



Yapı Sistemlerinde Patlama Etkilerinin ve Patlama Güvenliğinin Araştırılması

Elif Toplu¹, Osman Kırtel^{2*}

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6451-0323), eliftoplu@subu.edu.tr

^{2*} Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8019-560X), okirtel@subu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 12 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 26 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.913858)

ATIF/REFERENCE: Toplu, E., Kırtel, O. (2021). Yapı Sistemlerinde Patlama Etkilerinin ve Patlama Güvenliğinin Araştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 442-450.

Öz

Terör faaliyetleri sonucu meydana gelen patlamalar binalara büyük zararlar vermekte ve birçok can kaybına neden olmaktadır. Bomba yüklü araçlarla yapılacak saldırılarda bu araçlar, hedeflenen yapıya erişim kolaylığı sağlarken, araç kapasitelerine göre çeşitli miktarlarda patlayıcı getirme olanağına sahiptir. Literatürde yapıların patlama güvenliğine yönelik çalışmalarda, eleman bazında ya da yapısal olarak birtakım analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Patlama yükü etkisi altında tek bir yapı elemanının performansının belirlenmesi, yapısal bir sistemde çökme analizlerinin yapılması, yapıya dinamik patlama yüklerinin etki ettirilmesi bunlardan bazılarıdır. Bu çalışma kapsamında öncelikle sonlu eleman yöntemine dayalı analiz yapan SAP2000 yazılımı kullanılarak farklı mesafelerden uygulanan patlama yükleri için yapının analizleri gerçekleştirilmiş ve patlayıcıya en yakın konumda bulunan kolonun dinamik davranışı incelenmiştir. Ayrıca eleman bazlı ve tek serbestlik dereceli sisteme dayalı analiz yapan RC-Blast yazılımında mevcut kolonun modellenmesi yapılarak kolon kapasiteleri belirlenmiştir. Yapıların patlama güvenliğine yönelik sismik taban yalıtımı uygulaması önerilmiş ve yalıtımlı ve yalıtımsız yapı durumları için kritik noktadaki kolonda meydana gelen etki/kapasite oranları karşılaştırılmıştır. Sismik izolatörlü yapıların patlama etkilerini daha iyi sönmülediği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda RC-Blast ve SAP2000 yazılımlarında yapılan çözümlenmelerde yapı davranışları ancak başlangıç seviyesinde benzerlik göstermektedir. Patlama etkilerini azaltmak amacıyla yapı çevresine korunaklı duvar inşa edilmesi önerilmiştir. Yapıların patlama etkileri altında davranışı kesin olarak bilinmemekle birlikte çözüm yöntemlerinin farklılaştırılması belirli yaklaşımları beraberinde getirebilmektedir. Patlama analizlerinde eleman bazlı ve sistem bazlı yöntemlerin bir arada kullanımının daha verimli sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlama, Sismik Yalıtım, Etki/Kapasite, Koruma duvarı.

Investigation of Explosion Effects and Explosion Safety on Structural Systems

Abstract

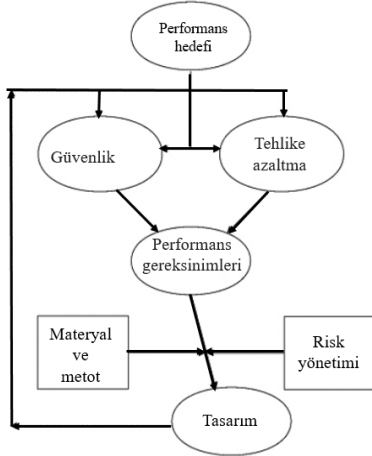
Explosions induced by terrorist activities have been made cause great damage to buildings and cause many casualties. In attacks by bomb-laden vehicles, while the bomb-laden vehicles provide ease of access to the targeted structure, they have been the opportunity to bring various amounts of explosives according to the vehicle capacities. In the studies about explosion safety in the literature, some analysis methods are encountered on the basis of element or structural. Some of these are determining the performance of a single structural element under the effects of blast loads, performing collapse analyses in a structural system, and effect dynamic explosion loads on the structure. Within the scope of this study, explosion analyses at different distances were made using the SAP2000 software based on finite element method. The dynamic behaviour of the column located closest to the explosive was modelled in the RC-Blast software, which analyses the column based on a single degree of freedom system, and column capacities were determined and evaluated. Seismic base isolation application for explosion safety of buildings has been proposed and the effect/capacity ratios occurring in the column at the critical point for isolated and fixed-based building situations are compared. It was concluded that structures with seismic isolators absorb explosive effects better. Sheltered around a wall of the building have been recommended to reduce the effects of explosions. Although the behaviour of the structures under the effect of the explosion is not fully known, differentiation of solution methods may bring some approaches. It was concluded that the combination of element-based and system-based methods in explosion analysis would produce more efficient results.

Keywords: Explosion, Seismic Isolation, Impact / Capacity, Shielding wall.

* Sorumlu Yazar: okirtel@subu.edu.tr

1. Giriş

Güvenli bir bina tasarımında öncelikle yapı performans hedefi belirlenmektedir. Performans hedefinin sağlanmasında güvenlik önlemleri ve tehlike azaltma stratejileri önemli rol oynamaktadır. Patlama olaylarında risk yönetimi ve yapı tasarımında kullanılacak yöntemler patlamaya dayanıklı yapı tasarımının gerekliliklerindedir (Şekil 1).

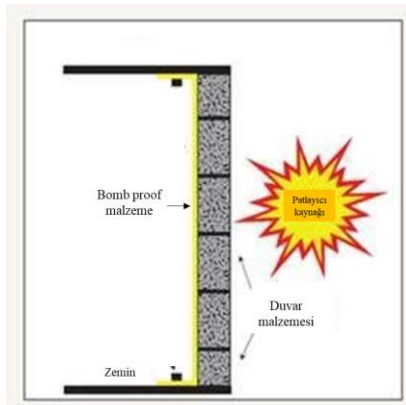


Şekil 1. Patlamaya karşı yapı tasarımında performans hedef şeması (National Research Council, 2002)

Patlama olayları sık karşılaşılan bir durum olmadığından riskli yapıların analiz edilmesi gerekmektedir. Bu binaların günlük işlevlerine müdahale edilmeden gereksiz yere saldırganların dikkatini çekmeyecek güvenlik önlemlerinin alınması ve optimum tasarımının yapılması gerekmektedir. Yapı girişleri ve binaların altında kullanılan depo ve park alanlarına araçların girişine müsaade edebilmekte ve tehlide açıktır. Patlama güvenliğinin sağlanabilmesi için yapı girişinde kullanılan duvar, bariyer, heykel, ağaç vb. her türlü araç-gereç risk azaltmada kullanılmaktadır (Hinman, 2017).

Yapıların patlama etkilerine korunmasında kullanılan yöntemlerden biri de patlama etkilerine karşı geliştirilen kompozit malzemelerdir. Patlama etkilerine karşı duvarların güçlendirilmesini amaçlayan çeşitli malzemeler geliştirilmiştir.

ABD Ordusu Mühendisler Birliği ile birlikte Berry Plastics tarafından geliştirilen X-Flex koruyucu duvar kâğıdı (2005-2008), patlama etkilerine karşı duvarların dayanımını arttırabilmektedir. (Greenemeier, 2008)



Şekil 2. Bombaya dayanıklı malzeme örneği X-Flex (Url-1)

Bu çalışmada patlama etkilerine karşı alınmakta olan standart güvenlik önlemlerinin dışında sismik taban izolatörlü yapılarda patlama etkisi altında güvenliğin sağlanıp sağlanamayacağı ve ne kadar etkili olacağı araştırılmıştır. Sistem bazında ve elaman bazında analiz yöntemleri karşılaştırılmış ve etki/kapasite oranları farklı patlayıcı miktarlarına göre literatürde sunulmuş olan yönetmeliklerdeki referans patlayıcı ve ağırlıklar göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Patlama analizlerini elaman bazında yapan RC-Blast yazılımı kullanılarak yapılan analiz sonuçları ile SAP2000 yazılımında sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak sitem bazında yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca patlama güvenliğinin sağlanması için bir koruyucu duvar sistemi önerilmiş ve sismik izolatörlü ve izolatörsüz yapılar için verim değerleri karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Patlama

Bir patlama olayı sonucunda oluşan basınç dalgaları yapı yüzeyine etki ederek itme kuvveti meydana getirmektedir. Birçok çalışmada patlama etkileri elaman bazında dikkate alınmış ve patlama analizi yapan yazılımlar ve deneysel yöntemler kullanılarak yapısal elaman davranışları incelenmiştir. Patlama dalgası basıncı hesabında patlayıcı miktarı, patlama mesafesi ve patlayıcı özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Patlama mesafesi kavramı yapı dışında meydana gelen belli mesafede oluşacak patlamaları ifade etmektedir. Sistem bazında çalışmaların deneysel olarak yapılması pek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle ölçeklendirme kanunlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Hopkinson (1915) ve Craz (1926), patlayıcı miktarı ve patlama mesafesine dayanan Hopkinson - Craz ölçeklendirme yasasını (Küp Kök Ölçeklendirme Yasası) geliştirmiştir (Baker, 1973 ; Mays ve diğ., 1995). Hopkinson-Craz yasası, güvenli patlama mesafelerinin hesabının patlayıcı miktarının yanı sıra patlayıcı gücüne de bağlı olduğunu göstermektedir.

Feng Fu (2012), yüksek binalarda patlama etkilerinin deneysel olarak ölçülmesi oldukça maliyetli olduğundan ölçeklendirme kanunlarından yararlanmış ve patlama yükleri etkisi altında yüksek binaların dinamik davranışı hakkında bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında patlama etkilerini, aşamalı çökme analiz metodundan farklı olarak direkt yapıya uygulamış ve iki yöntemi karşılaştırmıştır. Analizlerde Abaqus yazılımını kullanarak patlama yüklerinin varış süreleri hesap edilmiş ve zamana bağlı bir analiz gerçekleştirmiştir. Yüklerin uygulanmasında sıvı-yapı etkileşim (Fluid-Structure Interaction) modeli esas alınmıştır. Çalışma sonucunda patlama yüklemesi sonucu elde edilen verilerin aşamalı çökme analizinden elde edilen verilerden daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Bu nedenle yüksek yapıların patlama etkilerine karşı güçlendirilmesinde patlama yüklerinin simule edilmesinin daha etkili olacağını belirtmiştir.

Hrvoje Draganić ve Vladimir Sigmund (2012), Manmohan Dass Goel ve Vasant Matsagar (2014), Zhang ve Philips (2015), Kazi ve Mulley (2017) patlama yükleri etkisi altında yapı performansının değerlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalarda bulunmuşlardır.

Y.A. Al-Salloum ve diğ. (2017), terör kaynaklı patlama etkilerinin yüksek binalara etkileri üzerine sayısal bir çalışmada bulunmuşlardır. Çalışmalarında bir sedan arabasının yapı önünde

patlatıldığı senaryosu üzerine LSDYNA yazılımı kullanılarak patlama yüklerinin 28 katlı betonarme bir yapıya etkisini incelemiştir. Çalışma, analizlerin gerçekleştirilmesi bakımından lokal ve global olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Lokal modelde patlama senaryosundan etkilenmesi muhtemel elemanların sonlu eleman modeli oluşturulmuş global model de ise tüm yapının sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Patlama analizlerinde iki aşamalı bir analizin gerekli olduğunu, lokal analiz aşamasında eleman hasarlarının belirlenmesinin ardından, global analiz aşamasında da yapının genel tepkisinin değerlendirilmesinin gerçekçi bir yaklaşım olabileceğini belirtmişlerdir.

Lina K. Kadhum ve Ali Kifah Kadhum (2020), çalışmalarında çelik çerçeveli düzensiz bir yüksek binanın ETABS 2018 yazılımı kullanılarak patlama etkileri altında dinamik analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında UFC kriterlerinden yararlanarak patlama yüklerini tasarlamışlar ve yapı yüzeyine etki ettirmişlerdir. Yapıda meydana gelen görel kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda artan TNT ağırlığının yapıda alt kat ve orta katları etkilediğini bu nedenle de mimari tasarımda katların işlevini seçmede iç tasarımında bu durumun etkili olacağını belirtmişlerdir.

Shobha R, ve diğ. (2020), patlama etkileri altında düzenli ve düzensiz yapısal çerçeveye sahip yapıların çeşitli mesafe ve çeşitli patlayıcı ağırlıklarına göre patlama analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda düzensiz çerçeveli yapıların patlama etkilerine daha duyarlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Patlama etkileri birçok rapor ve yönetmelikte de yerini almıştır. Bunlardan bazıları şunlardır:

- Kingery ve Bulmash (1984) Teknik Raporu
- Nükleer Silah Etkilerine Dayanıklı Yapı Tasarımı (ASCE Manual 42 1985)
- Patlama Etkilerine Dayanıklı Yapı tasarımı (USDA 1990)
- Ordu Teknik El Kitabı (Ordu Dairesi, 1990)
- Birleşik Tesisler Kriterleri (2008)

2.1.1. Patlamanın Yapı Üzerinde Etkisinin Sayısal Hesabı ve Yaklaşımlar

İdeal patlamalarda şok ve basınç dalgalarının atmosferde homojen olarak dağıldığı kabul edilmektedir. Basınç dalgalarının bir yüzeye çarpması sonucu ise yüzenden yansımalar meydana gelmektedir. Meydana gelen yansıyan patlama dalgaları, yapı üzerine etki edecek basınç yükünü serbest hava içinde ki bir patlamaya göre yaklaşık bir ya da iki kat arttırabilmektedir. Bu nedenle bir patlama olayında patlama yükünün tahmini yapılabilir olmasına karşın yapı yüzeyinde meydana gelecek hasarın tahminine yönelik ancak yaklaşımlarda bulunulabilmektedir (Karlos ve Solomos, 2013).

Patlama dalgası itki yükü, patlamanın zamana bağlı basıncının toplam ifadesidir. Patlama dalgası darbe yükü eşitliği denklem 1’de, darbe yükü eşitliğinin hesabında gerekli olan patlama yükü basıncı denklem 2’de, patlama yükü basıncının hesabında gerekli olan ölçeklenmiş mesafe ve eş değer patlayıcı ağırlığı sırasıyla denklem 3 ve 4’te verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Patlama etkisi hesabı formülasyonları

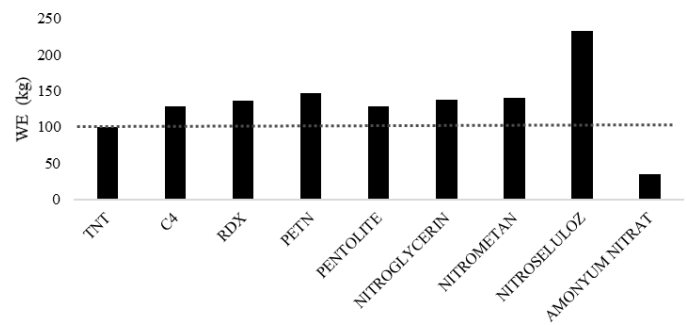
Formülasyonlar	
$I = \int_t^{t+t_{son}} P_s(t) dt$	(1)
$P_s(t) = P_{so} (1 - \frac{t}{t_o}) \exp(-b.t/t_o)$	(2)
$Z = R.W^{-1/3}$	(3)
$W_{es} = W_{Patlayıcı} H_{Patlayıcı} / H_{TNT}$	(4)

Patlayıcı madde taşımacılığında güvenliğin sağlanması için araçların bagaj kapasitelerine dayanarak patlayıcı miktarları ve patlama noktasına emniyetli mesafeler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Patlama noktasına emniyetli mesafeler (Emergency Response Guidebook, 2016)

Patlayıcı Kapasitesi	Patlama Noktasına Emniyetli Mesafe
Çanta (23 kg)	47-563 m
Hatch-back otomobil (227 kg)	99-579 m
Sedan otomobil (454 kg)	123-731 m
Minibüs (1814 kg)	196-1158 m
Kamyonet/Yakıt Tankeri (4536kg)	264-1554 m
Kamyon (27273 kg)	476-2834 m

Patlayıcı ağırlığı arttıkça belli bir oranda güvenli patlama mesafeleri de artış göstermektedir. Bu mesafeler Hopkinson-Cranz Yasasına göre eş değer patlayıcının ağırlığının küp kökü oranı ile hesap edilebilmektedir. Eş değer patlayıcı ağırlığı ise Şekil 3’te görüldüğü gibi farklı tipte patlayıcıların TNT eş değer ağırlığını ifade etmektedir.



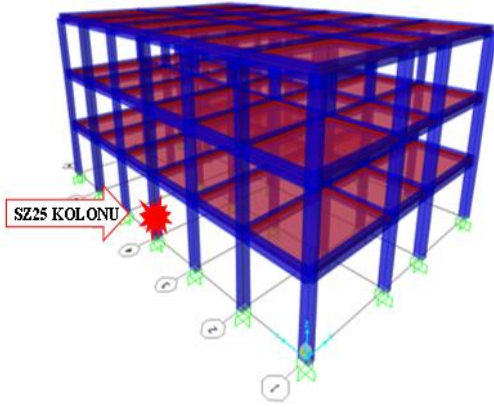
Şekil 3. 100 kg TNT'ye eş değer patlayıcılar

Bu çalışmada da eş değer patlayıcı ağırlıkları farklı mesafelere göre hesap edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan SAP2000 yazılımı kullanılarak betonarme bir yapı modeli üzerinde patlama analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla toplu kütle modelini esas alan RC-Blast yazılımı kullanılarak patlayıcıya en yakın konumda bulunan kolon için patlama analizleri yapılmıştır (Şekil 4). SAP2000 yazılımında doğrusal hesap yöntemleri dikkate alınırken RC-Blast yazılımında kolon kesitinin doğrusal olmayan malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Literatürdeki çalışmalarda tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli analiz

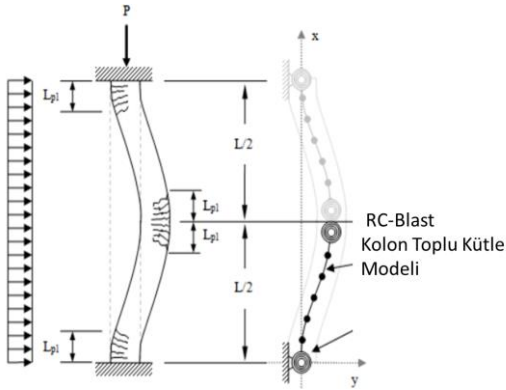
yöntemlerinin birlikte kullanıma yönelik açıklamalar bulunsa da taban yalıtımlı yapılar için bu yöntemlerin birlikte değerlendirildiği bir çalışma bulunmamaktadır.

3. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada aynı geometriye ve malzeme özelliklerinde düşeyde 480411,90 kN/m ve yatayda ise 405,69 kN/m rijitliğe sahip kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlü yapı ile zemine rijit bağlı (ankastre mesnetli) iki farklı yapı modeli patlama etkilerine maruz bırakılmıştır. Patlama noktasına kritik mesafede bulunan kolonun RC-Blast programında patlama analizi gerçekleştirilmiş ve SAP2000 yazılımında sistem bazlı yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. RC-Blast yazılımı kullanılarak SZ25 kolonunun dayanım grafiği elde edilmiştir. Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapının farklı mesafelerde patlama etkilerine maruz kalması durumunda kritik noktadaki kolonda (SZ25) meydana gelen patlama etkileri kolon kapasitesi ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4). Yapıların korunmasına yönelik bir güvenlik duvarı tasarımı yapılmış ve patlama noktası ile yapı arasına yerleştirilmiş ve güvenlik duvarı etkileri incelenmiştir.



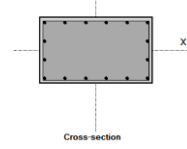
a) SAP2000 modeli



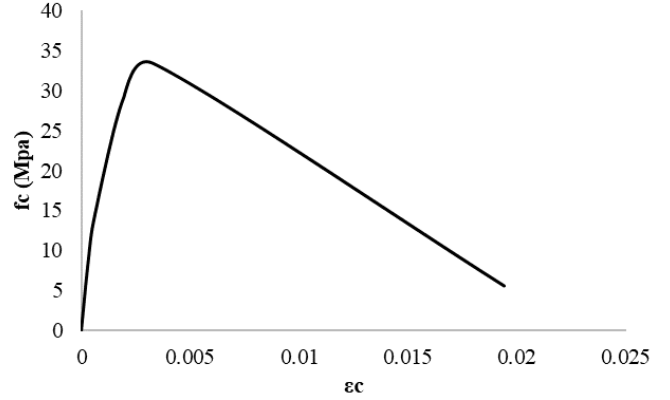
b) RC-Blast modeli

Şekil 4. Patlayıcıya en yakın konumda bulunan SZ25 kolonu

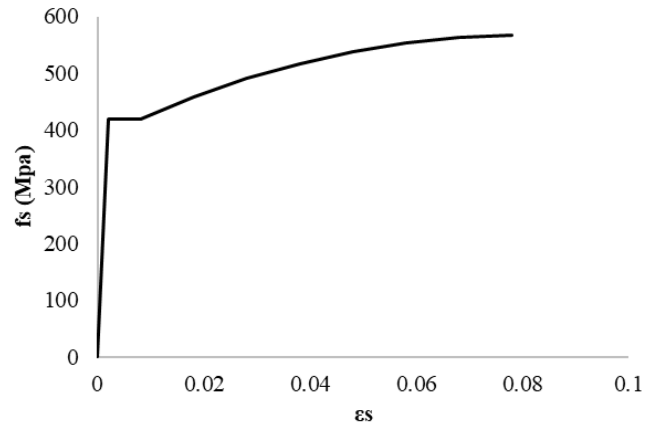
RC-Blast yazılımında tanımlanan SZ25 kolonuna ait kesit özellikleri Şekil 5'te verilmiştir. Beton özellikleri Şekil 5a'da belirtildiği üzere Saatçioğlu-Ravzi sargılı beton modeli esas alınarak tasarlanmıştır. Kolon kesitinde B420C çeliği kullanılmıştır (Şekil 5b). Kolon ait moment eğrilik grafiği Şekil 5c 'de verilmiş olup RC-Blast yazılımında doğrusal olmayan davranış dikkate alınmıştır.



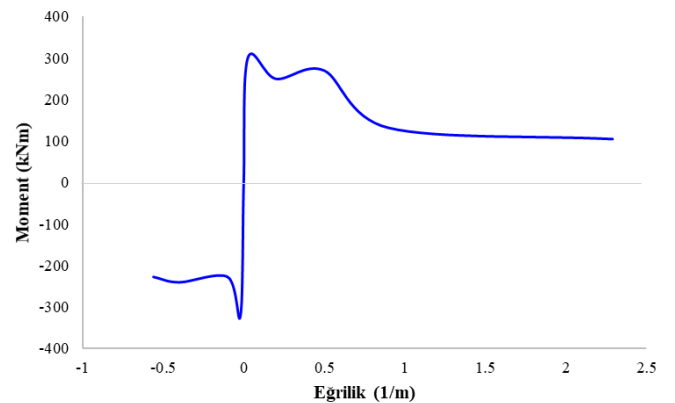
Kolon kesiti 350/600 mm² (16φ16)



a) C25/30 betonu



b) B420C Çeliği

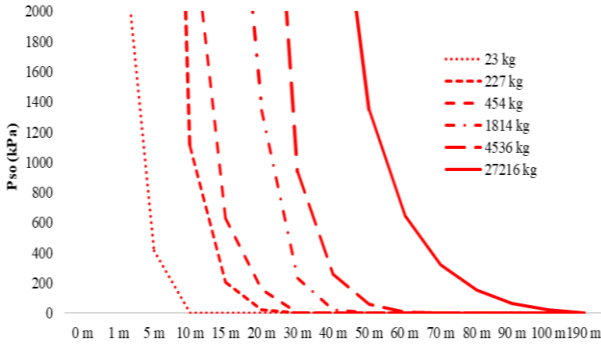


c) SZ25 Kolonu moment eğriliği

Şekil 5. Kolon kesit özellikleri

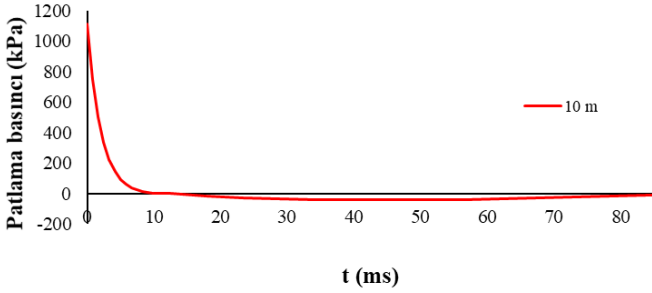
Tablo 2'de verilmiş olan patlama mesafeleri ve Şekil 3 'te verilmiş eş değer patlayıcı ağırlıkları dikkate alındığında, Şekil 6'da farklı patlayıcıların yapı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine yönelik patlama basıncı hesabı yapılmış ve güvenli mesafeler elde edilmiştir. Farklı ağırlıktaki TNT'lerin ne kadar mesafede sönmüneceği Şekil 6'da görülmektedir.

Maksimum patlama basınçları Şekil 7’de verilmiş olan grafiklerin maksimumlarını ifade etmekte olup Şekil 6’da farklı durumlar için hesap edilmiştir.

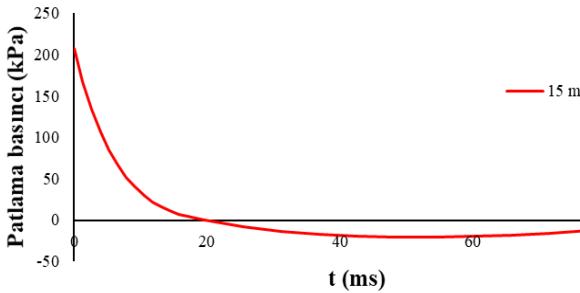


Şekil 6. Maksimum patlama basınçları

227 kg TNT etkisi altında 10 metre mesafede 1111 kPa’lık bir maksimum patlama basıncı oluşurken 15 metre mesafede 207 kPa’lık bir patlama basıncı meydana gelmektedir (Şekil 7).



a) 10 metre mesafede patlama etkisi

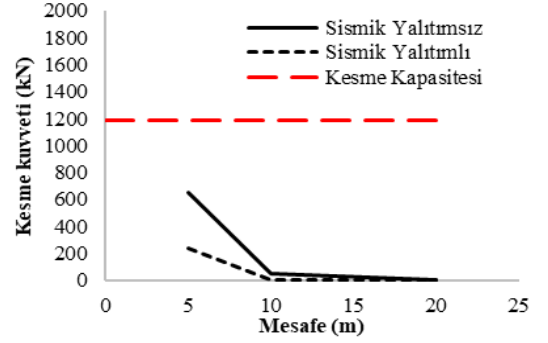


b) 15 metre mesafede patlama etkisi

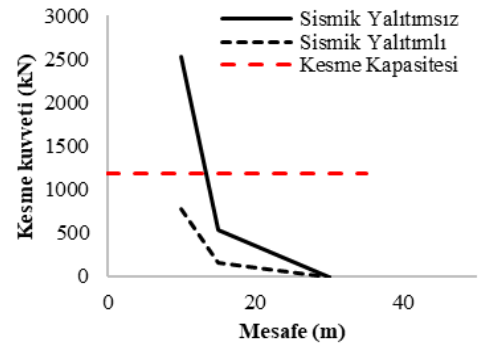
Şekil 7. 227 kg TNT için patlama basıncı grafikleri

Sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapının farklı mesafelerde patlama etkilerine maruz kalması durumunda kritik noktadaki kolonda meydana gelen patlama etkileri kolon kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu, sismik yalıtımlı yapıda güvenli bölgede kalırken sismik yalıtımsız yapıda 10 metre mesafede kolon kapasitesi aşılmıştır (Şekil 8). Tablo 2’de verilmiş olan mesafeler yapı üzerindeki etkiyi ifade etmediğinden basınç ve mesafe bakımından yapının alacağı hasar hakkında bu grafikten bilgi edinilebilmektedir.

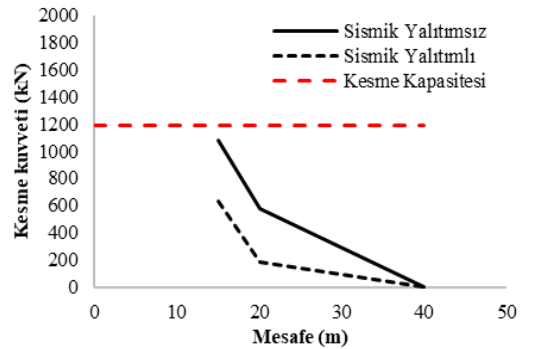
Örneğin 23 kg TNT 5 metre mesafede yaklaşık 420 kPa etki oluştururken Şekil 8a incelendiğinde kesme kapasitesinin aşılmadığı görülmektedir.



a) 23 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

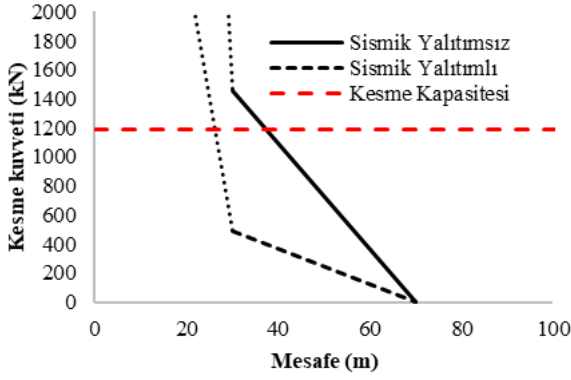


b) 227 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

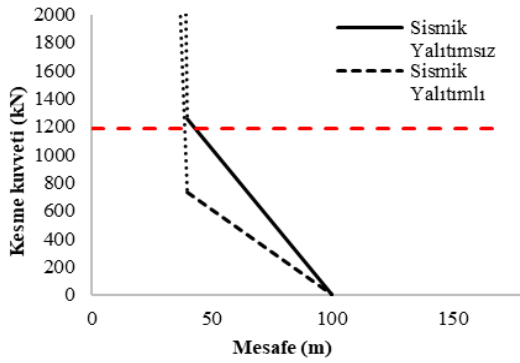


c) 454 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

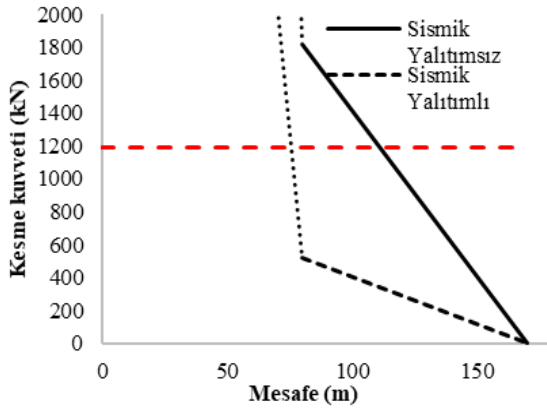
Şekil 8. Kritik noktadaki kolonda meydana gelen patlama etkileri ve kolon kapasitelerinin karşılaştırılması



d) 1814 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



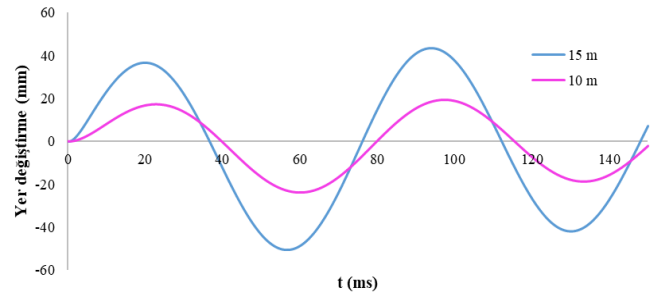
e) 4536 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri



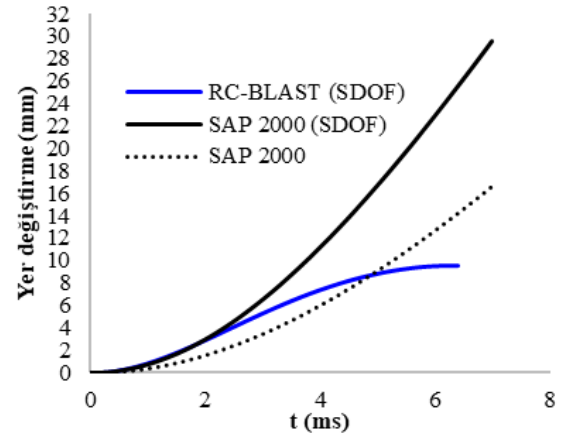
f) 27256 kg TNT etkisi altında SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

Şekil 8. (devam) Kritik noktadaki kolonda meydana gelen patlama etkileri ve kolon kapasitelerinin karşılaştırılması

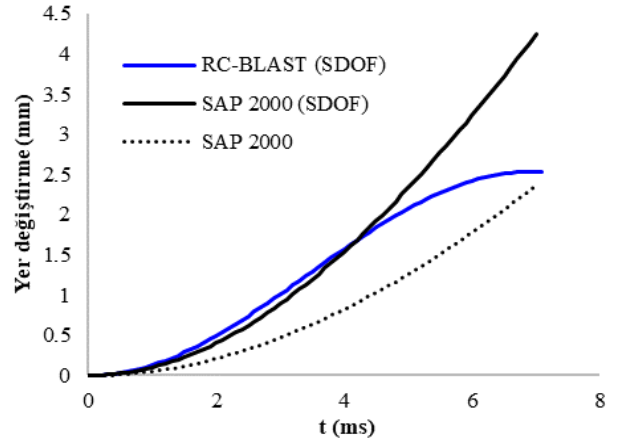
Kolonda meydana gelen şekil değiştirmeler ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde Şekil 9'da eleman bazında SZ25 kolonu SAP2000 ve RC-Blast analizlerinden elde edilen sonuçlar başlangıçta örtüşse de sistem bazında bakıldığında ortalama bir yer değiştirme değerine ulaşılmaktadır.



a) RC-Blast yer değiştirmeler



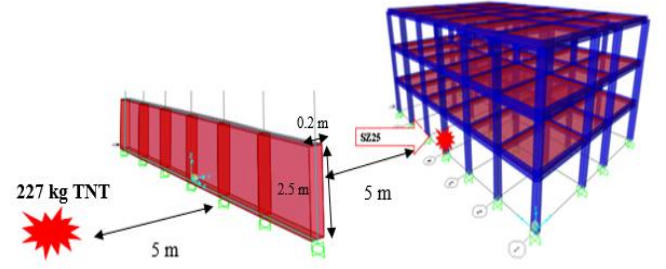
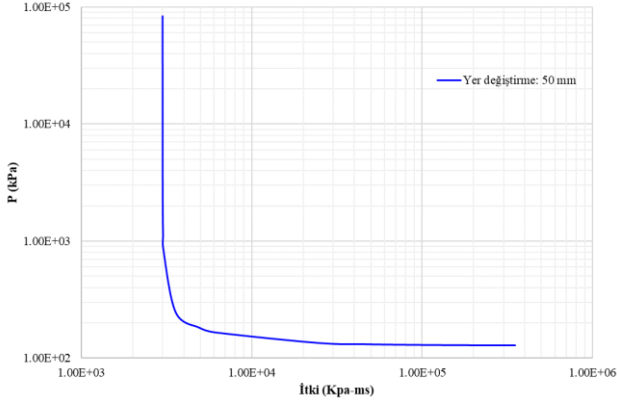
b) 10 metre mesafede patlama



c) 15 metre mesafede patlama

Şekil 9. SZ25 kolonu için yer değiştirme zaman grafiklerinin karşılaştırılması (227 kg TNT)

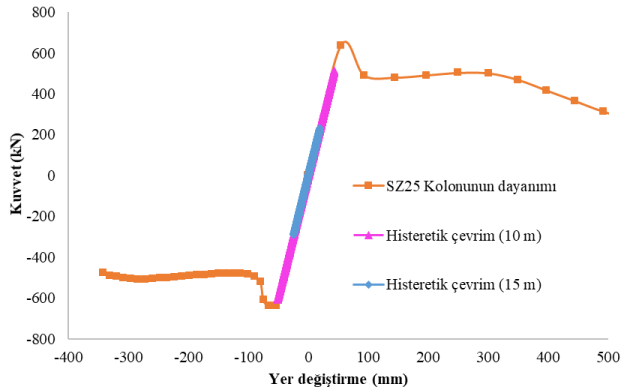
RC-Blast yazılımında 50 mm için kolon kesitinin basınç-itki grafiği elde edilmiştir. Bu grafiğe göre kolonun 50 mm'lik bir yer değiştirme yapması için 100 MPa'lık bir basınç uygulanması gerekmektedir. Bu durumda yüzeyde oluşacak itki yaklaşık 9 MPa-ms dir.



Şekil 12. Güvenlik duvarı tasarımı

Şekil 10. SZ25 kolonu için RC-Blast PI (Basınç-İtki) sonuçları

Şekil 11'de sismik yalıtımsız yapıda SZ25 kolonu için kolon histerezis eğrileri verilmiştir. 10 metre mesafede kesitin kritik noktada olduğu görülmektedir. Yaklaşık 50 mm'lik yer değiştirmede kesitin dayanımını yitireceği görülmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak adına yapıdan 5 metre uzakta betonarme perdelerle bir koruma duvarı oluşturulmuş ve bu durumda uygulanacak patlama yükleri etkisinde sismik izolatörlü ve izolatörsüz yapılarda oluşacak taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır.

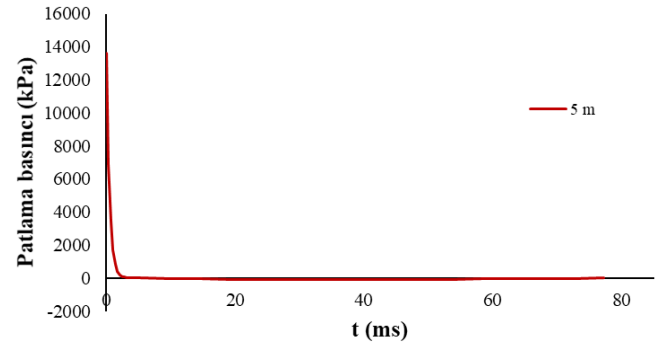


Şekil 11. SZ25 kolonu için yük çevrimi (kuvvet-yer değiştirme) grafikleri

SAP2000 yazılımında itki yüklerinin tanımlanabilmesi bakımından genel hasar tahmini yapılabilmektedir. Elde edilen analiz sonuçları değerlendirildiğinde 227 kg'lık TNT etkisi altında 10 metre mesafede SZ25 kolonu dayanımını yitirirken 15 metre mesafede patlama olduğunda kesit güvenli bölgede kalmaktadır (Şekil 8b). RC-Blast yazılımında da analiz sonuçları incelendiğinde yük çevrimlerinin 10 metrede kapasite sınırına ulaştığı 15 metrede ise elastik bölgede kaldığı görülmüştür (Şekil 11).

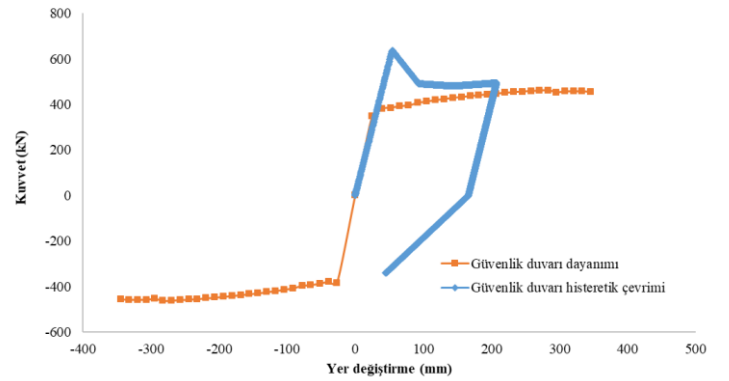
Patlayıcı ile yapı arasına bir güvenlik duvarı inşa edildiği varsayımına dayanarak (Şekil 12) yapının 2,5 metre 'de patlama etkilerinin duvar ile söndüldüğü varsayılmış ve 2,5 m üstü için yeni bir patlama analizi yapılmıştır.

Güvenlik duvarına etki edecek patlama fonksiyonu Şekil13'te verilmiştir:



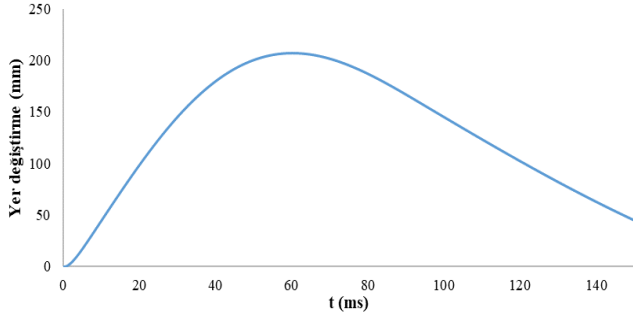
Şekil 13. 5 m mesafede 227 kg TNT patlama basıncı grafiği

Perde duvarlar için C40 beton sınıfı kullanılmıştır. Patlama yükü etkileri altında güvenlik duvarındaki yük-yer değiştirme grafiği Şekil 14'te verilmiştir.

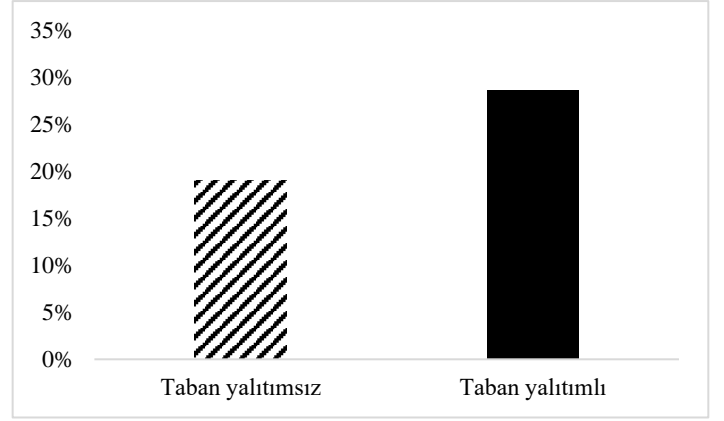


Şekil 14. 5 m mesafede 227 kg TNT etkisi altında güvenlik duvarı histerezis eğrisi

Şekil 15 incelendiğinde perde duvarda meydana gelen maksimum yer değiştirme 200 mm'dir. Şekil 16'da basınç-itki grafiği incelendiğinde perdenin 200 mm yer değiştirmesi için gerekli basınç yaklaşık 10 kPa'dır. 10 kPa'lık basınç etkisi altında 8,2 MPa.ms'lik bir itki kuvvetine maruz kalacaktır (Şekil 16).



Şekil 15. RC-Blast duvar için yer değiştirmeler



Şekil 17. Güvenlik duvarı etkisi

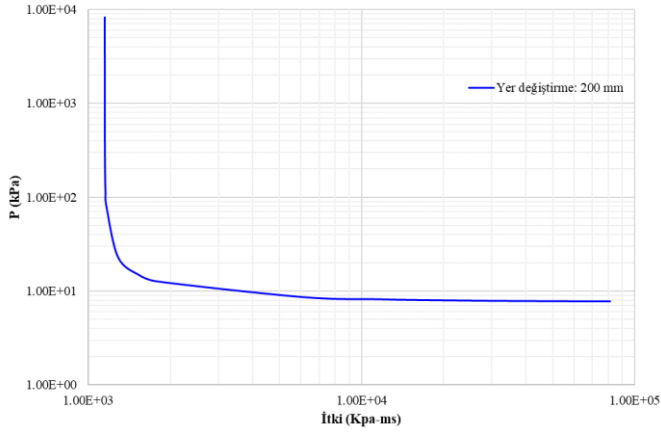
4. Sonuç ve Öneriler

Patlama analizleri sonucunda sismik yalıtımlı ve yalıtımsız yapılar karşılaştırılmıştır.

- Sismik yalıtımlı yapıda kritik noktada bulunan elemanların sismik yalıtımsız yapıya oranla güvenli bölgede kaldığı görülmüştür.
- Basınç-İtki grafiklerinden yararlanılarak birim alana düşecek kuvvet değerlerinin elde edilmesi patlamaya dayanıklı yapı tasarımında ön tasarım aşamalarında eleman hasarları bakımından tahmin yürütülmesinde faydalı olacaktır.
- RC-Blast ve SAP2000 yazılımı analiz sonuçları karşılaştırıldığında iki farklı yöntemde de analiz sonuçlarının örtüştüğü gözlenmiştir.
- Yapının önüne güvenlik duvarı inşa edilmesi fikri geçmişten günümüze kullanılan bir yöntem olmaktadır. Yalıtımlı yapılar üzerinde koruma yüzdesinin arttığı gözlenmiştir.
- RC-Blast yazılımında patlama yükü 90° yayılı yük olarak etki ettirilirken SAP2000 yazılımında açısız olarak etki ettirilmiştir. Analiz sonuçlarındaki farklılıkların bu sebeple olabileceği düşünülmektedir.
- Eleman bazında yapılan hesaplamalarda tek serbestlik dereceli sistem modeli ile yapısal sistem arasında birebir benzerlik oluşmasa da kolon kapasitelerinin oluşturulmasında gösterdiği kolaylık bakımından genel yapısal hasarın belirlenmesinde yardımcı olabilmektedir.

Kaynakça

- Al-Salloum, Y. A., Abbas, H., Almusallam, T. H., Ngo, T., & Mendis, P. (2017). Progressive collapse analysis of a typical RC high-rise tower. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(4), 313-320.
- Army, U. S. (1990). Structures to resist the effects of accidental explosions, TM 5-1300. *US Department of the Army Technical Manual, Washington, DC.*
- ASCE. (1985). Design of structures to resist nuclear weapons effects. *ASCE manual 42.*
- Baker W.E., (1973) "Explosions in Air", Univ. of Texas Press, Austin TX USA.
- Draganić, H., & Sigmund, V. (2012). Blast loading on structures. *Technical Gazette*, 19(3), 643-652.



Şekil 16. Duvar için RC-Blast PI (Basınç-İtki) sonuçları

Duvarda meydana gelen dayanım kaybı yaklaşık 50 mm'de meydana geldiğinden duvarın koruma etkisinin yüksek olduğu söylenebilir (Şekil 14). Bu durumda mevcut yapıda 2,5 metre seviyesinde yapı elemanlarının patlamadan etkilenmediği varsayılarak patlama analizi gerçekleştirildiğinde SZ25 kolonunda oluşan kesme kuvveti değerleri güvenlik duvarı oluşturulmadan önceki durumla karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. SZ25 kolonu kesme kuvvetleri

SZ25	Taban kesme kuvveti (kN)	
	Koruma duvarlı	Koruma duvarsız
Taban yalıtımsız	2054,08	2536,85
Taban yalıtımlı	551,55	773,05

Sismik yalıtımlı yapıda yalıtımsız yapıya oranla güvenlik duvarı etkisi daha fazladır (Şekil 17).

- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2003). FEMA-426: Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks against Buildings.
- FEMA (2007). Risk Management Series, Site and Urban Design for Security Guidance Against Potential Terrorist Attacks, FEMA 430
- FEMA. (2003). Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks. FEMA 427.
- Feng Fu., (2012), Response of a multi-story steel composite building with concentric bracing under consecutive column removal scenarios, *Journal of Constructional Steel Research* 70, 115–126.
- Friedlander, F. G. (1946). The diffraction of sound pulses I. Diffraction by a semi-infinite plane. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 186(1006), 322-344.
- Goel, M. D., & Matsagar, V. A. (2014). Blast-resistant design of structures. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 19(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000188](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000188)
- Greenemeier, L. (2008). Sticky Savior: US Army Readies a New Blast-Protection Adhesive for Deployment.
- Guidebook, E. R. (2016). US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration.
- Hinman E, Engineers PHC (2017) Blast safety of the building envelope. Whole Building Design Guide 2017. Erişim adresi: <https://www.wbdg.org/resources/blast-safety-building-envelope>
- Jacques, E. (2014). RCblast (version. 0.5. 1)[Computer software].
- Kennett, M. N., Letvin, E., Chipley, M., & Ryan, T. (2005). Risk Assessment: A how-to guide to mitigate potential terrorist attacks against buildings. *FEMA Risk Management Series*.
- Kadhun, A. K., & Kadhun, L. K. (2020) Behavior Of Architectural And Structural For Steel Fram Tall Building Subjected To Blast Loads.
- Karlos, V., & Solomos, G. (2013). Calculation of blast loads for application to structural components. *Report EUR*, 26456.
- Karlos, V., Solomos, G., & Larcher, M. (2016). Analysis of the blast wave decay coefficient using the Kingery–Bulmash data. *International Journal of Protective Structures*, 7(3), 409–429. <https://doi.org/10.1177/2041419616659572>
- Kazi, S. N., & Muley, P. V. (2017). Analysis of blast resistant RCC structure. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Kingery, C. N., & Bulmash, G. (1984). Technical report ARBRL-TR-02555: Air blast parameters from TNT spherical air burst and hemispherical burst. *AD-B082*, 713.
- Liu, Y., Yan, J. B., & Huang, F. L. (2018). Behavior of reinforced concrete beams and columns subjected to blast loading. *Defence Technology*, 14(5), 550-559.
- Mays, G., Smith, P. D., & Smith, P. D. (Eds.). (1995). *Blast effects on buildings: Design of buildings to optimize resistance to blast loading*. Thomas Telford.
- National Research Council. (2002). *Protecting People and Buildings from Terrorism: Technology Transfer for Blast-effects Mitigation*. National Academies Press.
- SAP2000, C. S. I. (2019). V21. Integrated Software for Structural Analysis and Design. *Computer & Structures Inc. Berkeley, California, USA*.
- Saatcioglu, M., & Razvi, S. R. (1992). Strength and ductility of confined concrete. *Journal of Structural engineering*, 118(6), 1590-1607.
- Shobha, R., Vinod, B. R., Prabhu, A. P., Shubhashree, G. R., & Yaksha, V. (2020). Response of Tall Structures Along Face Exposed to Blast Load Applied at Varying Distance. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 9(1), 455–460. <https://doi.org/10.35940/ijrte.a1591.059120>
- Unified Facilities Criteria (UFC). (2008). Structures to resist the effects of accidental explosions. *UHPFRC 3–*, 340-02.
- Url-1<<https://www.straitstimes.com/singapore/ntu-scientists-create-new-material-which-can-strengthen-buildings-and-make-walls-bomb>>
- Wang, W., Zhang, D., Lu, F., Wang, S. C., & Tang, F. (2012). Experimental study on scaling the explosion resistance of a one-way square reinforced concrete slab under a close-in blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 49, 158-164.
- Zhang, R., & Phillips, B. M. (2015). Numerical study on the benefits of base isolation for blast loading. *In 6th international conference on advances in experimental structural engineering, 11th international on advance smart materials and smart structures technology work shop*.