






Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Binaların Kontrollü Yıkımı için Simülasyon Programı Tasarımı

 Temel TÜRKER^{a,*},  Volkan TAVŞAN^a,  Tayfun DEDE^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: temelturker@ktuedu.tr

DOI: 10.29130/dubited.563098

ÖZET

Ülkemizde kentsel dönüşüm kapsamında yıkılacak birçok eski veya hasar görmüş yapı olması, yeni yıkım teknikleri arayışına girilmesine sebep olmuştur. Yurt dışında yıllardır başarılı bir şekilde uygulanan patlayıcı ile kontrollü yapı yıkımının birçok avantaja sahip olmasından dolayı ülkemizde de uygulaması günden güne artmaktadır. Patlatmalı yapı yıkımı; binalar, kuleler, bacalar, silolar, köprüler vb. yapılar üzerinde düzgün olarak uygulandığında, geleneksel yıkım tekniklerine göre daha düşük maliyetli ve hızlı bir yöntem olarak uygulama alanı bulmaktadır. Patlatmalı yapı yıkımında en çok karşılaşılan sorun; yapının yıkılmaması ya da istenilen yöne yıkılmaması durumudur. Yapıların patlayıcı ile kontrollü yıkımının en doğru şekilde planlanabilmesi için şarj miktarının, delik dizaynının, gecikme aralığının ve patlatma sırasının doğru olarak belirlenmesi gerekir. Bu işlemin planlanmasında sonlu eleman modeli üzerinde simülasyonlar yapılması, gerçeğe en yakın patlatmalı yıkım tasarımının yapılmasında fayda sağlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, patlayıcı kullanılarak yıkılması planlanan yapıların yapısal davranışının analizini yapabilmek ve yıkılma mekanizmasının mümkün olduğunca gerçeğe yakın tahmin edilebilmesini sağlayabilmek için bir simülasyon programı hazırlanmıştır. Bu simülasyon programında, tipik bir betonarme binanın patlatmalı yıkım tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Yapı, Kontrollü yıkım, Patlatmalı yıkım, Simülasyon programı, Sonlu eleman modeli, Yapısal analiz, Yapı yıkımı

Simulation Program for Controlled Demolition of Buildings

ABSTRACT

The fact that there are many old or damaged structures, which will be demolished in the context of urban transformation in our country, has led to the search for new demolition techniques. Due to the many advantages of controlled demolition of buildings with explosives, which have been successfully applied for many years abroad, the usage of this method in our country is increasing day by day. When this method applied properly on structures, such as towers, chimneys, silos, bridges etc., it has wider application area than traditional demolition techniques due to lower cost and faster method. The most common problem in building demolition with explosives is that the building does not collapse or collapse in the desired direction. The amount of charge, hole design, delay interval and blasting sequence must be determined correctly for the most accurate planning of controlled demolition of buildings. Simulation of the finite element model in the planning of this process is beneficial for the design of the demolition that is closest to reality. For this purpose, a simulation program has been prepared to analyze the structural behavior of the buildings which planned to be demolished by using explosives and to ensure that the demolition mechanism can be estimated as close to reality as possible. In this simulation program, demolition design of a typical reinforced concrete building has been prepared.

Keywords: Reinforced concrete structures, controlled demolition, Explosive demolition, Simulation program, finite element model, Structural analysis, Building demolition

I. GİRİŞ

Geçtiğimiz yüzyıl içerisinde ülkemizde inşası tamamlanan yapıların; kullanım ömürlerinin dolması, yürürlükte olan yapı yönetmeliklerini karşılayamaması, depreme karşı gerek yapısal gerekse tasarım yönünden zayıflıklar içermesinin yanı sıra doğal afetler, savaşlar gibi nedenlerden dolayı da mühendislik ölçütleri doğrultusunda projelendirilip yenilenmesi ya da yıkılması gerekmektedir. Özellikle 2011 Van Depremi'nden sonra, izinsiz-riskli yapıların yenilenmesi veya yıkılması yolunda gereken adımlar atılmıştır. Bu doğrultuda; 31 Mayıs 2012'de 6306 sayılı "Afet Riski Altındaki Alanların Yenilenmesi" adlı yeni bir kanun [1] hazırlanmış ve böylece Türkiye çapında kentsel dönüşüm projeleri başlamıştır [2]. Ülkemizin büyük bir bölümünün 1. ve 2. derece deprem kuşağı içerisinde yer alması nedeniyle Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) tarafından kentsel dönüşüm uygulamalarında yapı ve alan bazında risk içeren bölgelere öncelik verilmiştir.

Kentsel dönüşüm ihtiyacını gerektiren sebepler arasında deprem, sel vb. doğal afetlerin meydana gelmesinin yanı sıra göç sebebiyle nüfusun artmasından kaynaklanan mekân ihtiyacı, imar planlarında meydana gelen revizeler ve hızlı gelişen kentleşme faktörleri de göz ardı edilmemelidir. Türkiye İstatistik Kurumu'na (TÜİK) ait veriler incelendiğinde; kentsel dönüşüm oranının 1950'lerin başlarında %25, 1980'lere gelindiğinde %40, 2000'li yılların başında %65, 2012 yılında %77, 2014 yılında %91.5, 2015 yılında 92.1, 2017 yılında ise %92.5 olduğu görülmüştür. 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 334000 binanın yıkılıp yeniden inşa edilmesi gerektiği anlamına gelmektedir [2].

Riskli veya eski yapıların geleneksel yöntemlerle yıkımı uzun sürede gerçekleştiği için çevreye rahatsızlık vermekte, bunun yanı sıra yüksek maliyet ve emniyetsiz çalışma şartlarını beraberinde getirmektedir [3]. Bu yapıların geleneksel yöntemlerle yıkımının tecrübesiz ve bilgisiz şahıslar tarafından yapılması tehlikeli sonuçlara yol açmaktadır. 21 Şubat 2017'de İzmir'in Konak ilçesinde 5 katlı bir binanın yıkımı sırasında kopan kirişin yan binadaki duvarı yıkması ve 2 haftadan uzun süren bu yıkımın çevrede gürültü ve toz oluşumuna sebep olması buna örnektir [4]. Bu yüzden daha kullanışlı yöntem arayışına gidilmiş ve ülkemizde Ekim 2014'te yayımlanan, "BS 6187:2011 Code of practice for full and partial demolition" başlıklı İngiliz standardı esas alınarak başlatılan çalışmalar sonucunda ülkemiz mevzuatına kazandırılan "TS 13633 Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları" [5] başlıklı standartta belirtilen kontrollü patlatma ile yapı yıkımı gündeme gelmiştir. Patlayıcı ile yapı yıkım tekniği; hızlı uygulama, yüksek katlı yapılarda düşük maliyet, iş kazalarını en az seviyeye indirilmesi, çevreye olan etkinin kısa bir zamanla sınırlandırılması ve kontrol altına alınabilmesi [6] gibi avantajlarına rağmen yakın mesafedeki yapılara hasar verme olasılığının olması, yıkımın tam olarak gerçekleşmemesi, yıkımın istenilen yönde gerçekleşmemesi gibi dezavantajlara da sahiptir. Patlayıcı ile yapı yıkımında istenmeyen bir durumla karşılaşılması için yıkım planlaması özenle hazırlanmalı, patlatmalı yıkım işi tecrübe sahibi kişiler tarafından gerçekleştirilmeli ve yıkılma mekanizmasının mümkün olduğunca gerçeğe yakın tahmin edilebilmesi için gerekli simülasyonlar yapılmalıdır.

Patlayıcı ile yapı yıkım yönteminin başarı ile uygulanabilmesinde yıkım planlamasının doğru hazırlanması ve yapısal davranışının incelenmesi oldukça önemli olup bu alanda yapılmış çeşitli çalışmalar mevcuttur. Erkoç vd. tarafından yapılan çalışmada, Yıldız Teknik Üniversitesi-Davutpaşa yerleşkesi içinde bulunan su kulesi patlayıcı madde kullanılarak yıkılmıştır [7]. Yılmaz tarafından çalışmada; patlatmalı yıkımı yapılacak yapı bilgisayar ortamında modellenerek, yapı mekanizma durumuna gelene kadar yıkımın her aşamasında yapı elemanlarına ait plastikleşme momentleri hesaplanmış ve iç kuvvet diyagramları incelenmiştir [8]. Doğan vd. tarafından yapılan çalışmada; Diyarbakır'da 8. Ana Jet Üs Komutanlığı'na ait olan su kulesi, patlayıcı kullanılarak istenilen yönde emniyetli bir şekilde yıkılmıştır [9]. Sikiwat vd. tarafından yapılan çalışmada; patlayıcı ile yıkılacak

yapı bilgisayar ortamında modellenmiş, model üzerinde yapının yıkılma mekanizması ve yapı elemanlarının davranışı incelenmiştir [10]. Bahadır ve Açık tarafında 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 [11]. Özyurt vd. tarafından yapılan çalışmada; Edirne Kapıkule Gümrük Lojman Binası'nın patlayıcı ile yıkımı amaçlanmış; fakat devrilerle 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 [12]. Özmen vd. tarafından yapılan çalışmada, kontrollü patlatma yolu ile yıkılması planlanan binaların yapısal davranışının analizi yapılmış ve beton dayanımından kaynaklanan yapısal hataların yıkım sürecine etkisi ortaya konulmuştur [13].

Patlayıcı kullanılarak yapıların kontrollü yıkımı için yurt dışında oldukça gelişmiş ve pahalı profesyonel yazılımlar olmasına karşın ülkemizde bu amaçla kullanılabilecek bir yazılım olmaması nedeniyle uygulamada daha çok, tecrübelerle bağlı işlemler yapılmakta ve bunun sonucunda istenmeyen durumlarla karşılaşabilmektedir. Örneğin; 26 Aralık 2015 tarihinde İstanbul Maltepe'deki Zümrütevler Mahallesi Çağlayan Sokak'ta deprem riski taşıdığı gerekçesiyle çürük raporu verilen sitenin yıkımı için gerçekleşen patlamada binanın 5 katı çökmüş, 6 katı ayakta kalmıştır [14]. 1 Mart 2018 tarihinde ise Bursa'nın Osmangazi ilçesi Cumhuriyet Mahallesi'nde, Sosyal Güvenlik Kurumu'na ait olduğu belirtilen arazideki 13 katlı bina, gerçekleşen birinci ve ikinci patlatma sonucu yıkılamamıştır. Bina; elemanların yeniden yük dağılımı ile taşıma gücünü kaybetmesiyle patlatılmasından sonraki gün kendiliğinden yıkılmıştır [15]. Ülkemizde patlayıcı ile yıkım ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde sonlu eleman yöntemiyle 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 etkin ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi bu anlamda oldukça önemlidir. Zaman kaybını önlemek ve yapının yıkım yönünü gerçeğe uygun şekilde belirlemek için bu çalışma kapsamında; MATLAB [16] ve SAP2000 [17] programının birlikte etkileşim içinde çalışması sağlanarak oluşturulan simülasyon programında, sonlu eleman modeli üzerinde patlatılacak taşıyıcı elemanlar seçilerek silinmekte ve yapının deformasyon şekli adım adım incelenmektedir. Bu sayede yapının hedeflenen yöne yıkılması için patlatılması gereken taşıyıcı elemanların sırası belirlenebilmekte ve sonuç olarak en uygun yıkım tasarımı elde edilebilmektedir. Oluşturulan simülasyon programında simüle edilen sistemin yıkım yönü, istenildiği gibi değil ise yapılan işlem adımları geri alınabilmekte ve yeni tasarım belirlenebilmektedir. Bunun sonucunda yapının istenilen yöne yönlendirilmesini sağlayacak patlatma tasarımı ortaya konulabilmektedir.

II. PATLAYICI İLE YAPI YIKIMI

A. YIKIM TEKNİKLERİ

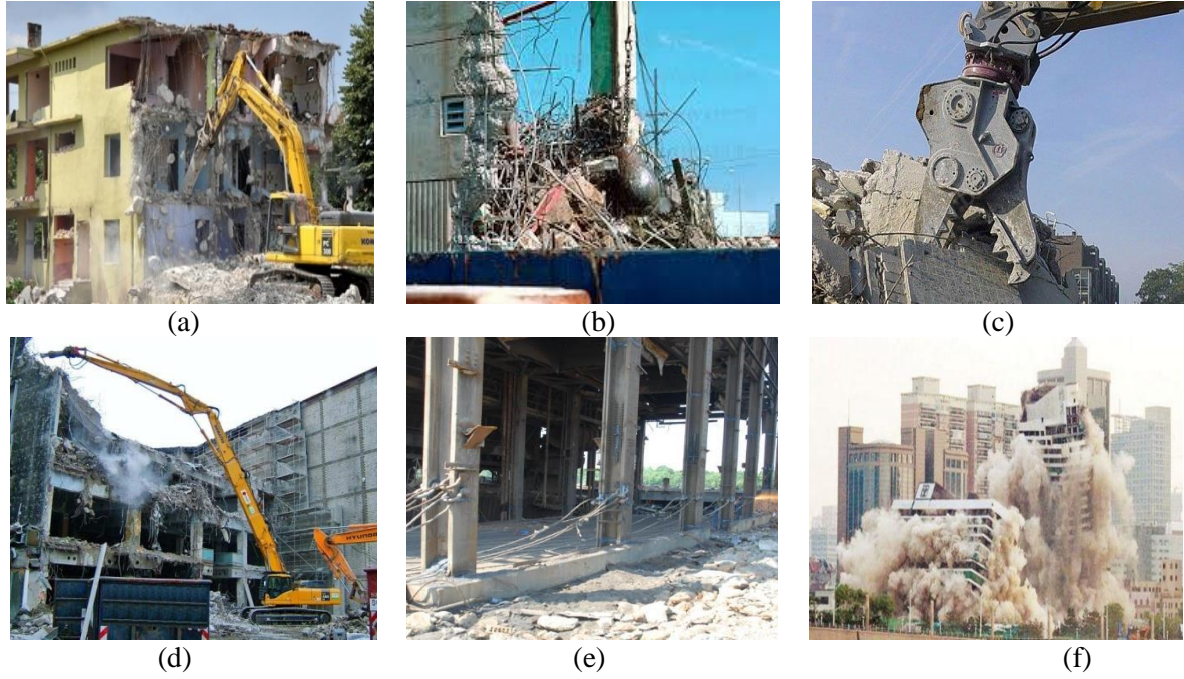
Ülkemizde başlatılan kentsel dönüşüm faaliyetleri kapsamında; eski ve yetersiz yapıların yıkılması/yenilenmesinin daha etkin bir şekilde devam edebilmesi için birçok çalışma yapılmış ve yeni teknikler geliştirilmiştir. Yapıların tamamen ya da kısmi yıkımı için kullanılan teknikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Mekanik aletler yardımıyla ezerek veya kırarak parçalama ile yıkım,
- Mekanik aletler yardımıyla ayırarak yıkım,
- Bir vince bağlı çelik küre yardımıyla yapıya vurarak parçalama ile yıkım,
- Yüksek erişimli ve makaslı makineler ile yıkım,

- Çekme halatı ile yıkım,
- Patlayıcılar ile kontrollü yıkım,
- Kat eksiltme yöntemiyle yıkım,
- Kimyasal malzemelerle yapının parçalanarak yıkımı,
- Elmas testereler ile yapının elemanlarının kesilerek yıkımı [18].

Yapıların mekanik aletler yardımıyla yıkımının uzun sürede gerçekleşmesi; çevreye rahatsızlık vermekte, bunun yanı sıra yüksek maliyet ve emniyetsiz çalışma şartlarını beraberinde getirmektedir. Yeni metotların araştırılmaya başlanmasındaki nedenlerden bir diğeri de, bu kaba metotların çevre ve çalışanlar üzerinde önemli olumsuz etkilere sahip olabilmesidir.

Yapıların tamamen ya da kısmi yıkımı için kullanılan tekniklerden bazıları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Mekanik aletler ile yıkım, (b) Çelik küre ile yıkım, (c) Beton makası ile yıkım, (d) Yüksek erişimli makine ile yıkım, (e) Çekme halatı ile yıkım, (f) Patlayıcı ile yıkım

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 olmadığı,
- İş makinelerinin çalışabileceği alan kapasitesinin yeterli olup olmadığı,
- Yıkılacak yapıda kullanılan malzemenin kalitesi,
- Yıkılacak yapının veya yapısal elemanların geometrisi,
- Yıkılacak yapının boyutu ve konumu,
- Yıkımı yapılacak yapının çevresi ve trafik durumu,
- Yapının inşa edildiği zeminin özellikleri ve yapının taşıyıcı sistemi,
- Ekipmanların temini, yıkım tecrübesi ve İSG tedbirleri
- Yıkım işinin güvenliği ve tehlikeli madde varlığı,
- İzin verilen rahatsızlık (gürültü, toz ve titreşim) düzeyi,
- Yıkım sonrasında oluşan molozun tekrar kullanımı
-

gibi unsurlar göz önüne alınmaktadır [18]. Bu unsurlardan en önemlileri; yıkılacak yapının konumu, boyutları ve yıkım maliyetidir.

Yapıların geleneksel yöntemlerle yıkımının tecrübesiz ve bilgisiz şahıslar tarafından yapılması tehlikeli sonuçlara yol açmaktadır. 23 Kasım 2017’de Denizli’de Üçgen Çarşısı’nda yıkımı yapılan bloğun üstündeki bacanın, ekskavatörün üzerine devrilmesi (Şekil 2 (a)) [19] ve 8 Ocak 2017’de Malatya’nın Battalgazi ilçesinde 6 katlı binanın yıkımı sırasında iş makinesinin devrilmesi (Şekil 2 (b)) [20]; bu tehlikeli sonuçlara örnek gösterilebilir.



(a)



(b)

Şekil 2. (a) Denizli’deki yıkım kazası ve (b) Malatya’daki yıkım kazası

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

B. PATLAYICI İLE KONTROLLÜ YIKIM

Yapıların patlatma ile kontrollü yıkım metodu, yapının alt katlarında mevcut olan taşıyıcı elemanların patlayıcı kullanılarak parçalanması ve diğer taşıyıcı elemanların artan kuvvetler etkisinde taşıyıcı özelliğini kaybetmesiyle yapının yıkılması prensibine dayanır [3].

Yapıların patlayıcı ile yıkımı tekniğinin, diğer geleneksel yıkım tekniklerine göre avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir.

Patlayıcı ile yıkım tekniğinin avantajları aşağıda sıralanmıştır.

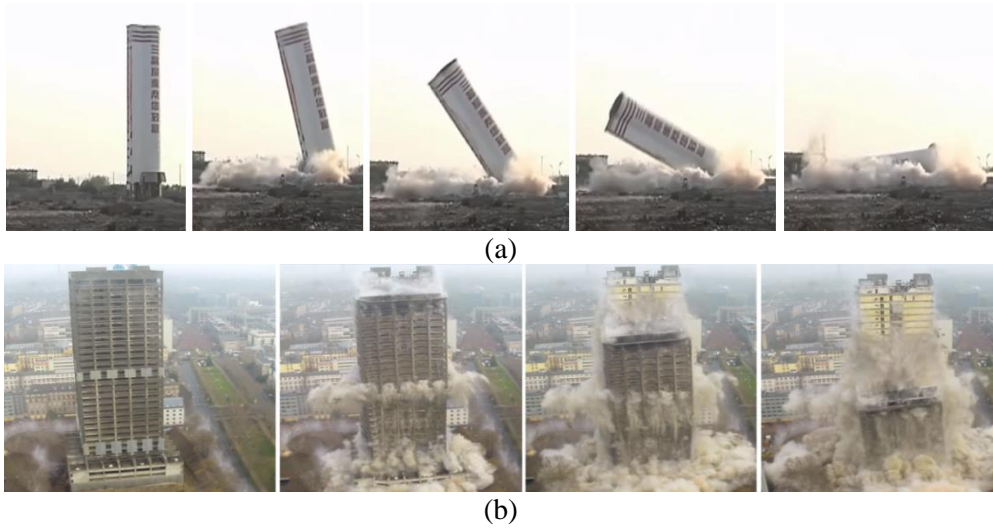
- Özellikle yüksek yapılarda uygulandığında daha düşük maliyetli olması,
- Diğer yıkım tekniklerine göre daha hızlı bir uygulama olması,
- Çevreye verilen rahatsızlıkların kısa bir zamanla sınırlandırılması,
- Trafik akışının olduğu yerlerde veya yakınında gerçekleştiğinde daha güvenli bir uygulama olması,
- Çalışma kontrolünün yüksek olması ve iş kazalarının minimuma indirilmesi [6],
- İş makinelerinin kullanımının zor olduğu durumlarda kullanılabilir olması,

Patlayıcı ile yıkım tekniğinin dezavantajları v aşağıda sıralanmıştır.

- 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 [18],
- Patlatma için gerekli izinlerin alınmasının zaman kaybına yol açması,
- Patlatma çevresindeki trafiğin kesilmesinin gerekmesi [6],
- Patlayıcıların potansiyel tehlike riskinin olması,
- Yakın mesafedeki yapılara hasar verebilmesi ihtimalinin olması,
- Yıkımın tam olarak gerçekleşmeme ihtimalinin olması vb.

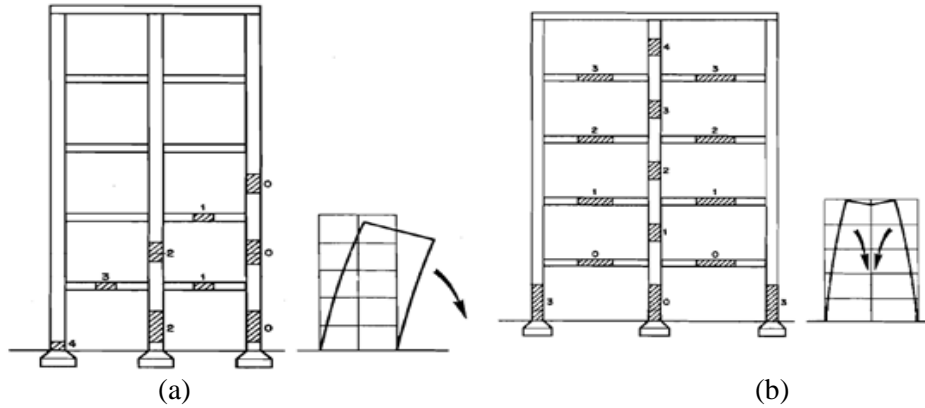
Yapıların patlatma ile kontrollü yıkımı için iki yöntem yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden ilki, yapının ağırlık merkezinin değiştirilmesi sonucu yapının yana devrilmesi ilkesine

dayanırken (Şekil 3 (a)); ikincisi, yapının taşıyıcı elemanlarının bir kısmının taşıyıcı özelliğini yitirmesi sonucu yapının bulunduğu sınırlar içerisinde çökmesi ilkesine dayanmaktadır (Şekil 3 (b)). Bu iki metodun birlikte kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur.



Şekil 3. (a) Yapının yana devrilmesi ve (b) Yapının kendi içinde çökmesi

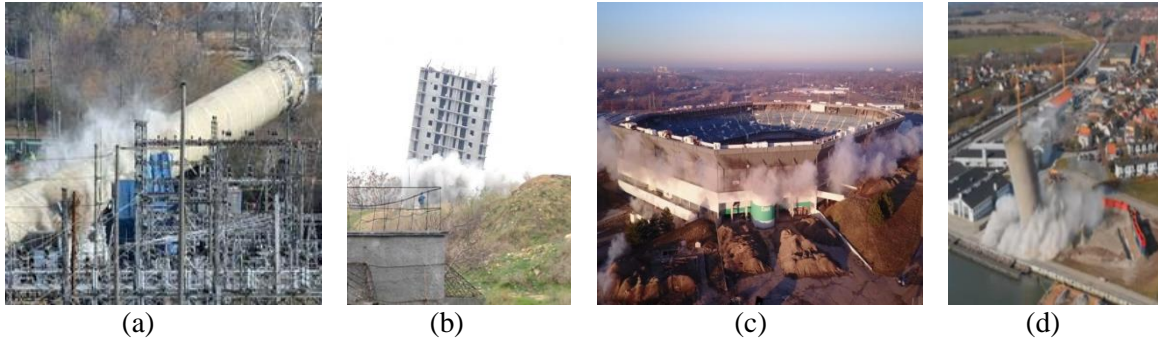
Yapının yana devrilmesinde ateşleme; devrilme yönünde bulunan taşıyıcı elemanlardan başlayıp gecikmeli bir şekilde yapının iç kısımlarında bulunan taşıyıcı elemanlara doğru ilerlemektedir. Yapının içe doğru çökmesinde ise ateşleme; yapının en iç bölgesindeki taşıyıcı elemanlardan başlayıp kenar kısımlarında bulunan taşıyıcı elemanlara doğru ilerlemektedir. Taşıyıcı elemanların milisaniye gecikmeli kapsüller kullanılarak patlatılması, diğer yapı elemanları üzerine etkileyen yükleri artıracığı için yapı kendi kendine deforme olmaya başlayacaktır. Gecikmesiz patlatmalarda veya çok az gecikme süresine sahip patlamalarda, yapı kendi kendine deforme olabilecek süreye sahip olamamaktadır [3]. Şekil 4 (a) ve (b)'de yapıların yıkım yönüne göre belirlenen gecikme aralıkları gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) Yapının belli bir yönde devrilmesi ve (b) Yapının kendi sınırları içinde çökmesi

Bu yıkım tekniğinde; yapının malzeme özelliklerinin, patlatılacak taşıyıcı elemanların seçiminin, patlatıcı yerleştirilecek delik geometrisinin tasarımının yanı sıra yıkımda kullanılacak patlayıcı madde türü ve miktarının, kullanılacak ateşleme sisteminin yıkım alanında uzman kişiler tarafından belirlenmesi gerekmektedir [9]. Yapıda kullanılan malzemelerin özellikleri, yapının konumu ve yıkım amacı vb. özelliklerden kaynaklanan farklılıklardan dolayı her yapının en uygun patlatma ve ateşleme tasarımı farklı olmaktadır. Örneğin; yıkım için gerekli büyüklükte boş bir alan yoksa içe çökertme metodu, varsa yan yatırma metodu tercih edilebilmektedir.

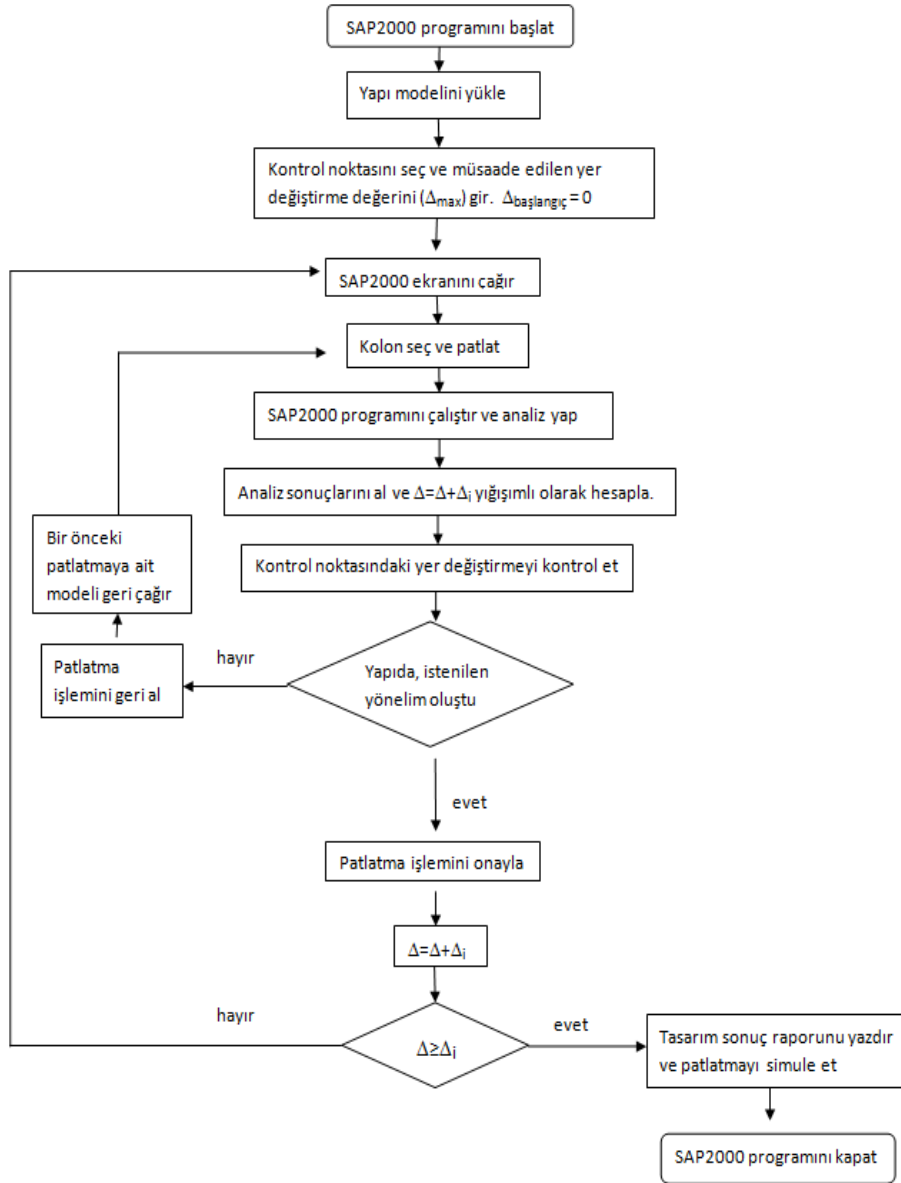
Patlatılarak yıkılması planlanan yapının dinamik etkilerinin doğru şekilde hesaplanmadığı veya kontrollü patlatma tekniğinin en önemli aşaması olan yapı elemanlarının patlama sırasının düzgün belirlenemediği durumlarda tehlikeli sonuçlar ortaya çıkabilir. Örneğin; 10 Kasım 2010 tarihinde ABD'nin Ohio eyaletinde Mad River Elektrik Santrali'nin kulesi, dinamitlerin patlatılmasının ardından planlandığı yöne doğru değil, sağlam elektrik hatlarının üzerine yıkılmıştır (Şekil 5 (a)) [21]. 26 Aralık 2014'te Sivastopol'da patlayıcı ile yıkılmak istenen 10 katlı yapı, patlatma sonucu istenilen şekilde yıkılmamış ve yapı 20°'lik açı yaparak yan yatmıştır (Şekil 5(b)) [22]. 3 Aralık 2017'de ABD'nin Michigan eyaletinde Pontiac Silverdome stadyumu patlayıcı ile yıkılmak istenmiş, fakat yapı ayakta kalmıştır (Şekil 5 (c)) [23]. 6 Nisan 2018 tarihinde ise Danimarka'nın Vordingborg şehrinde 53 metre yüksekliğinde bir silo kontrollü bir şekilde yıkılmak istenmiş, fakat dev silo ters tarafa yıkılmıştır (Şekil 5 (d)) [24]. 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, yıkılma mekanizmasının mümkün olduğunca gerçeğe yakın tahmin edilebilmesini sağlayan bir yıkım simülasyon programına ihtiyaç vardır.



Şekil 5. (a) Elektrik Santrali'nin yanlış yöne devrilmesi, (b) Yıkımı istenilen şekilde gerçekleşmemesi, (c) Yıkımın istenilen şekilde gerçekleşmemesi, (d) Silonun yanlış yöne devrilmesi

III. GELİŞTİRİLEN SİMULASYON PROGRAMI

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 6'daki algoritmada sunulmuştur. Simülasyon programıyla seçilen tipik bir yapının yıkımı simüle edilmiştir. Seçilen yapı, 4.5x5m aks açıklığına sahip 10 katlı bir betonarme binadır. Bina beton sınıfının C25, çelik sınıfının S420, tüm kirişlerin 30x60 ve tüm kolonların ise 35x35 cm olduğu varsayılmıştır. Yıkım tasarımında ani göçme durumunun oluşması istendiği için patlatma süresince yapıda plastik mafsallı oluşumu ihmal edilmiştir. Yıkım tasarımında yatay kümülatif yer değiştirmeler esas alınmıştır. En büyük yatay yer değiştirme değeri, göreceli kat ötelemesi oranı göz önüne alınarak belirlenmiştir.

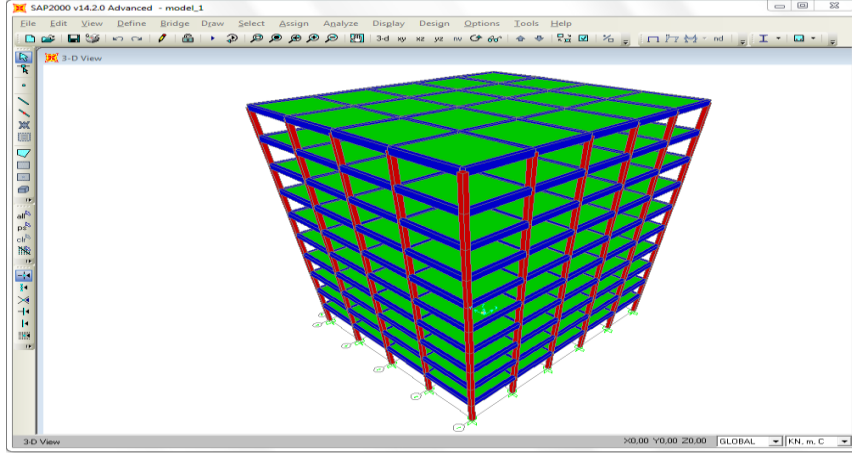


Şekil 6. Yapıların kontrollü yıkımı için hazırlanan simülasyon programının algoritması

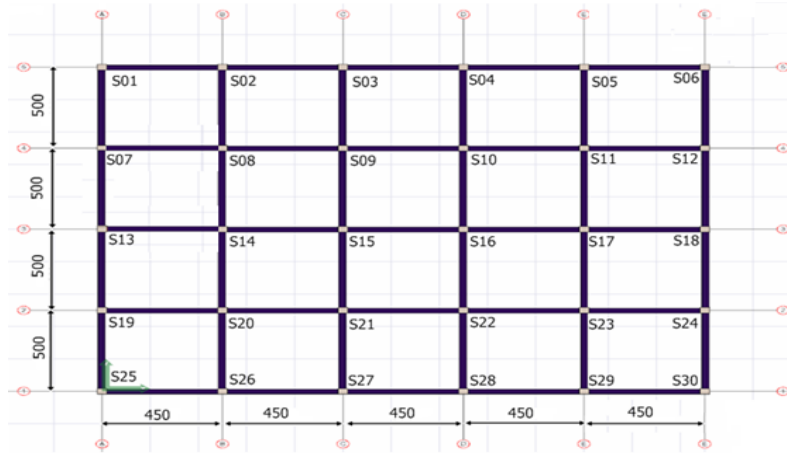
A. İŞLEM ADIMLARI

A. 1. 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 [8, 12, 13]. Bu çalışma kapsamında SAP2000 programıyla modellenen yapı ve yapıya ait kat planı Şekil 7 ve Şekil 8’de verilmektedir.



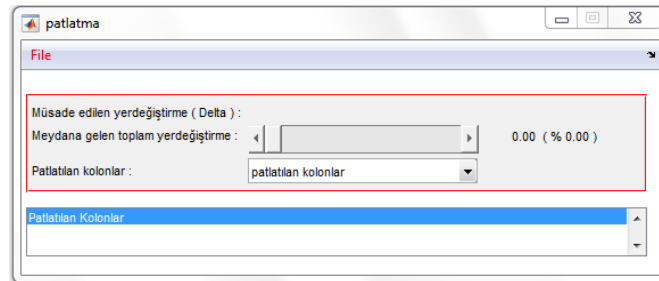
Şekil 7. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapının SAP2000 programı ile modellenmesi



Şekil 8. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapıya ait kat planı

A.2. 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 9).

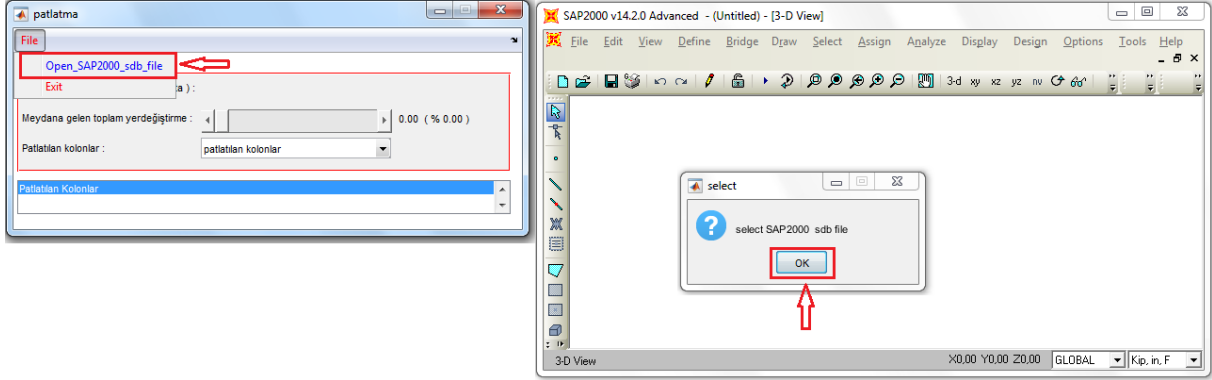


Şekil 9. Geliştirilen simülasyon programının arayüzü

Bu programın çalışma adımları aşağıda sırasıyla verilmiştir:

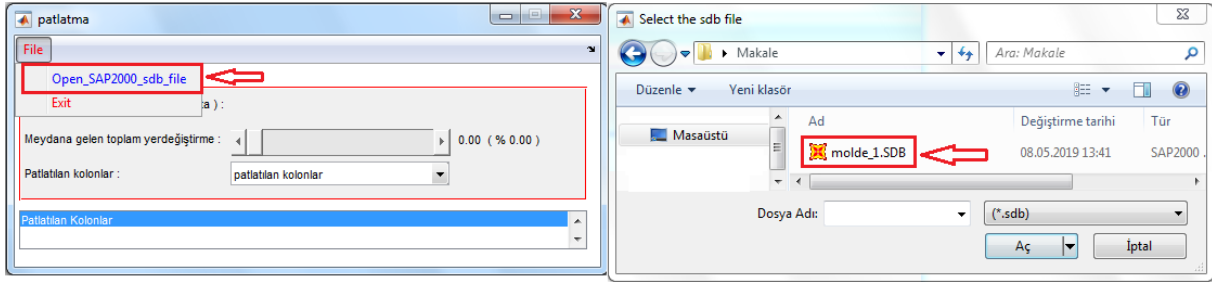
A.2.1. Sap2000 Programında Oluşturulan Yapı Modelinin Arayüz Programına Aktarılması

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 10).



Şekil 10. 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 11).

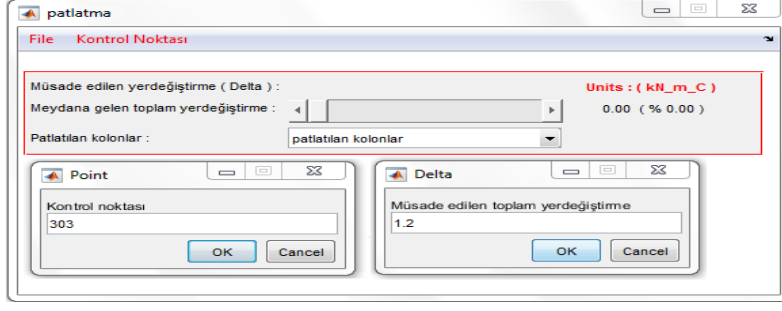


Şekil 11. Yapı modelinin arayüz programına aktarılması

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

A.2.2. Oluşturulmuş Yapı Modelinde Bulunan Bir Kontrol Noktasının Atanması ve Yapıda Hedeflenen Toplam Yer Değiştirmenin Kullanıcı Tarafından Belirlenmesi

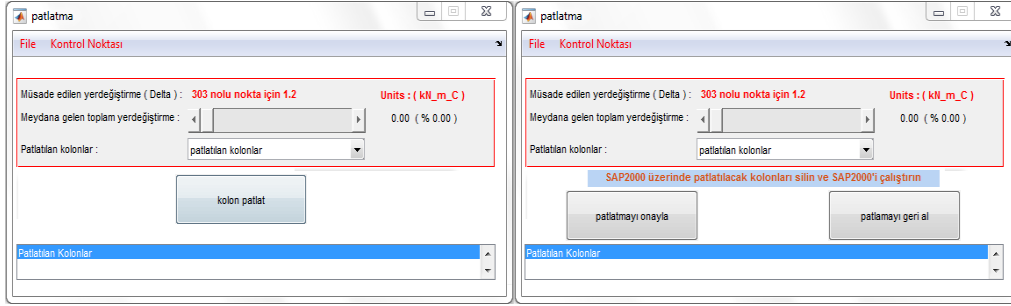
SAP2000 programı; patlatmalı yıkımı yapılacak yapı modelinde oluşan deformasyon değerini hesaplar, yapının çöküp çökmeyeceği hakkında bilgi veremez. Bu yüzden yapının çöküp çökmeyeceğini anlayabilmek için program üzerinde, her yapıda farklı olarak bir kontrol noktası seçilir ve bu kontrol noktasındaki yer değiştirme miktarının, kullanıcı tarafından programa atanan en büyük yer değiştirme miktarını aşıp aşmadığı kontrol edilir. Bu şekilde yapının göçüp göçmediği karar verilebilir (Şekil 12). Bu incelenen bina için 303 no'lu noktada en büyük yatay yer değiştirme 120 cm olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 12. Arayüz programında kontrol noktasının ve max. yer değıştirme değerin atanması

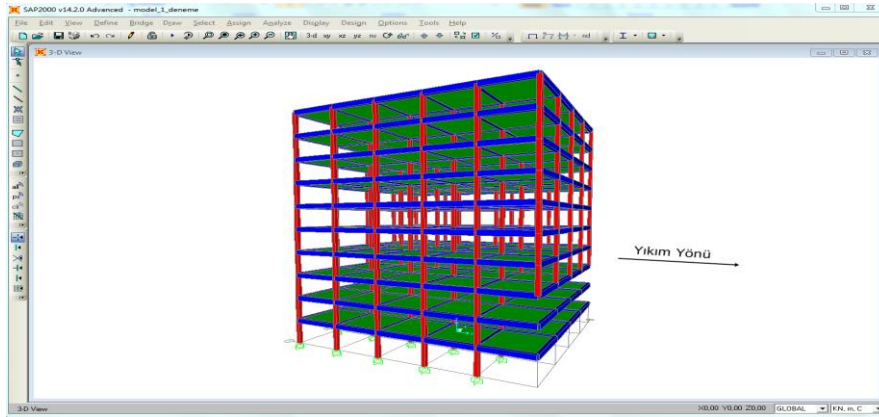
A.3. Yapının Hedeflenen Yöne Doğru Kontrollü Yıkımı İçin Patlatma Sırasının Belirlenmesi

Yıkım yönüne göre yapıda patlatılacak taşıyıcı elemanların sırasının belirlenmesi için ‘Kolon Patlat’ düğmesine tıklanır (Şekil 13) ve SAP2000 programı otomatik olarak açılır.

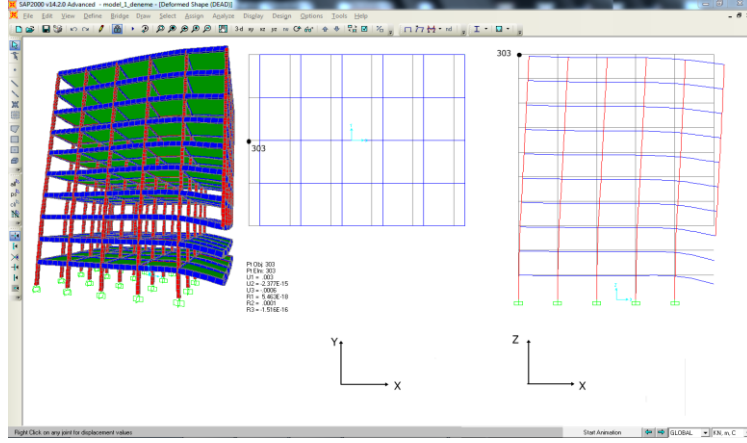


Şekil 13. Patlatılacak taşıyıcı elemanların silinmesi için SAP2000 programının açılması

Hedeflenen yıkım yönüne göre SAP2000 programındaki yapı modelinde hangi taşıyıcı elemanların silineceğine kullanıcı karar verir. Bu çalışmada; yapının devrilmesi istenen yön Şekil 14-15’te verilmiştir.

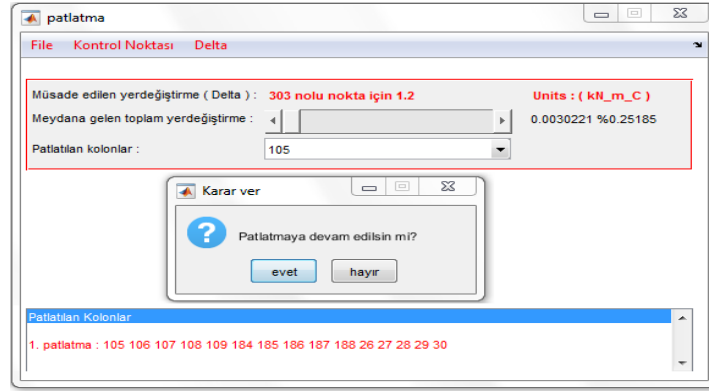


Şekil 14. Öncelik sırasına göre taşıyıcı elemanların yapı modeli üzerinden silinmesi



Şekil 15. Taşıyıcı elemanları silinmiş yapı modelinin analizinin gerçekleştirilmesi

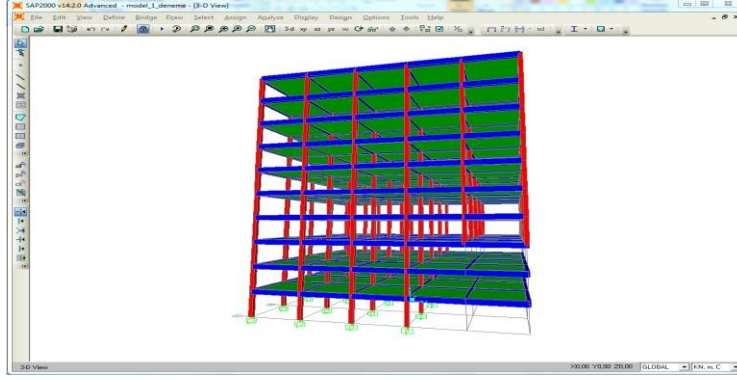
Yapı modelinde patlatılan taşıyıcı elemanların numarası saptanmış, yapıdaki deformasyon şekli belirlenmiş ve yöneliminin sayısal değerinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Eğer ilk adımda; yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösteriyor fakat taşıyıcı elemanların öncelik sırasına göre patlatılması sonucu yapıda oluşan deformasyon değeri (0.0030221 m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (1.2 m) aşmıyorsa ikinci seviye patlatma dizaynına ihtiyaç vardır (Şekil 16). Bu seviye sonucunda patlatılan kolonlar Şekil 16’da verilmektedir.



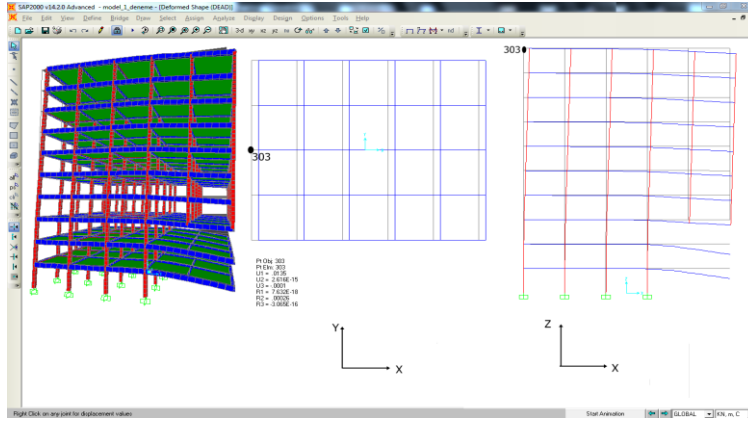
Şekil 16. Yapı modelinde silinen taşıyıcı elemanların saptanması ve deformasyon kontrolü

A.4. Yapıdaki Deformasyon Değerinin Hedeflenen Maksimum Deformasyon Değerine Ulaşmadığı Durumda İkinci Seviye Patlatma Dizaynının Yapılması

Bunun için arayüz programında ‘Kolon Patlat’ düğmesine tıklanarak ilk patlatma sonucunda elemanları silinen yapı modeli dikkate alınır (Şekil 14). Daha sonra ise ikinci kez belirlenen öncelik sırasına göre programda taşıyıcı elemanlar seçilerek silinir (Şekil 17-18). SAP2000 programında son haldeki yapı modelinin analizi yapılır.



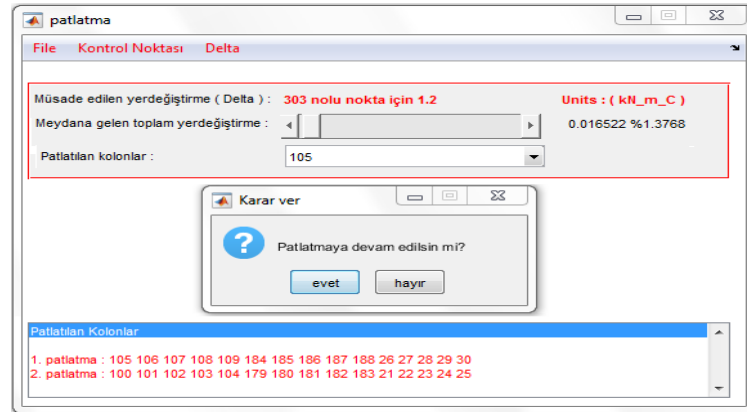
Şekil 17. İkinci patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli



Şekil 18. İkinci patlatma tasarımının analiz sonuçları

A.4.1. İkinci Patlatma Tasarımında Yapıda Oluşan Deformasyon Şeklinin Belirlenmesi ve Yöneliminin Sayısal Değerinin Kontrolü

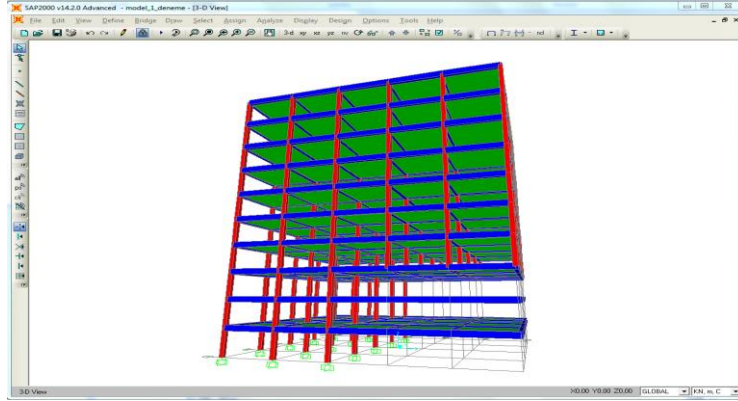
Eğer ikinci adımda; yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösteriyor fakat taşıyıcı elemanların öncelik sırasına göre patlatılması sonucu yapıda oluşan deformasyon değeri ($0.003+0.0135=0.0165$ m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (1.2 m) aşmıyorsa üçüncü seviye patlatma dizaynına ihtiyaç vardır (Şekil 19).



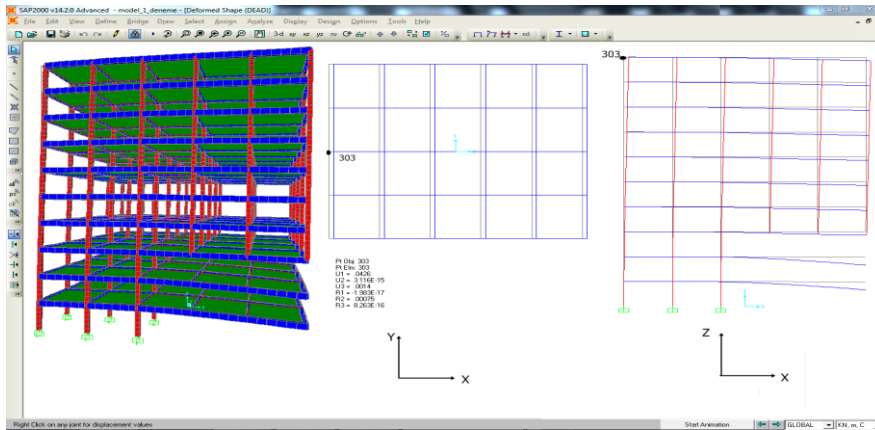
Şekil 19. Yapı modelinde silinen taşıyıcı elemanların saptanması ve deformasyon kontrolü

A.5. Yapıdaki Deformasyon Değerinin Hedeflenen Maksimum Deformasyon Değerine Ulaşmadığı Durumda Üçüncü Seviye Patlatma Dizaynının Yapılması

Şekil 17'deki yapı dikkate alınır ve üçüncü kez belirlenen öncelik sırasına göre taşıyıcı elemanlar silinerek analiz yapılır (Şekil 20-21).

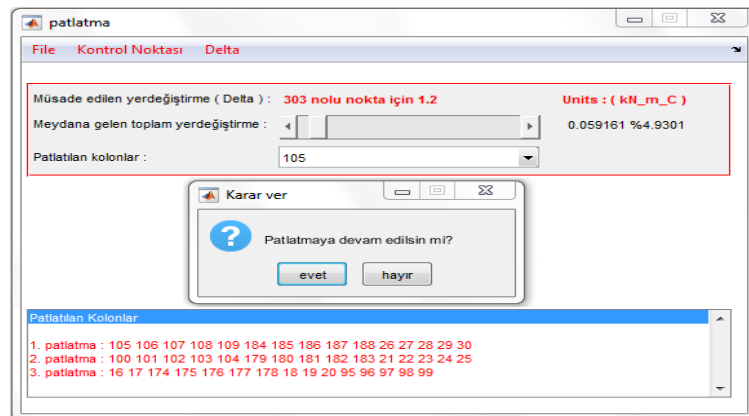


Şekil 20. Üçüncü patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli



Şekil 21. Üçüncü patlatma tasarımının analiz sonuçları

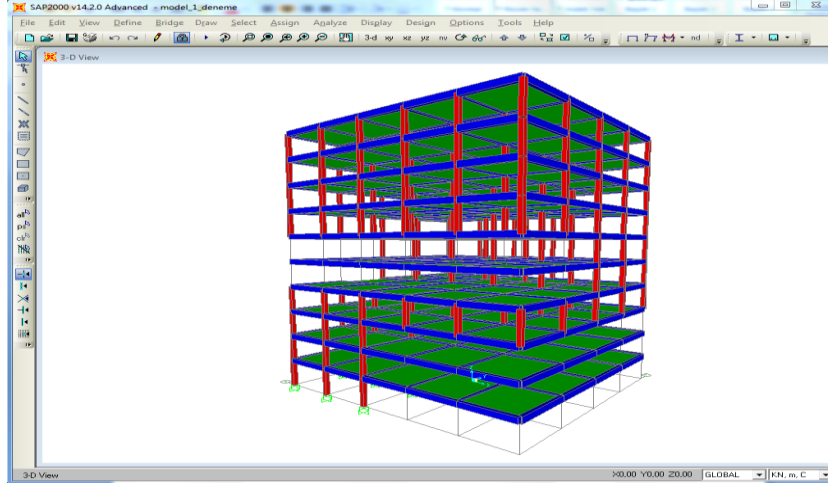
Eğer üçüncü adımda; hem yapı istenilen yönde yıkılma eğilimi gösteriyor, hem de taşıyıcı elemanların öncelik sırasına göre patlatılması sonucu yapıda oluşan deformasyon değeri ($0.0165+0.0426=0,0591$ m), kullanıcı tarafından izin verilen maksimum deformasyon değerini (1.2 m) aşmıyorsa dördüncü seviye patlatma dizaynına ihtiyaç vardır (Şekil 22).



Şekil 22. Yapı modelinde silinen taşıyıcı elemanların saptanması ve deformasyon kontrolü

A.6. Yapıdaki Deformasyon Değerinin Hedeflenen Maksimum Deformasyon Değerine Ulaşmadığı Durumda Dördüncü Seviye Patlatma Dizaynının Yapılması

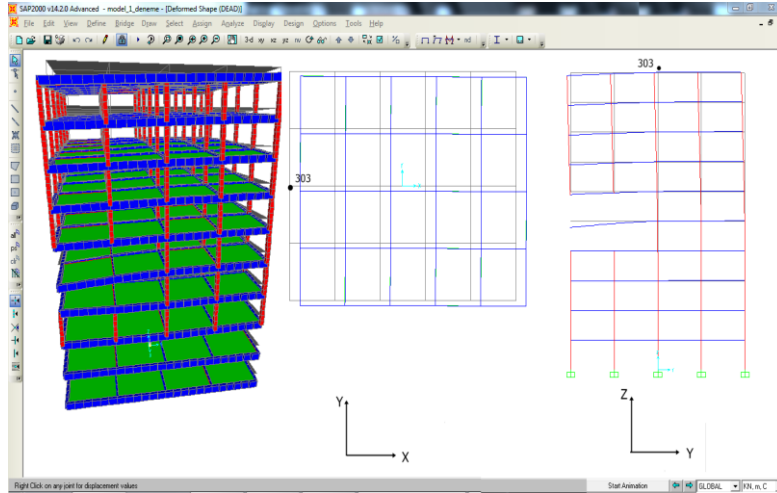
Yapının kontrollü yıkımı için dördüncü kez belirlenen öncelik sırasına göre programda taşıyıcı elemanlar seçilerek silinir (Şekil 23).



Şekil 23. Dördüncü patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli

A.7. İstenilen Yönelimin Oluşmaması Durumunda Yapı Modelinin Bir Önceki Haline Getirilmesi ve Bir Önceki Adımın Tekrarlanması

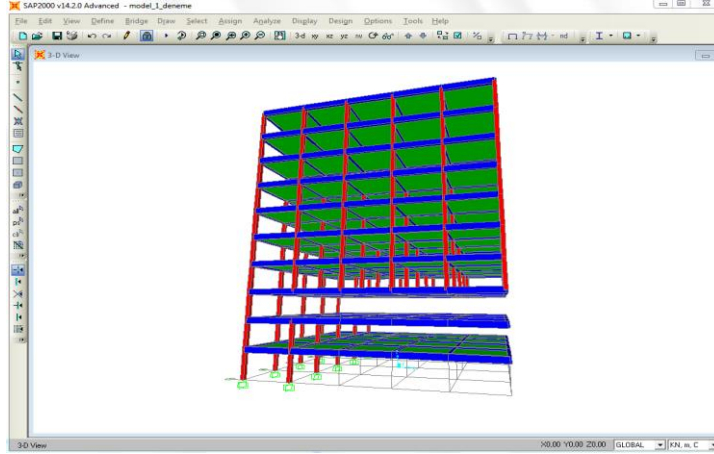
SAP2000 programındaki yapı modelinin istenilen yöne doğru yıkılmadığı durumda, arayüz programında 'Patlamayı Geri Al' düğmesine tıklanarak yapı modeli otomatik olarak bir önceki haline getirilir. Bu adımda yapı, y yönünde bir eğilim gösterdiği ve bu durum istenmediği için model bir önceki duruma getirilmeli; daha sonra ise farklı bir yıkım dizaynı oluşturulmalıdır (Şekil 24).



Şekil 24. Dördüncü patlatma tasarımının analiz sonuçları

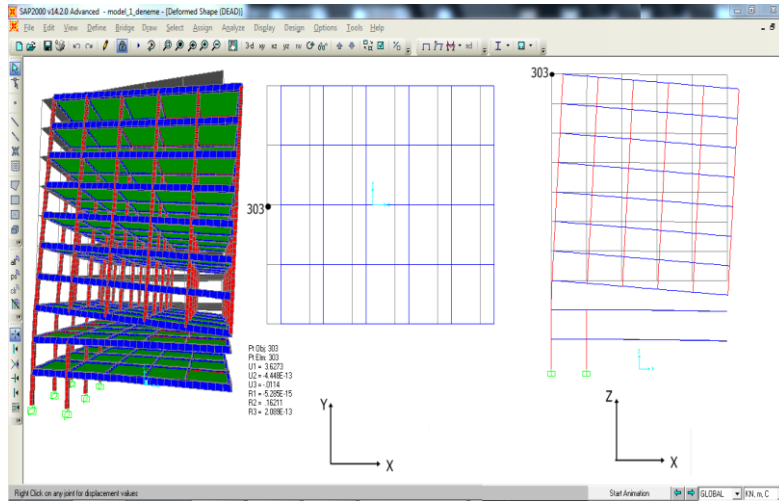
A.8. Beşinci Seviye Patlatma Tasarımının Belirlenmesi

Yapının kontrollü yıkımı için dördüncü kez belirlenen öncelik sırasına göre programda taşıyıcı elemanlar seçilerek silinir (Şekil 25).



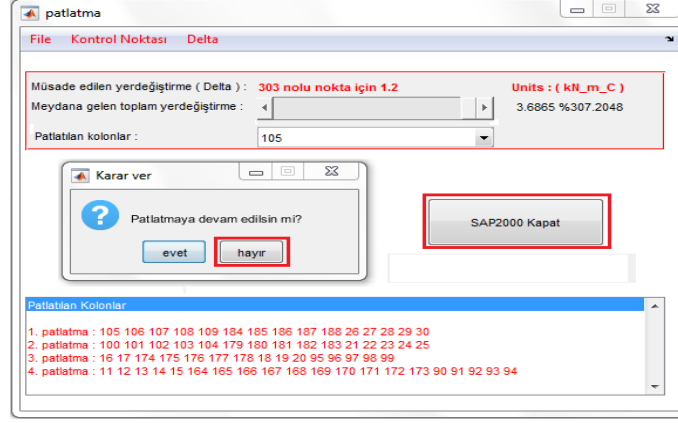
Şekil 25. Beşinci patlatma tasarımı için ele alınacak yapı modeli

Beşinci seviye patlatma tasarımında yapıda oluşan deformasyon şeklinin belirlenmiş ve yöneliminin sayısal değerinin kontrolü yapılmıştır. İlgili 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 26).



Şekil 26. Beşinci patlatma tasarımının analiz sonuçları

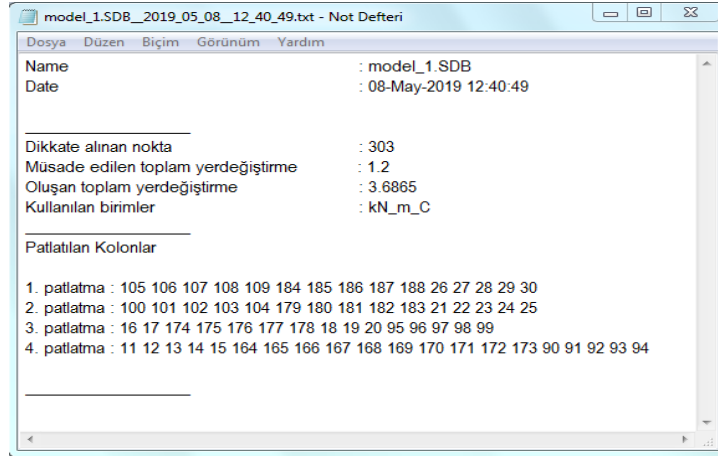
Hedeflenen yöne ve yer değiştirmeye uygun yıkım tasarımı elde edildikten sonra programda patlatma işlemi durdurulur ve tasarım raporu program tarafından otomatik olarak hazırlanır (Şekil 27).



Şekil 27. Hedeflenen yöne ve yer değiştirmeye uygun yıkım tasarımının sonuçlandırılması

A.9. 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. Son olarak ise oluşturulan ‘tasarım sonuç raporu’ açılır ve Şekil 28’de görüldüğü gibi patlatılacak taşıyıcı elemanların numarası ve sırası belirlenmiş olur.



Şekil 28. Patlatmalı yıkımı yapılacak yapıya ait tasarım sonuç raporu

IV. SONUÇ

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 tipik bir betonarme binanın istenilen yöne doğru yıkım tasarımı yapılarak gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmadan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Binaların patlayıcı kullanılarak kontrollü yıkım tasarımının, sonlu eleman analizlerine bağlı yapısal değerlendirmelere daha etkin yapılabileceği ortaya konulmuştur.
- Seçilen betonarme binanın bu simülasyon programıyla yıkım tasarımıyla yıkımın istenilen yönde gerçekleştirilmesi 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 yaklaşımdır. Bu çalışmada ortaya konulan yaklaşımın ve geliştirilen simülasyon programının kullanılması durumunda patlatmalı yıkımın daha etkin bir şekilde yapılabileceği düşünülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkında kanun, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 6306, 31 Mayıs 2012.
- [2] Anonim, “Kentsel Dönüşüm Türkiye”, Cushman ve Wakefield , Türkiye, 2014.
- [3] M.C. Özyurt, “Patlayıcı madde kullanılarak yapıların kontrollü yıkılması ve verimliliğinin incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [4] Anonim (22 Mart 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.hurriyet.com.tr/yikim-sirasinda-yandairenin-duvari-delindi-40373214>
- [5] TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası. (2019, 12 Nisan). *Yapıların tam ve kısmi yıkımı için uygulama kuralları TS 13633*. [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/5441af0274b6463_ek.doc
- [6] C.L. Jimeno, E.L. Jimeno ve F.J.A Carceda, *Drilling and Blasting of Rocks*, Rotterdam, Netherlands: A. A. Balkema Publisher, Netherlands, 1995, ss. 312.
- [7] O.Y. Erkoç, M.Z. Sunu, G.G.U Aldaş ve M.O. Özkazanç, “Patlayıcı madde kullanarak su deposu yıkımı”, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Türkiye, 2001, ss. 23-27.
- [8] B. Yılmaz, “Betonaarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi/güçlendirmenin ekonomik olmaması durumunda patlayıcı madde kullanılarak kontrollü yıkımı”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2006.
- [9] E. Doğan, B. Uzal, K. Pehlivanoğlu ve E. İyçil,. “Patlayıcı Kullanılarak Betonaarme Bir Su Kulesi Yıkımı”. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*–457, ss. 35-44, 2009.
- [10] T. Sikiwat, M. Breidt ve D. Hartmann, “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, 2009, ss. 1-8.
- [11] F. Bahadır ve H. Açıkel, 2009. “Bir betonaarme sanayi yapısının bilgisayar ortamında patlayıcılar ile kontrollü yıkımı”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, Türkiye, 2009, ss. 1-5.
- [12] M.C. Özyurt, Ü. Özer., A. Karadoğan ve Ü. Kalaycı, “Betonaarme Bir Binanın Patlayıcı İle Yıkılması ve Veriminin incelenmesi”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 2, ss. 44, 2016.

- [13] H. Özmen, K. Soyuk ve Ö. Anıl 2018. “Betonarme binaların patlayıcı kullanılarak yıkımında yapı davranışının analizi”, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye, 2017.
- [14] Anonim (22 Mart 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.milliyet.com.tr/dinamitler-patladi-ama--gundem-2169780/>
- [15] Anonim (22 Mart 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.milliyet.com.tr/bursa-da-13-katli-bina-300-kilo-gundem-2619211/>
- [16] MATLAB: MathworksInc, *Bilgisayar Programı*, Natick, MA, 1999.
- [17] SAP2000, *Bilgisayar Programı*, Computers and StructuresInc, 2008
- [18] O. Koca, “Patlayıcı maddelerle kontrollü yapı yıkımı,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [19] Anonim (10 Nisan 2019). [Çevrimiçi].Erişim: <http://www.milliyet.com.tr/Milliyet-Tv/video-izle/denizli-de-yikimi-yapilan-carsida-is-kazasi-1-olu-ek6QqiZGPaeS.html>
- [20] Anonim (10 Nisan 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.haberturk.com/yerel-haberler/haber/10609286-malatyada-yikim-yapan-is-makinesi-devrildi-1-yarali>
- [21] Anonim (10 Nisan 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.yenisafak.com/aktuel/yanlis-hesap-kuleyi-ters-koseye-yatirdi-287534>
- [22] Anonim (20 Nisan 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.news.com.au/world/europe/demolition-fail-russia-gets-own-leaning-tower-of-pisa-after-building-explosion-goes-wrong/news_story/adcca85463273a80a4776f69d64761dd
- [23] Anonim (20 Nisan 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.trtspor.com.tr/videolar/detroit-stadi-direndi-ama-dayanamadi-25837.html>
- [24] Anonim (21 Nisan 2019). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.euronews.com/2018/04/10/danimarka-da-korkutan-is-kazas->