve tasarım raporu program tarafından otomatik olarak hazırlanır (Şekil 46).



Şekil 46. Hedeflenen yöne ve yer değiştirmeye uygun yıkım tasarımının yapılması

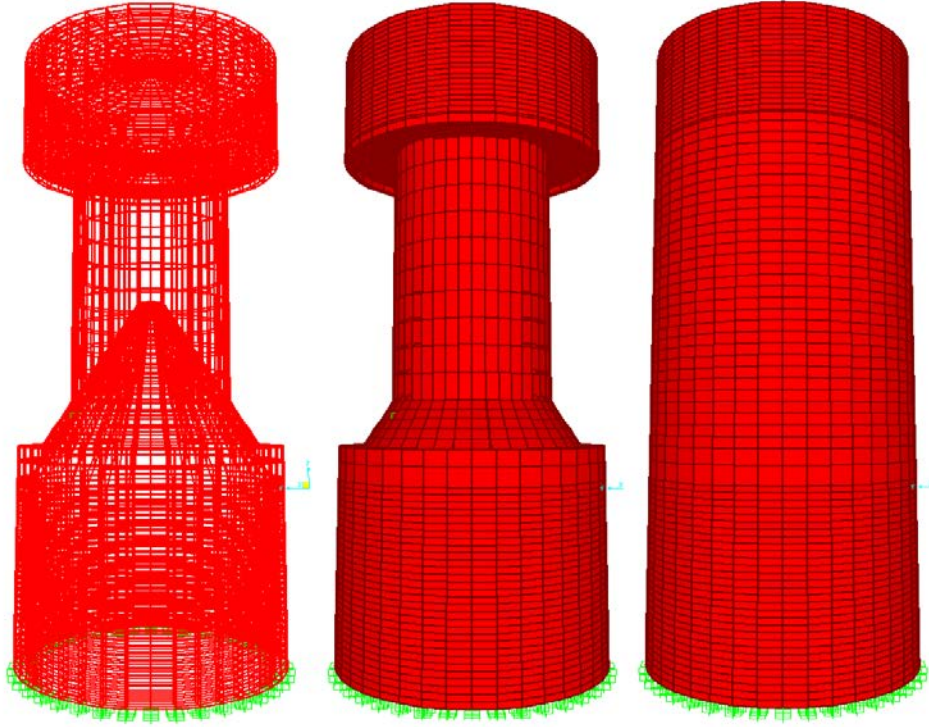
o) Patlatmalı yapı yıkımına ait ‘tasarım sonuç raporu’ oluşturulması: ‘Karar Ver’ penceresinde ‘Hayır’ düğmesine tıklandığında, SAP2000 programında modellenen yapının patlayıcı ile yıkımına ait patlatma ait veriler ‘Patlatma Raporları’ adlı klasörde analiz tarihi ve saati ile birlikte txt formatında otomatik olarak kaydedilir (Türker vd., 2020). Yapıda oluşan deformasyon değerinin 1.2 m’yi aştığı ana kadar yapılan patlatma adımlarında hangi adımları kaç numaralı taşıyıcı elemanların silindiği Şekil 47’de gösterilen txt dosyasında verilmiştir.



Şekil 47. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapıya ait tasarım sonuç raporu

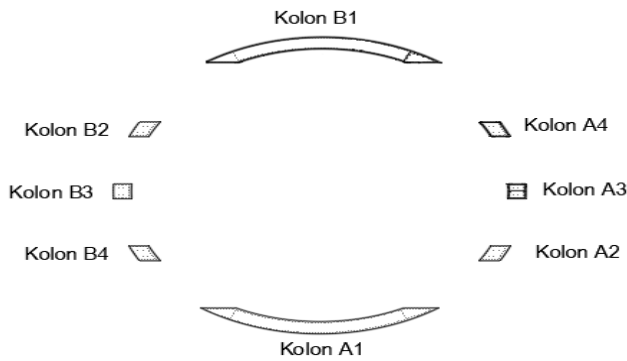
3.2. Çimento Silosunun Program Yardımıyla Analizi

Patlayıcı ile kontrollü yıkımı planlanan silonun patlatma esnasında davranışının incelenmesi için bilgisayar ortamında herhangi bir sonlu eleman programıyla yapı modelinin oluşturulması gerekmektedir. SAP2000 programıyla modellenen silonun modeli ve silonun iç kısmının görünüşü Şekil 48’de gösterilmiştir.



Şekil 48. Çimento silosunun iç ve dış kısımlarının modellenmesi

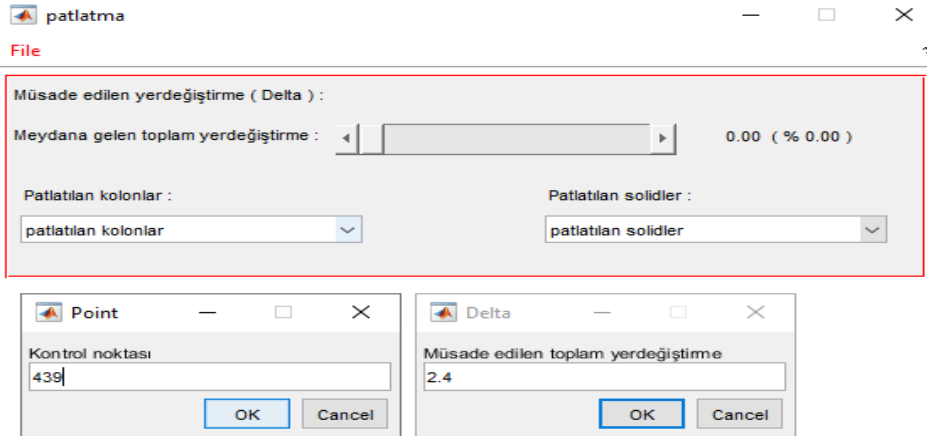
Silonun alt kısmındaki perde duvarın kesilmesi ile Şekil 49'daki kolonların meydana geldiği varsayılmıştır.



Şekil 49. Siloya ait mevcut kolon şeması

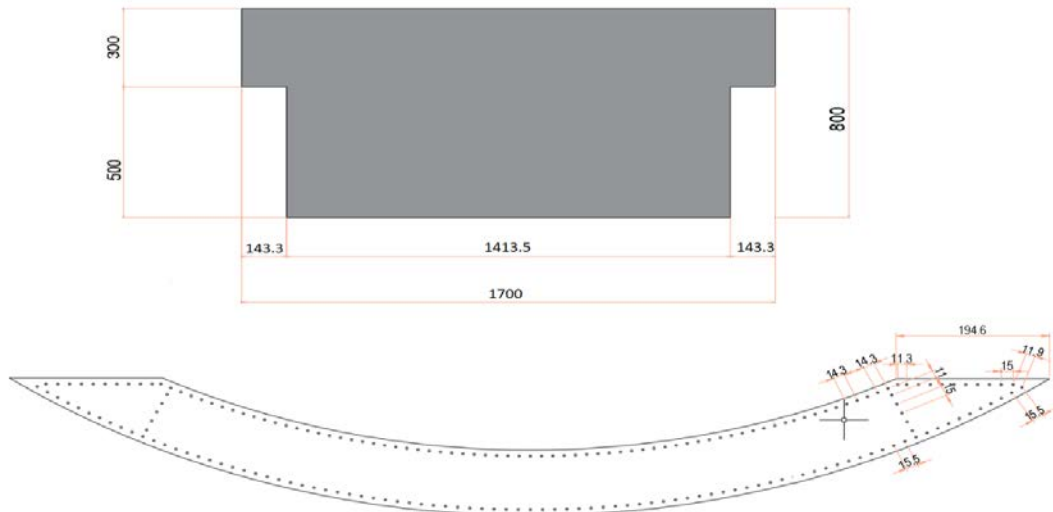
SAP2000 programında oluşturulan model üzerinde, Şekil 49'da verilen şemaya uygun olacak şekilde yapışan değişiklikler yapılmıştır. SAP2000 programı, yapı modelinde yıkım sonucu oluşan deformasyon değerini hesaplar, yapının çöküp çökmeyeceği hakkında bilgi veremez. Bu yüzden yapının çöküp çökmeyeceğini anlayabilmek için simülasyon programı üzerinde kontrol noktası seçilir ve bu kontrol

noktasında oluşan deplasman değerinin, kullanıcı tarafından programa atanan en büyük deplasman değerini aşıp aşmadığı kontrol edilir. Bu şekilde yapının göçüp göçmediği karar verilebilir. Modellenen çimento silosu için x yönündeki tepe noktası olan 439 no'lu noktada en büyük yatay yer değiştirme değeri, silo yüksekliğinin 0.04 katı olarak belirlenmiştir ve 240 cm olarak dikkate alınmıştır (Şekil 50) (Türker vd., 2020).

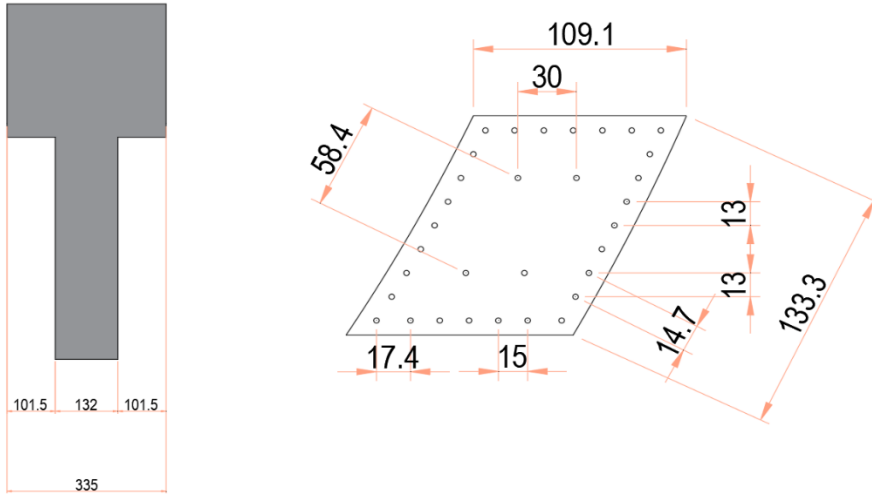


Şekil 50. Kontrol noktasının ve en büyük yer değiştirme değerinin atanması

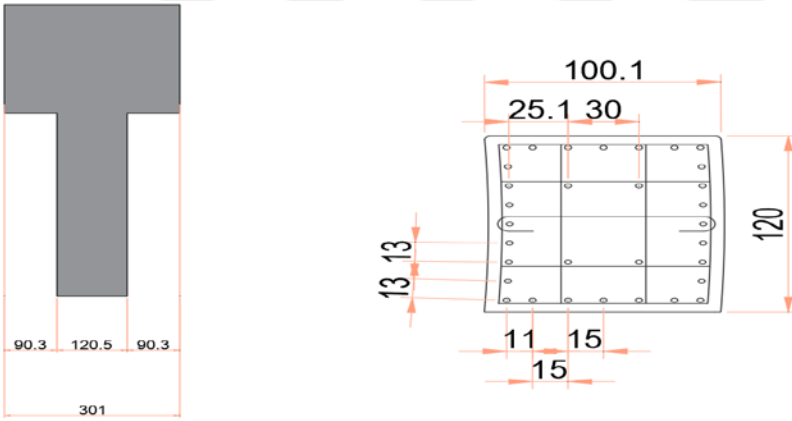
Şekil 49’da verilen kolon şemasındaki kolonların açılımı ve boyutları Şekil 51, Şekil 52 ve Şekil 53’te verilmiştir.



Şekil 51. Kolon A1 ve B1’in boyutları ve donatı planı



Şekil 52. Kolon A2 – A4 –B2 –B4 boyutları ve donatı planı

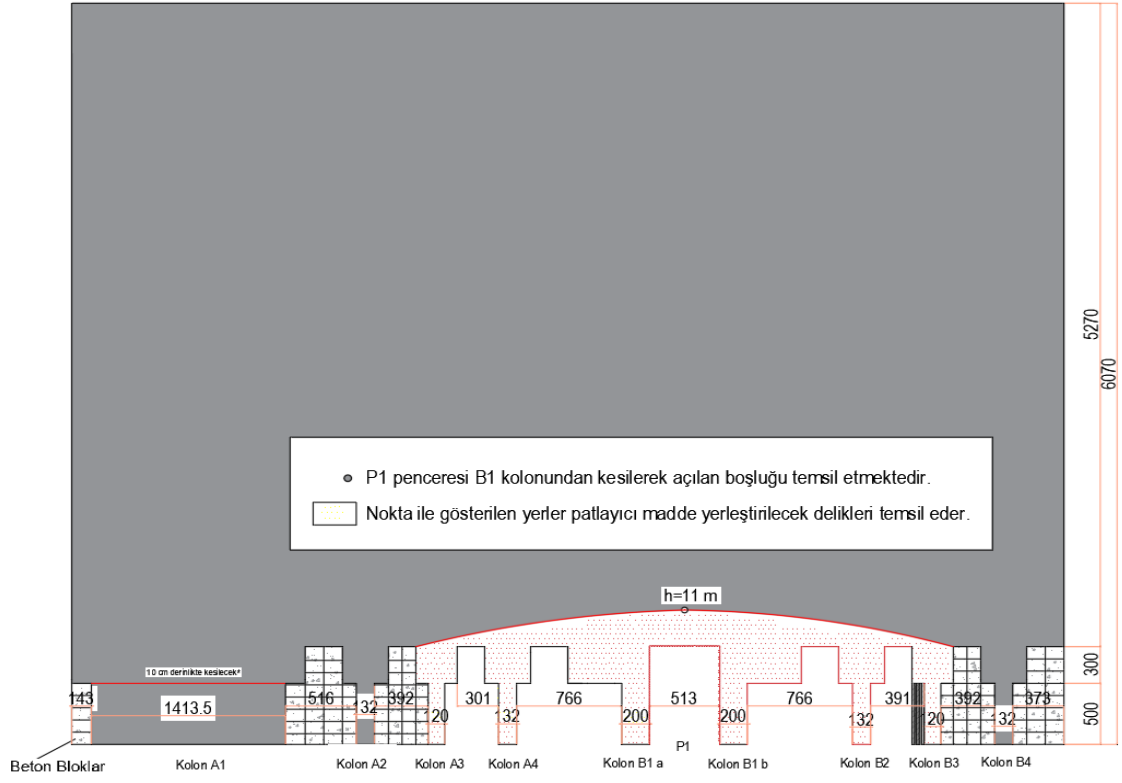


Şekil 53. Kolon A3 – B3 boyutları ve donatı planı

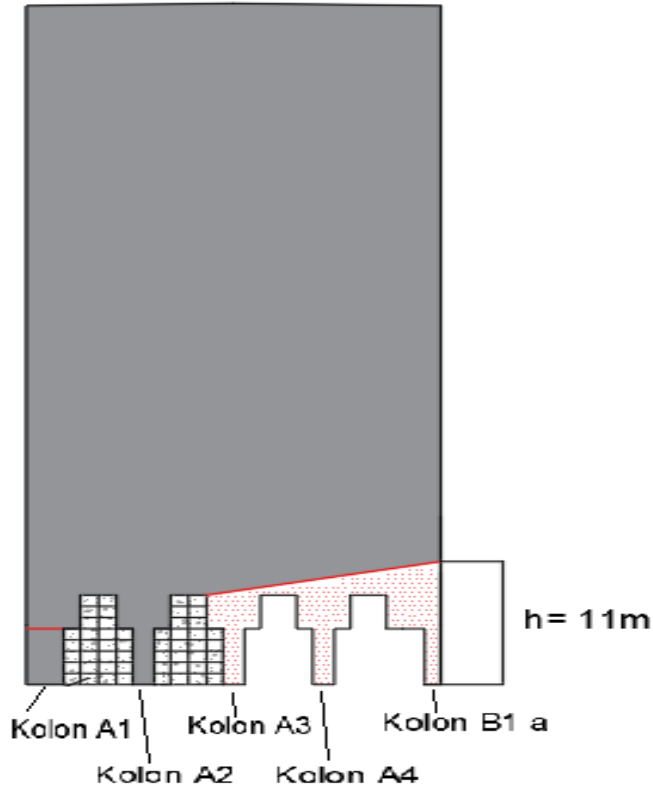
Bu planda;

- Kolon A1 ve B1 simetriktir ve ölçüler aynıdır.
- Kolon A2 – A4 ve B2 – B4 simetriktir ve ölçüler aynıdır.
- Kolon A3 – B3 simetriktir ve ölçüler aynıdır.
- Kolonlar, en alttan başlanarak saat yönü tersinde sırasıyla ilk grup A harfi, ikinci grup B harfi üzerinden isimlendirilip numaralandırılmıştır.

Şekil 54 ve Şekil 55’te silo açılım görüntüsü ve yerleştirilecek olan patlayıcıların yeri gösterilmiştir.

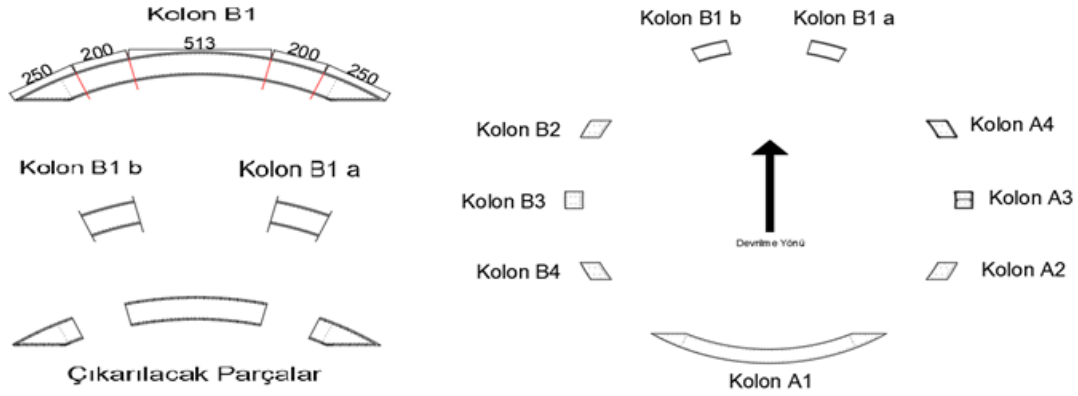


Şekil 54. Perde duvarların kolona çevrilmesi ve deliklerin belirlenmesi



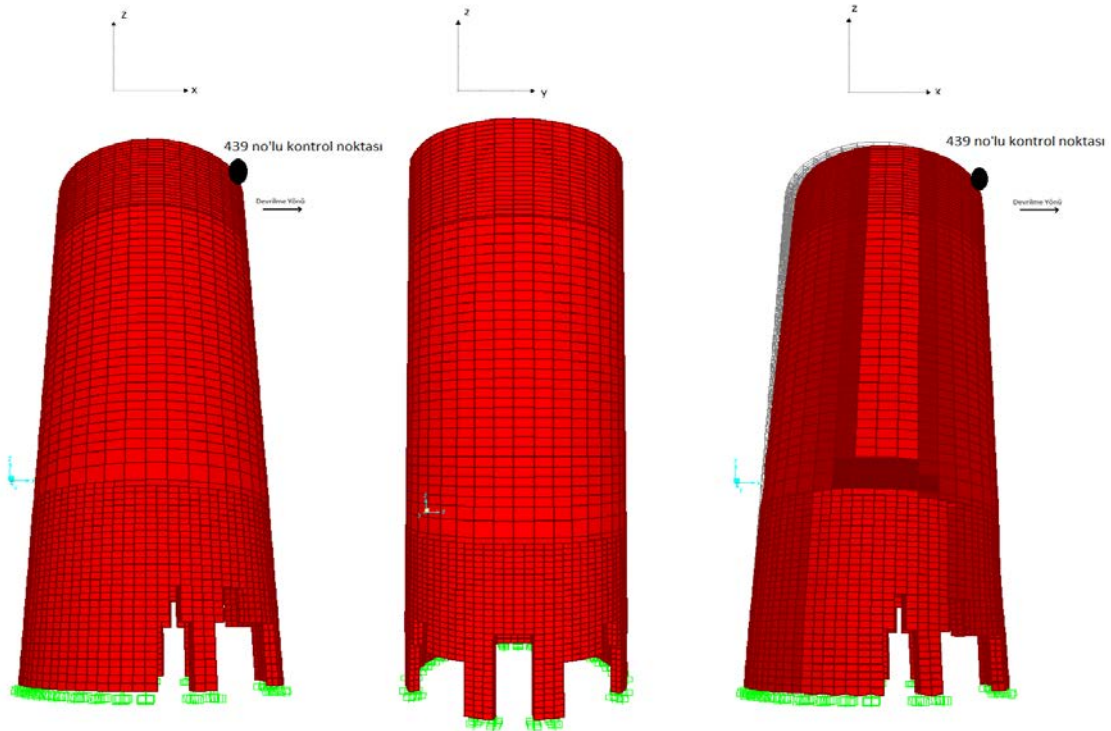
Şekil 55. Silo için patlayıcı yerleşim krokisi

Şekil 54'te B1 kolonunda açılan P1 penceresiyle oluşan boşluktan dolayı B1 kolonunda yapılan değişiklikler, oluşan plan ve devrilme yönü Şekil 56'da gösterilmiştir.



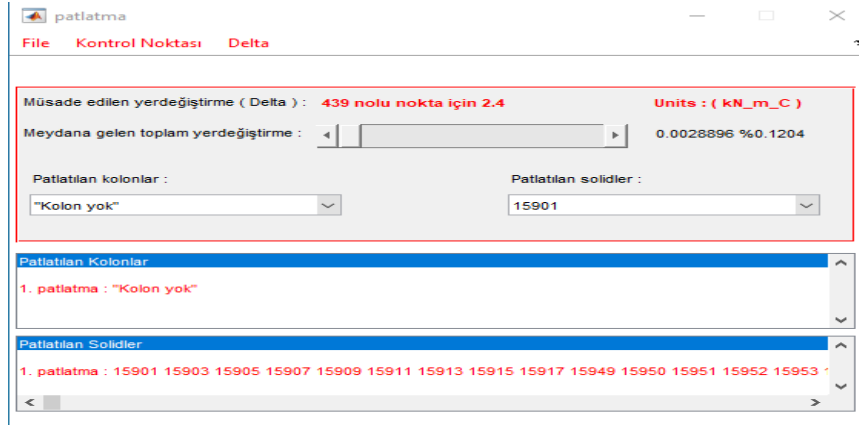
Şekil 56. Kolon B1'de yapılacak değişiklikler ve oluşan kolon planı

Gerekli bilgiler verildikten sonra ilk adım olarak SAP2000 programında, Şekil 54'te gösterilen kolonlar oluşturulmuştur. SAP2000 programında oluşturulan model Şekil 57'de gösterilmiştir.



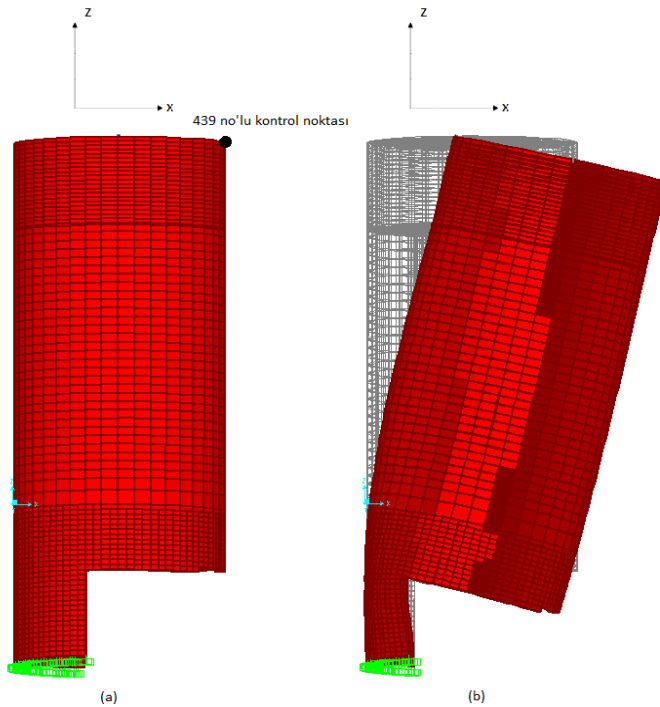
Şekil 57. Yapı modelinin xz-yz doğrultularındaki görünüşü ve deformasyon şekli

İlk adımda; yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi göstermektedir fakat taşıyıcı elemanların yapıda oluşan deformasyon değeri (0.0028896 m), programa girilen maksimum deformasyon değerini (2.4 m) aşmadığından Şekil 54 ve Şekil 55'te patlayıcı yerleştirilecek elemanlar SAP2000 programında silinmeli ve yapı ikinci kez analiz edilmelidir (Şekil 58).



Şekil 58. Modelde silinen elemanların ve oluşan deformasyonun belirlenmesi

Simülasyon programında 'Kolon Patlat' düğmesine tıklanarak Şekil 57'deki yapı modeli dikkate alınır. Şekil 54 ve Şekil 55'te patlayıcı yerleştirilecek elemanlar seçilerek silinir (Şekil 59). SAP2000 programında son haldeki yapı modelinin analizi yapılır.



Şekil 59. Yapı modelinin xz doğrultusundaki görünüşü ve deformasyon şekli

İlgili adımda; hem yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösterdiği için, hem de yapıda oluşan deformasyon değeri (2.7321 m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (2.4 m) aştığı için yapının göçtüğü kabul edilir ve bu tasarım “yıkım tasarımı” olarak sonuçlandırılır (Şekil 60).

patlatma

File Kontrol Noktası Delta

Müsade edilen yerdeğiştirme (Delta) : 439 nolu nokta için 2.4 Units : (kN_m_C)

Meydana gelen toplam yerdeğiştirme : 2.7321 %113.8385

Patlatılan kolonlar : "Kolon yok"

Patlatılan solidier : 15769

Patlatılan Kolonlar

1. patlatma : "Kolon yok"

2. patlatma : "Kolon yok"

Patlatılan Solidier

1. patlatma : 15901 15903 15905 15907 15909 15911 15913 15915 15917 15950 15952 15954 15956 15958

2. patlatma : 15769 15770 15771 15772 15773 15774 15775 15776 15777 15778 15779 15780 15781 15782

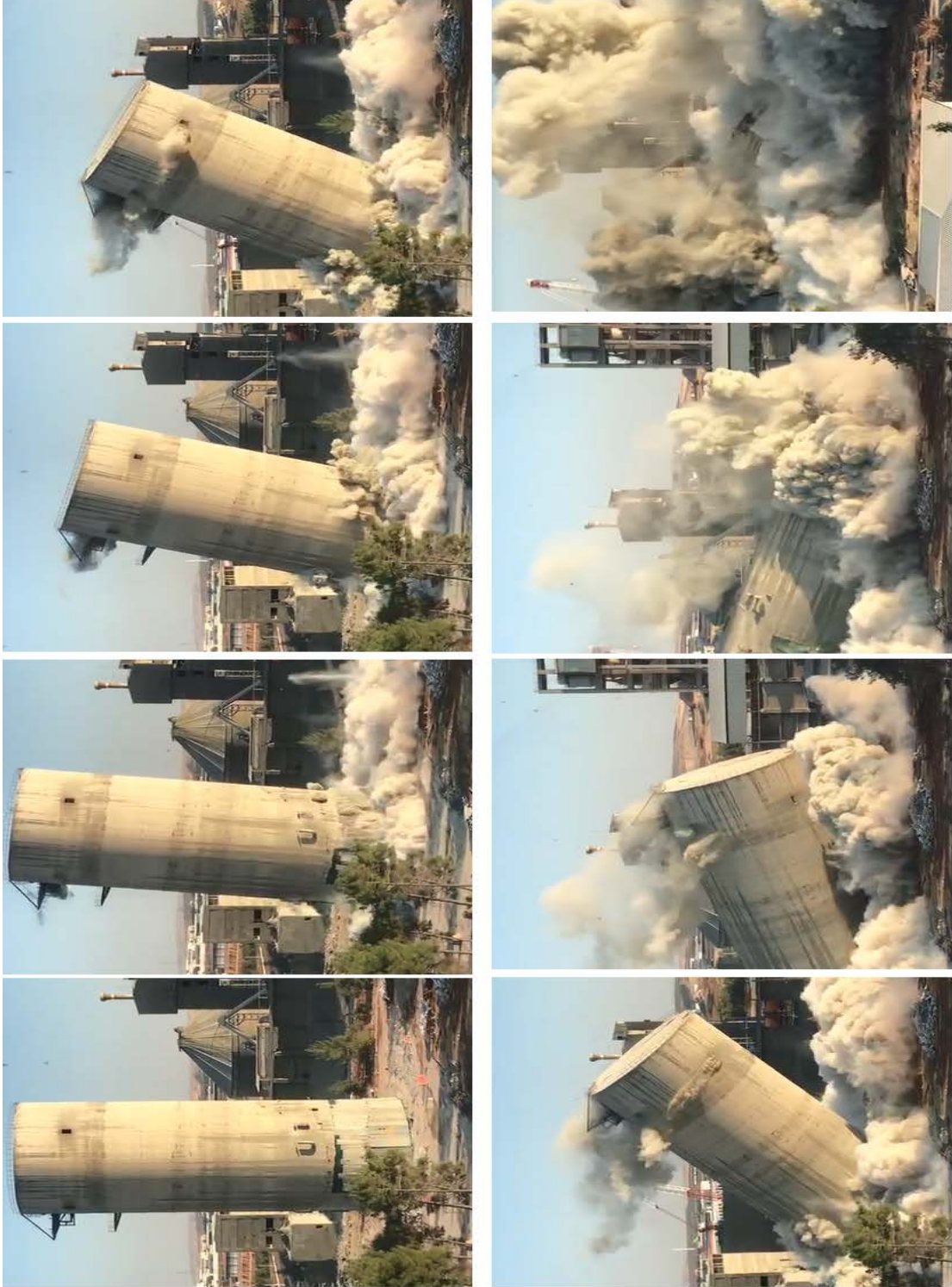
Şekil 60. Hedeflenen yöne ve yer değiştirmeye uygun yıkım tasarımının yapılması

SAP2000 programında modellenen yapıya ait patlatma sonuç raporu ‘Patlatma Raporları’ adlı klasörde analiz tarihi ve saati ile birlikte txt formatında otomatik olarak kaydedilir. Yapı iki adımda yıkılmış olup yıkım adımlarında hangi bölgelerin silindiği Şekil 61’de gösterilen txt dosyasında verilmiştir.

cimento_silosu.SDB_2021_05_20_18_35_03.txt - Not Defteri	
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım	
Name	: cimento_silosu.SDB
Date	: 20-May-2021 18:35:03
Dikkate alınan nokta	: 439
Müşade edilen toplam yerdeğiştirme	: 2.4
Oluşan toplam yerdeğiştirme	: 2.7321
Kullanılan birimler	: kN_m_C
Patlatılan Kolonlar	
1. patlatma : "Kolon yok"	
2. patlatma : "Kolon yok"	
Patlatılan Solidler	
1. patlatma : 15901 15903 15905 15907 15909 15911 15913 15915 15917 15950 15952 15954 15956 15958 15959 15960 15961 15962 15963 15964 15965 15966 15967 15968 15969 15970 15971 15972 15973 15974 15975 15976 16065 16067 16069 16071 16073 16075 16076 16077 16078 16079 16080 16081 16082 16083 16084 16085 16086 16087 16088 16089 16090 16091 16092 16123 16124 16125 16126 16127 16128 16129 16130 16131 16132 16133 16134 16135 16136 16137 16138 16139 16140 16141 16142 16143 16144 16145 16146 16147 16148 16149 16150 16191 16192 16193 16194 16195 16196 16197 16198 16199 16200 16201 16202 16203 16204 16205 16206 16207 16208 16249 16250 16251 16252 16253 16254 16255 16256 16257 16258 16259 16260 16261 16262 16263 16264 16265 16266 16308 16310 16312 16314 16316 16318 16320 16322 16324 16413 16414 16415 16416 16417 16418 16419 16420 16421 16422 16423 16424 16425 16426 16427 16428 16429 16430 16431 16432 16433 16434 16435 16436 16437 16438 16439 16440 16471 16472 16473 16474 16475 16476 16477 16478 16479 16480 16481 16482 16483 16484 16485 16486 16487 16488 16489 16490 16491 16492 16493 16494 16495 16496 16497 16498 16597 16599 16601 16603 16605 16607 16609 16611 16613 16655 16656 16657 16658 16659 16660 16661 16662 16663 16664 16665 16666 16667 16668 16669 16670 16671 16672 16713 16714 16715 16716 16717 16718 16719 16720 16721 16722 16723 16724 16725 16726 16727 16728 16729 16730 16761 16762 16763 16764 16765 16766 16767 16768 16769 16770 16771 16772 16773 16774 16775 16776 16777 16778 16779 16780 16781 16782 16783 16784 16785 16786 16787 16788 16820 16822 16824 16826 16828 16829 16830 16831 16832 16833 16834 16835 16836 16837 16838 16839 16840 16841 16842 16843 16844 16845 16846 16935 16937 16939 16941 16943 16945 16946 16947 16948 16949 16950 16951 16952 16953 16954 16955 16956 16957 16958 16959 16960 16961 16962 17004 17006 17008 17010 17012 17014 17016 17018 17020 18259 18261 18263 18265 18267 18269 18271 18273 18275 18308 18310 18312 18314 18316 18317 18318 18319 18320 18321 18322 18323 18324 18325 18326 18327 18328 18329 18330 18331 18332 18333 18334 18423 18425 18427 18429 18431 18433 18434 18435 18436 18437 18438 18439 18440 18441 18442 18443 18444 18445 18446 18447 18448 18449 18450 18481 18482 18483 18484 18485 18486 18487 18488 18489 18490 18491 18492 18493 18494 18495 18496 18497 18498 18500 18501 18502 18503 18504 18505 18506 18507 18508 18549 18550 18551 18552 18553 18554 18555 18556 18557 18558 18559 18560 18561 18562 18563 18564 18565 18566 18607 18608 18609 18610 18611 18612 18613 18614 18615 18616 18617 18618 18619 18620 18621 18622 18623 18624 18666 18668 18670 18672 18674 18676 18678 18680 18682 18771 18772 18773 18774 18775 18776 18777 18778 18779 18780 18781 18782 18783 18784 18785 18786 18787 18788 18789 18790 18791 18792 18793 18794 18795 18796 18797 18798 18829 18830 18831 18832 18833 18834 18835 18836 18837 18838 18839 18840 18841 18842 18843 18844 18845 18846 18847 18848 18849 18850 18851 18852 18853 18854 18855 18856 18857 18858 18859 18895 18961 18963 18965 18967 18969 18971 19013 19014 19015 19016 19017 19018 19019 19020 19021 19022 19023 19024 19025 19026 19027 19028 19029 19030 19071 19072 19073 19074 19075 19076 19077 19078 19079 19080 19081 19082 19083 19084 19085 19086 19087 19088 19119 19120 19121 19122 19123 19124 19125 19126 19127 19128 19129 19130 19131 19132 19133 19134 19135 19136 19137 19138 19139 19140 19141 19142 19143 19144 19145 19146 19178 19180 19182 19184 19186 19187 19188 19189 19190 19191 19192 19193 19194 19195 19196 19197 19198 19199 19200 19201 19202 19203 19204 19293 19295 19297 19299 19301 19303 19304 19305 19306 19307 19308 19309 19310 19311 19312 19313 19314 19315 19316 19317 19318 19319 19320 19321 19322 19323 19324 19325 19326 19327 19328 19329 19330 19331 19332 19333 19334 19335 19336 19337 19338 19339 19340 19341 19342 19343 19344 19345 19346 19347 19348 19349 19350 19351 19352 19353 19354 19355 19356 19357 19358 19359 19360 19361 19362 19363 19364 19365 19366 19367 19368 19369 19370 19372 19374 19376 19378	
2. patlatma : 15769 15770 15771 15772 15773 15774 15775 15776 15777 15778 15779 15780 15781 15782 15783 15784 15785 15786 15787 15788 15789 15790 15791 15792 15793 15794 15795 15796 15797 15798 15799 15800 15801 15802 15827 15828 15829 15830 15831 15832 15833 15834 15835 15836 15837 15838 15839 15840 15841 15842 15843 15844 15845 15846 15847 15848 15849 15850 15851 15852 15853 15854 15855 15856 15857 15858 15859 15860 15861 15862 15863 15864 15865 15866 15867 15868 15869 15870 15871 15872 15873 15874 15875 15876 15877 15878 15879 15880 15881 15882 15883 15884 15885 15886 15887 15888 15889 15890 15891 15892 15893 15894 15895 15896 15897 15898 15899 15900 15902 15904 15906 15908 15910 15912 15914 15916 15918 15943 15944 15945 15946 15947 15948 15949 15951 15953 15955 15957 16001 16002 16003 16004 16005 16006 16007 16008 16009 16010 16011 16012 16013 16014 16015 16016 16017 16018 16019 16020 16021 16022 16023 16024 16025 16026 16027 16028 16029 16030 16031 16032 16033 16034 16059 16060 16061 16062 16063 16064 16066 16068 16070 16072 16074 16117 16118 16119 16120 16121 16122 16173 16175 16176 16177 16178 16179 16180 16181 16182 16183 16184 16185 16186 16187 16188 16189 16190 16231 16232 16233 16234 16235 16236 16237 16238 16239 16240 16241 16242 16243 16244 16245 16246 16247 16248 16289 16290 16291 16292 16293 16294 16295 16296 16297 16298 16299 16300 16301 16302 16303 16304 16305 16306 16307 16309 16311 16313 16315 16317 16319 16321 16323 16347 16348 16349 16350 16351 16352 16353 16354 16355 16356 16357 16358 16359 16360 16361 16362 16363 16364 16365 16366 16367 16368 16369 16370 16371 16372 16373 16374 16375 16376 16377 16378 16379 16380 16381 16382 16405 16406 16407 16408 16409 16410 16411 16412 16461 16463 16464 16465 16466 16467 16468 16469 16470 16519 16520 16521 16522 16523 16524 16525 16526 16527 16528 16529 16530 16531 16532 16533 16534 16535 16536 16537 16538 16539 16540 16541 16542 16543 16544 16545 16546 16547 16548 16549 16550 16551 16552 16553 16554 16555 16556 16557 16578 16579 16580 16581 16582 16583 16584 16585 16586 16587 16588 16589 16590 16591 16592 16593 16594 16595 16596 16598 16600 16602 16604 16606 16608 16610 16612 16614 16635 16636 16637 16638 16639 16640 16641 16642 16643 16644 16645 16646 16647 16648 16649 16650 16651 16652 16653 16654 16656 16693 16694 16695 16696 16697 16698 16699 16700 16701 16702 16703 16704 16705 16706 16707 16708 16709 16710 16711 16712 16713 16714 16715 16752 16753 16754 16755 16756 16757 16758 16759 16760 16807 16808 16809 16810 16811 16812 16813 16814 16815 16816 16817 16818 16819 16821 16823 16825 16827 16865 16866 16867 16868 16869 16870 16871 16872 16873 16874 16875 16876 16877 16878 16879 16880 16881 16882 16883 16884 16885 16886 16887 16888 16889 16890 16891 16892 16893 16894 16895 16896 16897 16898 16899 16900 16901 16902 16903 16904 16923 16924 16925 16926 16927 16928 16929 16930 16931 16932 16933 16934 16936 16938 16940 16942 16944 16981 16982 16983 16984 16985 16986 16987 16988 16989 16990 16991 16992 16993 16994 16995 16996 16997 16998 16999 17000 17001 17002 17003 17005 17007 17009 17011 17013 17015 17017 17019 17041 17042 17043 17044 17045 17046 17047 17048 17049 17050 17051 17052 17053 17054 17055 17056 17057 17058 17059 17060 17061 17062 17063 17064 17065 17066 17067 17068 17069 17070 17071 17072 17073 17074 17075 17076 17077 17078 17079 17080 17101 17102 17103 17104 17105 17106 17107 17108 17109 17110 17111 17112 17113 17114 17115 17116 17117 17118 17119 17120 17121 17122 17123 17124 17125 17126 17127 17128 17129 17130 17131 17132 17133 17134 17135 17136 17137 17138 17139 17140 17147 17162 17164 17166 17168 17170 17172 17174 17176 17178 17180 17182 17184 17186 17188 17190 17192 17194 17196 17198 17200 18067 18069 18071 18073 18075 18077 18079 18081 18083 18085 18087 18089 18091 18093 18095 18097 18099 18127 18128 18129 18130 18131 18132 18133 18134 18135 18136 18137 18138 18139 18140 18141 18142 18143 18144 18145 18146 18147 18148 18149 18150 18151 18152 18153 18154 18155 18156 18157 18158 18159 18160 18185 18186 18187 18188 18189 18190 18191 18192 18193 18194 18195 18196 18197 18198 18199 18200 18201 18202 18203 18204 18205 18206 18207 18208 18209 18210 18211 18212 18213 18214 18215 18216 18217 18218 18243 18244 18245 18246 18247 18248 18249 18250 18251 18252 18253 18254 18255 18256 18257 18258 18260 18262 18264 18266 18268 18270 18272 18274 18276 18301 18302 18303 18304 18305 18306 18307 18309 18311 18313 18315 18359 18360 18361 18362 18363 18364 18365 18366 18367 18368 18369 18370 18371 18372 18373 18374 18375 18376 18377 18378 18379 18380 18381 18382 18383 18384 18385 18386 18387 18388 18389 18390 18391 18392 18417 18418 18419 18420 18421 18422 18424 18426 18428 18430 18432 18475 18476 18477 18478 18479 18480 18531 18532 18533 18534 18535 18536 18537 18538 18539 18540 18541 18542 18543 18544 18545 18546 18547 18548 18549 18590 18591 18592 18593 18594 18595 18596 18597 18598 18599 18600 18601 18602 18603 18604 18605 18606 18647 18648 18649 18650 18651 18652 18653 18654 18655 18656 18657 18658 18659 18660 18661 18662 18663 18664 18665 18667 18669 18671 18673 18675 18677 18679 18681 18705 18706 18707 18708 18709 18710 18711 18712 18713 18714 18715 18716 18717 18718 18719 18720 18721 18722 18723 18724 18725 18726 18727 18728 18729 18730 18731 18732 18733 18734 18735 18736 18737 18738 18739 18740 18763 18764 18765 18766 18767 18768 18769 18770 18771 18772 18773 18774 18775 18776 18777 18778 18779 18780 18781 18782 18783 18784 18785 18786 18787 18788 18789 18880 18881 18882 18883 18884 18885 18886 18887 18888 18889 18890 18891 18892 18893 18894 18895 18896 18897 18898 18899 18900 18901 18902 18903 18904 18905 18906 18907 18908 18909 18910 18911 18912 18913 18914 18935 18936 18937 18938 18939 18940 18941 18942 18943 18944 18945 18946 18947 18948 18949 19000 19001 19002 19003 19004 19005 19006 19007 19008 19009 19010 19011 19012 19013 19014 19015 19016 19017 19018 19019 19020 19021 19022 19023 19024 19025 19026 19027 19028 19029 19030 19031 19032 19033 19034 19035 19036 19037 19038 19039 19040 19041 19042 19043 19044 19045 19046 19047 19048 19049 19050 19051 19052 19053 19054 19055 19056 19057 19058 19059 19060 19061 19062 19063 19064 19065 19066 19067 19068 19069 19070 19109 19110 19111 19112 19113 19114 19115 19116 19117 19118 19165 19167 19168 19169 19170 19171 19172 19173 19174 19175 19176 19177 19179 19181 19183 19185 19223 19224 19225 19226 19227 19228 19229 19230 19231 19232 19233 19234 19235 19236 19237 19238 19239 19240 19241 19242 19243 19244 19245 19246 19247 19248 19249 19250 19251 19252 19253 19254 19255 19256 19257 19258 19259 19260 19261 19262 19263 19264 19265 19266 19267 19268 19269 19270 19271 19272 19273 19274 19275 19276 19277 19278 19279 19280 19281 19282 19283 19284 19285 19286 19287 19288 19289 19290 19291 19292 19293 19294 19295 19296 19297 19298 19300 19302 19303 19304 19305 19306 19307 19308 19309 19310 19311 19312 19313 19314 19315 19316 19317 19318 19319 19320 19321 19322 19323 19324 19325 19326 19327 19328 19329 19330 19331 19332 19333 19334 19335 19336 19337 19338 19339 19340 19341 19342 19343 19344 19345 19346 19347 19348 19349 19350 19351 19352 19353 19354 19355 19356 19357 19358 19359 19360 19361 19362 19363 19364 19365 19366 19367 19368 19369 19370 19372 19374 19376 19378 19554 19556 19558	

Şekil 61. Patlatmalı yıkımı yapılacak siloya ait tasarım sonuç raporu

SAP2000 programında yıkım tasarımı incelenen çimento silosunun yıkım firması tarafından Gaziantep’te yıkımı gerçekleştirilmiş olup yıkıma ait görüntüler Şekil 62’de gösterilmiştir.



Şekil 62. Gaziantep’teki çimento silosunun yıkımına ait görüntüler

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Patlayıcı ile yapıların yıkımında istenilen sonuçların alınması için iyi bir yıkım planlamasının yapılması gerekmektedir. Bu planlama; yapının statik ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi, yapının istenilen yıkım yönüne göre yapıda hangi taşıyıcı elemanların patlatılacağına belirlenmesi, bu taşıyıcı elemanların geometrisi ve malzeme özelliklerine bağlı olarak özgül şarj miktarlarının hesaplanması, oluşturulacak delik çaplarının ve toplam delik sayısının belirlenmesi, ateşleme sistemi ve gecikme aralıklarının belirlenmesi sürecini kapsamaktadır. Ancak bu planlamanın en başında yapılması gereken ilk iş yapı statik özelliklerinin belirlenmesi ve daha sonra ise istenilen yıkım yönüne uygun olacak şekilde gerekli yapı elemanlarının patlayıcı ile ortadan kaldırılmasıdır. Bu adımlar gerçekleştirildikten sonra patlatılacak taşıyıcı elemanlara yerleştirilecek patlayıcı miktarları ve oluşturulacak delik çapları belirlenebilir. Bu çalışmada; patlayıcı ile yapı yıkımında karşılan en önemli sorun olan farklı yöne yıkılmaların önüne geçebilmek amacıyla sonlu eleman modelleri üzerinden gerçekleştirilen yapısal analizlere dayalı bir simülasyon programı oluşturulmuştur. Bu programın uygulanabilirliği, seçilen 10 katlı tipik bir betonarme binanın istenilen yöne doğru yıkım tasarımı yapılarak gösterilmiştir. Her aşamada belirlenen taşıyıcı elemanların patlatma ile ortadan kalktığı varsayılarak bu elemanlar sistemden çıkarılmış ve yapı SAP 2000 analiz programı ile tekrar çözülmüştür. Daha sonra ise hangi elemanların hangi adımda silindiği bilgisi simülasyon programında otomatik olarak kaydedilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmadan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Binaların patlayıcı kullanılarak kontrollü yıkım tasarımının, sonlu eleman analizlerine bağlı yapısal değerlendirmelere daha etkin yapılabileceği ortaya konulmuştur.
- Simülasyon programında elde edilen yıkım tasarımıyla bina yıkımının istenilen yönde gerçekleştirilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir.
- Simülasyon programıyla oluşturulan rapordan binanın yıkımında patlatılacak elemanların sırası belirlenebilmiştir.
- Binanın yıkılmasını sağlayacak minimum sayıda yapısal elemana patlayıcı konulması hedeflendiğinden en ekonomik patlatma tasarımı oluşturulmuştur.

Sonlu eleman modellerine dayalı yapısal analizlere göre gerçekleştirilen patlatmalı yıkım tasarımı bina, kule, köprü vb. diğer bütün yapılar için uygulanabilir bir

yaklaşımıdır. Bu çalışmada ortaya konulan yaklaşımın ve geliştirilen simülasyon programının kullanılması durumunda patlatmalı yıkımın daha etkin bir şekilde yapılabileceği düşünülmektedir.



5. ÖNERİLER

Yapıların patlayıcı ile yıkımı üzerine gelecekte ülkemizde yapılacak çalışmalarda,

- yapıda herhangi bir sayıda gerçek veya olası olaydan sonra gerçekleşen yapısal hatanın verimli bir şekilde dinamik analizinin yapılmasına olanak sağlayan,
- yapı veya yapı içindeki farklı yapı elemanlarının ön görülen koşullar altında nasıl davranacağını görselleştirilmesine izin vererek patlatma yüklerine maruz kalan yapıyı analiz edebilen,
- donatının akması, plastik mafsall oluşumu, burkulma ve burkulma sonrası çatlak yayılımı, P-delta etkisi dahil olmak üzere elastik ve elastik olmayan modlar arasında yapının analiz edilmesine olanak sağlayan bir program üzerinde yoğun çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anil, A., Chandrasekaran, S. S., Boominathan, A. (2020). Impact of vibrations on a high rise RCC structure due to blast induced demolition of adjacent building. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference, Visakhapatnam, Hindistan, 17-19 December, 1-11.*
- Anonim, (2014). Kentsel Dönüşüm Türkiye, Cushman ve Wakefield, Türkiye, 14 s.
- Bahadır, F., Açikel, H. (2009). Bir betonarme sanayi yapısının bilgisayar ortamında patlayıcılar ile kontrollü yıkımı. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 13-16 Mayıs, 1-5.
- Doğan, E., Uzal, B., Pehlivanoglu, K., İyicil, E. (2009). Patlayıcı kullanılarak betonarme bir su kulesi yıkımı. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*–457, 35-44.
- Dowding, H. C. (1996). *Construction Vibration*. Prentice Hall, ISBN: 0-13-299108-X, 610s, 265-283.
- Elliot, R. J., Woolf, R. (2001). Demolition blasting of reinforced concrete structures, *Proceedings of the 1 st World Conference on Explosives & Blasting Technique*, Munich, Germany, 6-8 September, 397-403.
- Erkoç, O. Y., Sunu, M.Z., Aldaş, G. G. U., ve Özkazanç, M. O. (2001). Patlayıcı madde kullanarak su deposu yıkımı. *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Türkiye, 23-27.
- Görgün, S. (2002). Kontrollü patlatma ilkelerinin yapıların yıkılmasında kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 163 s.
- Griffin, W. J. (2008). Experimental and Analytical Investigation of Progressive Collapse Through Demolition Scenarios and Computer Modeling. Master Thesis. North Carolina State University, United State.
- Isobe, D., Toi, Y. (1998). ASI Finite Element Analysis of Dynamic Collapse Behaviors of Framed Structures Considering Member Fracture. *Computational Mechanics*, 1-9.
- Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., Carceda, F. J. A. (1995). Drilling and Blasting of Rocks. A. A. Balkema, ISBN: 90-5410-199-7, 387, Ramiro, Y. V. D. (Ç. Ed.), 312.
- Kasai, Y., Saito, T., Seki, Y., Tomita, K., Ishibashi, J. (1993). Blasting Demolition of Six-Storey Reinforced Concrete Apartment Building (Part 2: Demolition Plan, Pre-Work Measures, Collopse Conditions.), Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. *Proceedings of the Third International RILEM Symposium*. Odense, Denmark, E. & F.N. Spon, London, 24-27 October, 181-193.

- Koca, O. (2006). Patlayıcı maddelerle kontrollü yapı yıkımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 179 s.
- Kurokawa, K., Yoshida, T. , Saito, T., Yamamoto, M., Nakamura, S. (1993). Blasting Demolition of Six-Storey Reinforced Concrete Apartment Building (Part 1: Experimental Blasting Of Reinforced Concrete Apartment Building.), Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International RILEM Symposium, Odense, Denmark, E. & F.N. Spon, London, 24 - 27 October, 162-180.
- Lauritzen, E., Petersen, M. (1991). Partial demolition by mini blasting, *Concrete Journal*, 13 (6), 43-46.
- Lupoae, M., Bucur, C. (2009). Building demolition: positive aspect of progressive collapse. *Military Technical Academy (MTA)*, 19(4), 1-10.
- MATLAB: MathworksInc. (1999). Natick, MA.
- Molin, C., Lauritzen, E. K. (1992). Part Three Blasting of Concrete: Localized Cutting In and Partial Demolition of Concrete Structures, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, Taylor and Francis Group, 282 s, Hansen, T. C. (Ed.), 240-282.
- Olofsson, S.O., 1980. Applied Explosives Technology for Construction and Mining. Applex, ISBN: 91-7970-634-7, 301s, 268–277.
- Özmen, H., Soyluk, K., Anıl, Ö. (2018). Betonarme binaların patlayıcı kullanılarak yıkımında yapı davranışının analizi. 4. *Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Eskişehir, 1 Ağustos, 47-56.
- Özyurt, M. C. (2013). Patlayıcı madde kullanılarak yapıların kontrollü yıkılması ve verimliliğinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 148 s.
- Özyurt, M. C., Özer, Ü., Karadoğan, A., Kalaycı, Ü. (2016). Betonarme bir binanın patlayıcı ile yıkılması ve veriminin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21(2), 43-64.
- SAP2000. (2008). Computers and StructuresInc, California, USA.
- Sawada, I., Kobayashi, N., Nakajiku, M., Shibata, H., Shindo, T. (1993). Blasting Demolition of Six-Storey Reinforced Concrete Apartment Building (Part 3: Blast Design, Noise And Vibration.), Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. Proceedings of the Third International RILEM Symposium. Odense, Denmark, E. & F.N. Spon, London, 24-27 October, 194-207.
- Sikiwat, T., Breidt, M., Hartmann, D. (2009). Computational Steering for Collapse Simulation of Large Scale Complex Structures. *18th International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering*, Weimar, Germany, 7-9 July, 1-8.

- Şimşir, F., Köse, H. (1996). Yapı yıkımlarında patlatma uygulamaları. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Madencilik Dergisi, 35(3), 39-57.
- T.C. Resmi Gazete, (2012). Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun. 6306, 31 Mayıs 2012.
- Türker, T., Tavşan, V. ve Dede, T. (2020). Binaların kontrollü yıkımı için simülasyon programı tasarımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (1), 391-409. DOI: 10.29130/dubited.563098
- URL-1, (2021). <https://tr.euronews.com/2018/04/10/danimarka-da-korkutan-is-kazas-> (2 Mayıs 2021).
- URL-2, (2021). <https://www.yenisafak.com/aktuel/yanlis-hesap-kuleyi-ters-koseye-yatirdi-287534> (2 Mayıs 2021).
- URL-3, (2021). <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> (29 Haziran 2021).
- URL-4, (2021). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210> (29 Haziran 2020).
- URL-5, (2021). <https://www.haberler.com/denizli-de-yikimi-yapilan-carsida-is-kazasi-1-olu-10272411-haberi/> (2 Mayıs 2021).
- URL-6, (2021). <https://www.haberler.com/malatya-da-yikim-yapan-is-makinesi-devrildi-1-9142701-haberi/> (2 Mayıs 2021).
- URL-7, (2021). <https://mabyikim.com.tr/hizmet/dinamitle-yikim> (10 Mayıs 2021).
- Yılmaz, B. (2006). Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi / güçlendirmenin ekonomik olmaması durumunda patlayıcı madde kullanılarak kontrollü yıkımı. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 132 s.