

YÜKSEK KATLI YAPILARDA YANGININ ÇÖKMEEYE ETKİSİ

Yrd. Doç. Dr. Serdar Selamet*

Tuğba Özdemir

Özet

Bu çalışmanın amacı, yangın yükünün yüksek katlı bir yapıya etkisini araştırmak ve daha sağlam yapısal tasarımlar yapmak için sonuçlar çıkarmaktır. Eğer bir yapı uygun bir şekilde tasarlanmamış ve kasırga, sel, deprem veya yangın gibi risk faktörlerinin yarattığı olası doğal afetlere dayanabilecek şekilde inşa edilmemişse, bu gibi felaketler yeşil ve sürdürülebilir binaların faydalarını boşa çıkarabilir. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), ABD Yeşil Bina Konseyi ve diğer uluslararası sertifikasyon kuruluşları tarafından geliştirilmiştir. Bu gibi çoğu sertifikasyon sistemlerinin ortak noktalarından biri, sürdürülebilirlik üzerinde yangın ve doğal tehlikelerin ele alınmamasıdır. Sürdürülebilir yüksek bir yapı tasarlamak için, o yapının yangına karşı dayanımı sağlanmış olmalıdır.

Bu çalışmada, yüksek katlı bir yapı, sonlu elemanlar yazılım programı olan LS-DYNA kullanılarak modellenmiştir. Üç boyutlu model, non-lineer kolon ve kiriş yapısal elemanlardan ve kompozit plaka elemanlarından oluşmaktadır. Yapının çökme simülasyonu için explicit dinamik analiz kullanılmıştır. Yangının şiddeti, lokasyonu ve yayılmasını ölçmek için çeşitli senaryolar kullanılmıştır. Bu çalışmada, farklı simülasyonların yapısal göçme zamanı ve çökme karakteri karşılaştırılmıştır. Olası göçme ve yapıda oluşan hasarın yangının şiddetine bağlı olarak arttığı saptanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen veriler, yüksek yapıların yangın gibi doğal afetlere karşı dayanıklılığını belirlemede ve dolayısıyla sürdürülebilir yüksek katlı yapıların tasarımında bir kriter olabilecektir.

Anahtar Sözcükler: yüksek katlı binalar; yangın güvenliği; yapısal yangın; çelik yapılar

* Yazışmadan sorumlu yazar

THE IMPACT OF FIRE SCENARIO TO THE COLLAPSE OF A TALL STRUCTURE

Yrd. Doç. Dr. Serdar Selamet*

Tuğba Özdemir

Abstract

The aim of this study is to investigate the effect of the fire load to a tall structure and draw conclusions for a better and more robust structural design. If a building is not properly designed and constructed to withstand potentially catastrophic events due to risk factors posed by fires, floods, earthquakes or hurricanes, such disasters can nullify the benefits gained from green construction. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) developed by the U.S. Green Building Council and other international certification organizations. One common aspect of most of these certification systems is a lack of consideration for the impact of risks such as fire and natural hazards on sustainability. In order to design sustainable tall structures, their robustness against extreme fire scenarios must be adequately satisfied.

In this study, a generic tall structure is modeled using the finite element software ABAQUS. The two-dimensional model consists of structural elements (beams and columns) as well as semi-rigid connections between beams and columns using nonlinear spring elements. To simulate the building collapse, the explicit dynamic analysis is used. Several fire scenarios are created to estimate the effect of fire severity, fire location and fire spread. The structural failure times of the different simulations are compared. The preliminary results show that the damage on the building and possible collapse is most sensitive to fire severity. It is anticipated that the data collected from this study will lead to better understanding of the weak links in the collapse mechanisms of tall structures and pave the way to provide necessary criteria in green certifications for the design of sustainable structures.

1. GİRİŞ

Yüksek katlı yapıların aşamalı çöküş davranışı yoğun olarak 2001'de Dünya Ticaret Merkezi kuleleri çöküşünden sonra incelenmeye başlanmıştır (Hoffman, 2004; Gross, 2005). Kolon kaybı nedeniyle ikili sistem çelik çerçeve ve moment dayanımı duyarlılık analizleri Kim et al. (2011) tarafından yürütülmektedir. Bu araştırmayla kiriş akma dayanımının en kritik parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Kesme bağlantıları ile ayrıntılı üç boyutlu kompozit zemin yapısı Sadek et al. (2008) ve Alashker et al. (2010) tarafından modellenmiştir. Tek katlı kompozit yapı aniden bir kolon kaybına tabi tutulur ve bu kompozit kattaki çekme kuvvetleri metal döşeme tarafından taşınır. Bundan başka, bağlantı kesme kapasitesinin sınırlı etkisi olduğu bulunmuştur. Benzer bir gözlem de Yu et al. (2009) tarafından yapılmıştır. Sekiz katlı Cardington çelik çerçeve binanın üç boyutlu modeli Kwasniewski (2010) tarafından kapsamlı bir şekilde yapılmıştır. Doğrusal olmayan dinamik davranış, farklı lokasyonlardaki kolon kaybı ve artan düşen yükler altında incelenmiştir. 20 katlı çelik binanın dinamik davranışı Fu (2009) tarafından farklı lokasyonlardaki kolon kaybı altında incelenmiştir. Izzuddin et al. (2008) ve Vlassis et al. (2009) ani kolon kaybı altında çelik çerçeveler için teorik bir zemin hazırlamıştır. Çelik bir bina da yangın gibi aşırı uç bir olay yüzünden çökebilir. Yangına maruz kalan yüksek binaların altında yatan mekanizma, daha önce Lange et al. (2012) tarafından incelenmiştir. Bu çöküşün ana nedeni ısıtılmalı zemin üstünde ve altında sütunların dışa ve içe sapma olduğu tespit edilmiştir. Bu sütunlar 'eksen sütunlar' olarak adlandırılır. Sun et al. (2012) çelik çaprazlı çerçevenin kırılma davranışını ve yüksek sıcaklıkta plastik mafsalların oluşumunu incelemiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, bu konuda yapılan önceki çalışmaların ışığında ISO834 yangın nedeniyle çöken 49 katlı çelik binanın yapısal tepkisinin değerlendirilmesidir. Böylece, çok katlı bir yapının çökme mekanizmasına yol açan yangın yükünün etkilerinin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır. Tüm senaryolar için 3 kat, farklı kat yerleri ve bölgeleri aynı anda ısıtılmıştır (asimetrik ve simetrik ısıtma).

Sonlu elemanlar programı olan LS-Dyna, yapının ayrık termo-mekanik dinamik tepkisini ölçmede kullanılan analiz aracıdır. Simülasyonlar merkez fark tam zamanlı entegrasyon şeması kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Geometrik non-lineer davranış, büyük yer değiştirmeler ve dönmeler dikkate alınmıştır. Malzeme doğrusal olmayan tepkisi bi-lineer etken modelin kullanımı yoluyla kabul edilir. Çeliğin akması ve malzemenin sertliği Eurocode hükümlerine göre yüksek sıcaklıklarda değişir. Yüksek katlı çelik çerçeve, 2 düğümlü tek boyutlu sonlu elemanlar ile modellenmiş çelik kiriş ve kolonlardan ve 2 boyutlu 4 düğümlü kabuk sonlu elemanlar ile modellenmiş kompozit döşemelerden oluşur. Hesaplama giderlerini azaltmak için kiriş ve kolonlar Selamat ve Garlock (2012) tarafından açıklandığı gibi yangın sırasında yerel burkulma etkileri tam olarak ele alınabilen kabuk elemanlarla modellenmemiştir. Yüksek katlı yapının yapısal yük taşıyan sistemi, dayanım momenti olarak kabul edilir. Ana kirişler rijit (moment) bağlantılı kolonlar ile tali kirişler ve bağlantı elemanları mafsallı bağlantılar ile birbirine bağlanır.

2. YÜKSEK BİNALARIN YAPISI

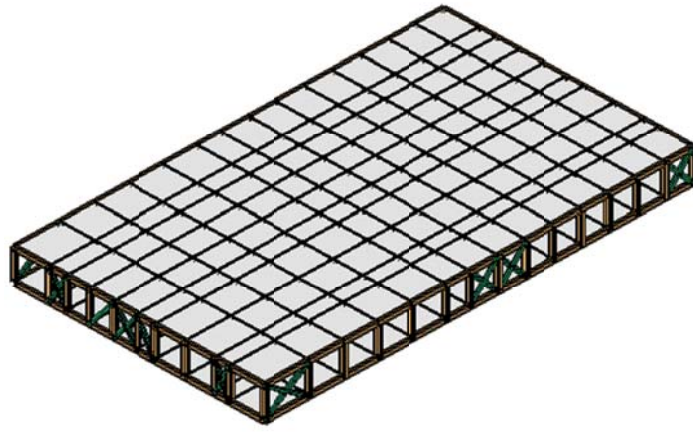
2.1 Tasarım

Yüksek katlı çelik yapı ilk önce yaygın olarak kullanılan mühendislik yazılım programı olan Etabs'da modellenmiştir. Çelik çerçeve bölümleri (yani ana ve tali kirişler, çaprazlar ve kolonlar) ASCE \ SEI 7–10 sismik yükleme hükümlerine göre deprem ve yerçekimi yüküyle uyumlu olarak tasarlanmıştır (ASCE 2010). Kompozit zemin yerleşiminin ilk örneği Chase Tower'a (eski BankOne olarak da bilinir) dayanmaktadır. Genellikle ana kirişler, tali kirişler, yan çaprazlar ve 10cm kalınlığında tali kirişe bağlı dökme beton döşemeden oluşmakta ve bina toplam 179m yüksekliğindedir. Model sapma hesaplamalarında eğilme rijitliği için betonarme döşemenin etkisi dikkate alınmıştır. Ancak bu etki daha konservatif bir yaklaşım olduğu için çelik tasarım hesaplamaları için ihmal edilmektedir. Her katın yüksekliği 3.6m olmakla beraber, kolon elemanlarının boyutu her 10 katta bir azaltılmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2 sırasıyla tipik bir çelik zemin ve kolon uyumunun görünümünü göstermektedir. Çubuk elemanlarının boyutları Tablo 1 'de gösterilmektedir. Ana ve tali kirişler arasındaki bağlantılar mafsallı olarak tutturulmuş ve ana kirişler moment çerçeve tasarımının bir parçası olarak moment bağlantıları

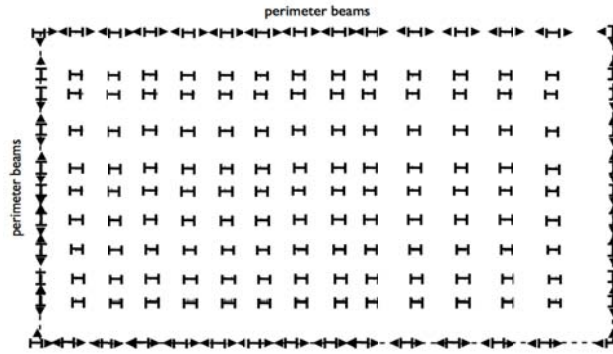
ile tutturulmuştur. Çaprazlar kafes elemanları olarak modellenmiştir. Şekil 1 'de gösterilen kompozit döşeme örneği üst katlar için çoğaltılmıştır.

2.2 Tasarım için Ağırlık ve Deprem Yükleri

Zati yük çelik elemanların kendi ağırlığı ve birleştirilmiş zati yük olarak 3.6 KN/m^2 olduğu varsayılmıştır. Birleştirilmiş zati yük hafif betonun ve perde gibi diğer yapısal elemanların kendi ağırlığını içerir. Hareketli yükün ASCE 7-10' a göre tipik bir ofis binası için olan $2,4 \text{ KN/m}^2$ olduğu varsayılmıştır. Yüksek yapının ilk periyodu $T_d = 2,61$ sn olarak hesaplanmıştır. Deprem tasarımı için hem modal davranış spektrumu analizi hem de eşdeğer yanal kuvvet analizi metotları kullanılmıştır. Los Angeles CA bölgesi her iki durum için de esas alınmıştır. Tepki faktörü R ve bina önem katsayısı I sırasıyla 8 ve 3 alınmıştır. 0.2 sn (S_s) ve $1,0 \text{ saniye}$ (S_1) spektral ivmeler sırasıyla $2,12 \text{ sn}$ ve $0,78 \text{ sn}$ olarak bulunmuştur. Taban kesme katsayısı ETABS'da $C_w = 0,177$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Yüksek binanın kat yapısı modeli



Şekil 2. Moment çerçeve tasarımı için kolon uyumları

Tablo 1.Yapısal çelik eleman boyutları

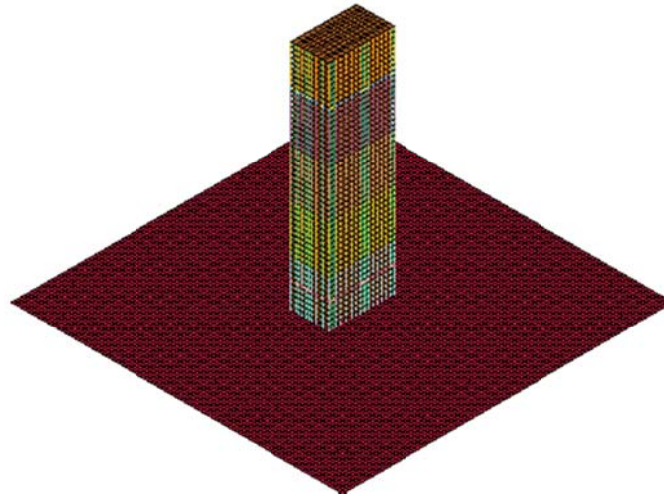
Yapısal eleman	Boyutlar
Ana kiriş	W24x146
Tali kiriş	W14x34
Yan çaprazlar	sW14x120
Kolon (1-10 th)	W24x335
Kolon (11-20 th)	W24x306
Kolon (21-30 th)	W24x207
Kolon (31-40 th)	W24x146
Kolon (41-49 th)	W24x103

3. LS-DYNA İLE SONLU ELEMENLAR MODELİ

3.1 Model Tanımı

ETABS'de modellenen yüksek yapının geometrisi çeşitli yangın senaryoları durumuna göre ayrık termo-mekanik analiz için LS-Dyna programına aktarılmıştır. Hughes-Liu kiriş elemanları ve Belytschko-Tsay kabuk elemanları modelde kullanılmıştır. Kabuk elemanlar sadece bir diyafram olarak binaya ek rijitlik sağlar. Şekil 3 de görüldüğü gibi rijit bir gövde zeminle temas sağlamak için taban üzerine yerleştirilmiştir. Tasarım esnasında tanımlanan düşey yüklere, yangın başlamadan önce ortaya çıkan atalet kuvvetlerinin olmadığından emin olmak için 6 sn boyunca *LOAD BODY Z komutu uygulanmıştır. Tabanda zati ve hareketli yük dolayısıyla oluşan tepki kuvvetleri ETABS sonuçları ile doğrulanmıştır. Aşamalı çökme simülasyonu için *CONTACT GENERAL komutu ile kabuk elemanlar, kiriş elemanlar ve rijit yüzey arasında belirli etkileşimler oluşturulmuş ve ısıtılmış katlardaki çelik malzeme *MAT ELASTIC PLASTIC THERMAL komutu ile sıcaklığa bağlı olarak tanımlanmıştır. Isıtılmamış katlardaki çelik malzeme *MAT PIECEWISE LINEAR PLASTICITY komutu ile sıcaklıkla bağımsız olarak tanımlanmıştır.

Sıcaklığa bağlı malzemenin mukavemeti ve çelik kısımların rijitliği ve beton döşemenin malzeme özellikleri Tablo 2 de verilmiştir. Basit bir çift doğrusal gerilme-şekil değiştirme ilişkisi (E_t sabit) Eurocode 3 (CEN 2001) temel alınarak kabul edilmiştir. Beton modelde ısıtılmadığı için, sadece ortam sıcaklığında malzeme özellikleri Tablo 2 de görülmektedir. Kolaylık olması açısından, hiçbir betonarme çubuk beton malzemesi için modellenmemiştir. Bir çeliğin sıcaklığa bağlı termal genleşme katsayısı α Eurocode 3 den alınmıştır.



Şekil 3. LS-Dyna'da programı yardımıyla yapılan rijit tabanlı yüksek bina modeli

Tablo 2. Sıcaklığa bağlı çeliğin özellikleri

T (°C)	20	100	300	500	600	700	900	1100
ρ (kg/m ³)	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850
E (GPa)	200	200	160	120	62	26	13.5	4.5
σ_y (MPa)	345	345	345	269	162	79	21	4.3
ν	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
E_t/E	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$\alpha \times 10^{-5}$ (1/°C)	1.23	1.25	1.33	1.41	1.45	1.49	1.34	1.46

Tablo 3. Beton Döşemenin Özellikleri

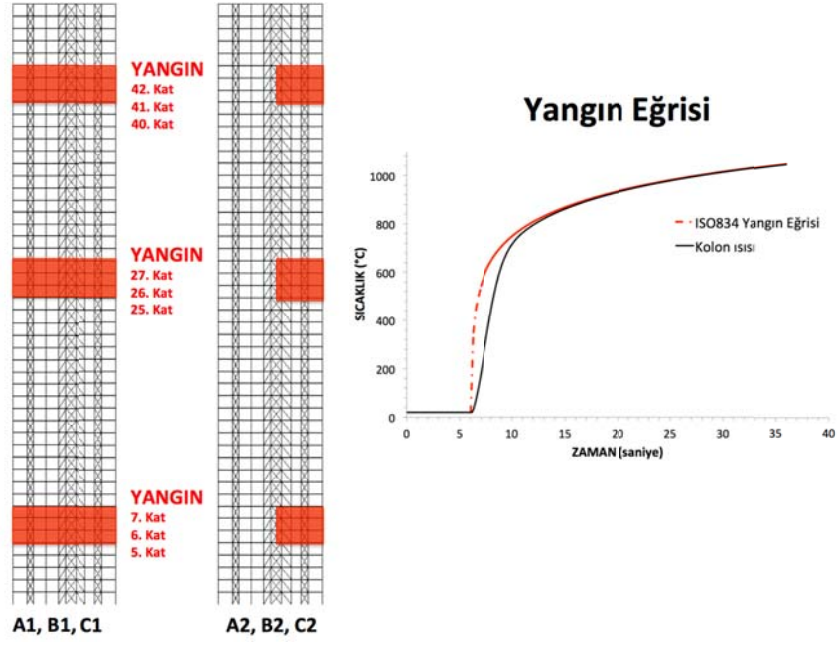
ρ (kg/m ³)	E (GPa)	σ_y (MPa)	ν	E_t (GPa)	kopma gerilmesi
1750	24.8	27.6	0.2	24.8×10^{-2}	0.05

3.2 AĞIRLIK YÜKLERİ VE YANGIN SENARYOLARI

Tablo 4'te tanımlanan ve Şekil 4'te gösterilen toplam 6 yangın senaryosu incelenmiştir. Bu senaryoları tasarlarken amaç, simetrik veya asimetrik yangın yayılmasını ve yangın lokasyonlarının (alt, orta ya da üst katta) etkisini anlamaktır. Tüm durumlarda, çelik bina 6 sn zati ve hareketli yüklerle kademeli olarak yüklenmiştir. Düşey yükler boyunca hiçbir salınım olduğu gözlenmemiştir ve bu durum yüklemenin statik kaldığını doğrulamaktadır. Korumasız kolon elemanlar Şekil 4'de görüldüğü gibi 6 sn ağırlık yükü uygulandıktan sonra ISO834 yangın eğrisi ile ısıtılmıştır (CEN 2001). Şekil 4'de gösterildiği gibi yangın eğrisi toplam 36 saniye ile ölçeklenmiştir. Bu süre zarfında, sistemin kinetik enerjisi termal yükleme boyunca dikkatlice izlenmiştir. Çelik yapılar konvektif ısı transfer katsayısı $h = 25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ve radyasyon (emissivity) katsayısı $\varepsilon = 0,5$ ile dört taraflı ısıtılmıştır. Kolonlara hiçbir yangın koruması uygulanmamıştır. Şekil 4'te kolon sıcaklığı ve ISO834 yangın eğrisi gösterilmektedir. A, B ve C senaryoları için 5., 6., ve 7. katları, 25., 26., 27. katları ve 40., 41., 42. katları aynı anda ısıtılmıştır. Simetrik senaryolar için (A1, B1 ve C1) bütün kat yüzeyi ısıtılmış, asimetrik senaryolar için (A2, B2 ve C2) ise yarı kat yüzeyi ısıtılmıştır. Yangın uygulanan kattaki yapı elemanlarının plastik deformasyonundan sonra çöküş başlamaz ise çöküşü başlatmak için binanın ağırlığı yapay olarak artırılmıştır.

Tablo 4. Yangın senaryoları

Senaryo	Yangın Yayılımı	Yangın Katı
A1	simetrik	5 th – 7 th
B1	simetrik	25 th – 27 th
C1	simetrik	40 th – 42 nd
A2	simetrik	5 th – 7 th
B2	simetrik	25 th – 27 th
C2	simetrik	40 th – 42 nd

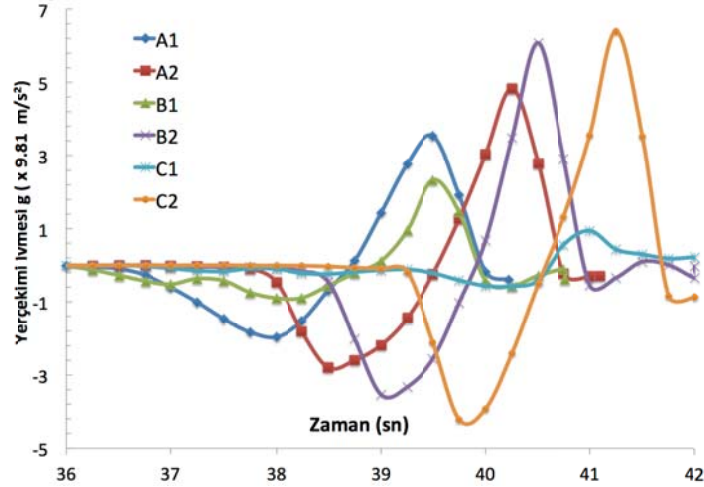


Şekil 4. Yüksek katlı bir binada yangın yeri ve ilerleme.

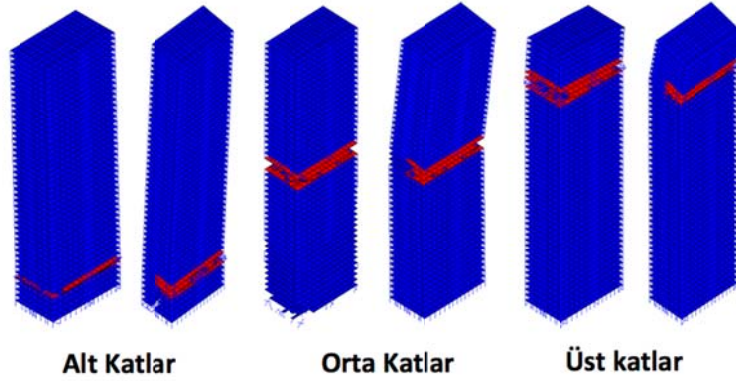
4. GÖZLEM VE SONUÇLAR

4.1 Binanın Çökmesi

Şekil 5 yüksek katlı çelik bir binanın farklı çöküşü özelliklerini açıkça göstermektedir. Yangın uygulandıktan hemen sonra (yaklaşık 36 saniye sonra) çökme başlamaktadır. Çökmenin başlangıcında bina g biriminde negatif (aşağı) bir ivme kazanıp, üst katların alt katlara çarpması ile ivme azalmakta ve hatta ters yöne doğru artmaya başlamaktadır. Çökmenin şiddeti asimetrik yangınlarda daha belirgindir. Alt katlardaki bir yangının, çökmenin daha erken başlamasına neden olduğu gözlenmiştir. Asimetrik bir çökme binanın bir tarafa yaslanmasına neden olmakta ve Şekil 6'da görüldüğü gibi enkazın daha fazla alana yayılmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı birbirlerine yakın yüksek yapıların çoğalması kentsel alanda büyük bir sorun yaratmaktadır.



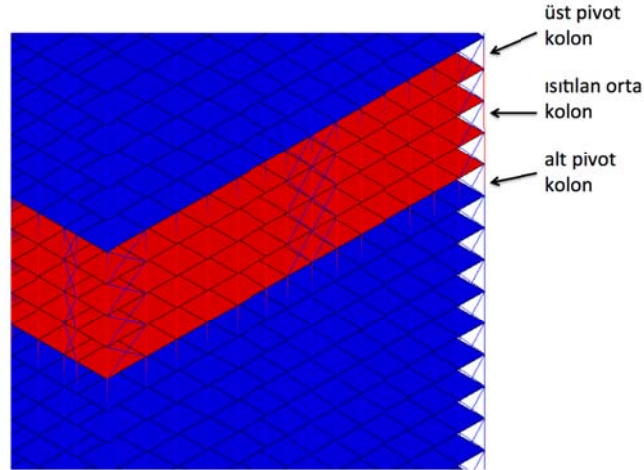
Şekil 5. Binanın dikey yöndeki ivmesi



Şekil 6. Tüm senaryolar için çökme başlangıcı (Isıtılan katlar kırmızı ile gösterilmektedir)

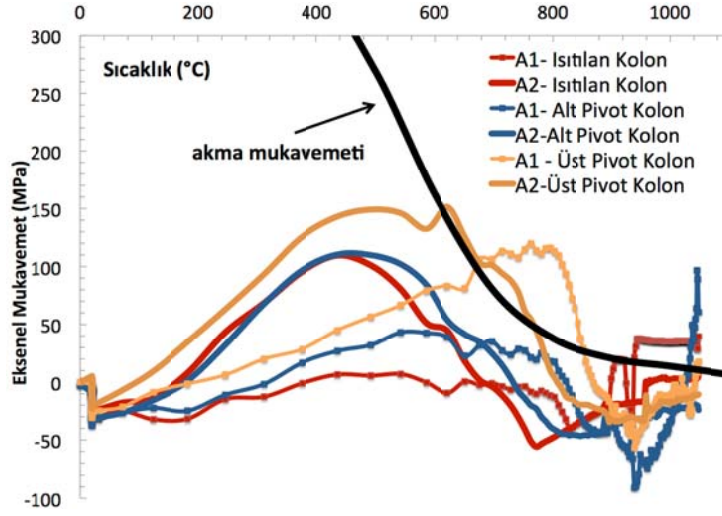
4.2 Kolonda Eksenel Kuvvetler

Çökmenin başlamasında yüksek binanın davranışını analiz etmek için üç köşe kolonun eksenel mukavemet gelişimi Şekil 7'deki gibi görülmektedir. Isıtmalı kolon ısıtılan bölgenin altındaki ve hemen üstündeki pivot kolon ile karşılaştırılmıştır. Şekil 8'den Şekil 10 sırasıyla A, B ve C senaryoları için bu kolonların eksenel mukavemet gelişimlerini göstermektedir.

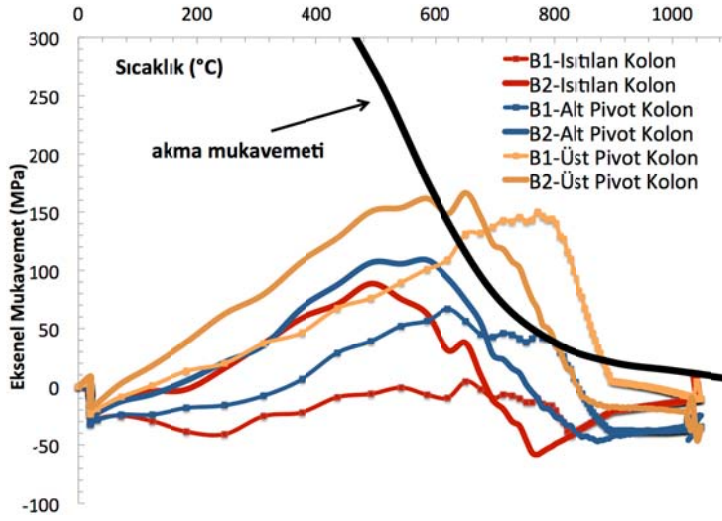


Şekil 7. Tüm senaryolar için köşe kolonların ve ısıtılan kolonların yeri

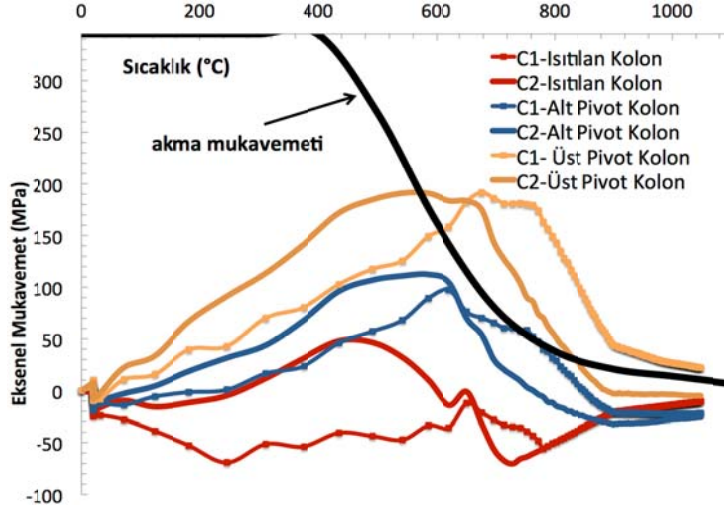
Şekillerde ayrıca kolonun sıcaklığa bağlı akma gerilimi kapasitesi (yield stress) çizilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi binanın ağırlığı, taşıyıcı kolon kapasitelerinin oldukça az bir bölümünü oluşturur. Büyük bir depreme karşı yatay dirençleri olacak şekilde tasarlanmış dizayn olduğu için bu beklenen bir durumdur. Isıtılan kolonlar minimum yük taşımakla beraber, pivot kolonlar katların genleşmesi nedeniyle çekme (tension) kuvvetine maruz kalırlar. En üst pivot kolon yaklaşık 800°C'de binanın çöküş başlangıcına kadar maximum yük taşımaktadır. Simetrik ve asimetrik çöküş arasındaki fark bu gerilmelerin büyüklüğü ile ölçülebilir. Ayrıca asimetrik durum için yaklaşık 600°C'de kolon gerilmelerinde ani bir düşüş görülmektedir ve çöküş daha önce olmaktadır.



Şekil 8. Alt kattaki yangınlar için kolonun eksenel gerilme - sıcaklık grafiği (A1 ve A2 durumları)



Şekil 9. Orta kattaki yangınlar için kolonun eksenel gerilme - sıcaklık grafiği (B1 ve B2 durumları)



Şekil 10. Üst katlardaki yangın için kolonun eksenel gerilme- sıcaklık grafiği (C1 ve C2 durumları)

5. SONUÇ

Bu makale, çeşitli yangın lokasyonlarında ve simetrik veya asimetrik yangın durumlarında yüksek katlı çelik binaların çökme mekanizması hakkında devam eden bir çalışma sunmaktadır. Gözlemler asimetrik ısınmanın çelik binanın ısıtılan kattaki bölgeye karşılık gelen tarafa yaslanarak çökmesine yol açtığını göstermektedir. Yüksek katlı çelik bina, büyük bir depreme göre tasarlanmış olsa bile yangından dolayı direnci azalıp çökme riskine sahip olduğu bu çalışma ile desteklenmiştir. Genel olarak asimetrik yangın yayılımı bina için daha fazla zarara yol açmakta ve binanın çökmesi simetrik yangın yayılımı ile kıyaslandığında daha erken başlamaktadır. Yangın lokasyonunun çökme davranışını az oranda değiştirdiği görülmektedir. Her durumda, ısıtılan bölgelerin aşağı ve yukarıdaki pivot kolonlar katların yanıl genişlemesinden dolayı çekme kuvvetine maruz kalmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Bu araştırma Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) No. (P) 7122 tarafından finanse edilmektedir. Bu makalede ifade edilen tüm fikirler, bulgular ve sonuçlar yazarlarındı ve kesinlikle BAP'ın politikasını ve görüşlerini yansıtmaz.

KAYNAKÇA

ALASHKER, Y., ELTAWIL, S., SADEK, F. Progressive collapse resistance of steel-concrete composite floors. Journal of Structural Engineering ASCE 136 (10): 1187-1196, 2010.

ASCE. ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (1st Edition). Reston: Virginia, 2010.

CEN. Eurocode 3: Design of steel structures Part 1.2: General Rules Structural fire design ENV 1993-1-2:2001. Brussels: Belgium, 2001.

- FU, F. Progressive collapse analysis of high-rise building with 3-D finite element modeling method. *Journal of Constructional Steel Research* 65: 1269-1278, 2009.
- GROSS, J.L., MCALLISTER, T.P. Structural fire response and probable collapse sequence of the World Trade Center Towers. Federal building and fire safety investigation of the World Trade Center disaster (NIST NCSTAR 1-6), NIST. Gaithersburg: Maryland, 2005.
- HOFFMANN, C., POPESCU, V., KILIC, S. A., SOZEN, M. Modeling, simulation, and visualization: The Pentagon on September 11th. *Computing in Science & Engineering (CISE)* 6(1): 52-60, 2004.
- IZZUDDIN, B.A., VLASSIS, A.G., ELGHAZOU, A.Y., NETHERCOT, D.A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss – Part I: Simplified assessment framework. *Engineering Structures* 30: 1308-1318, 2009.
- KIM, J., PARK, J.-H., LEE, T.-H. Sensitivity analysis of steel buildings subjected to column loss. *Engineering Structures* 33: 421-432, 2011.
- KWASNIEWSKI, L. Nonlinear dynamic simulations of progressive collapse for a multistory building. *Engineering Structures* 32: 1223-1235, 2010.
- LANGE, D., ROEBEN, C., USMANI, A. Tall building collapse mechanisms initiated by fire: Mechanisms and design methodology. *Engineering Structures* 36: 90-103, 2012.
- LSTC. LS-DYNA Keyword User's Manual Volume I & II version 971. Livermore: California, 2012.
- SADEK, F., EL-TAWIL, S., LEW, H.S. Robustness of composite floor systems with shear connections: Modeling, simulation, and evaluation. *Journal of Structural Engineering ASCE* 134(11): 1717-1725, 2008.
- SELAMET, S., GARLOCK, M. Plate buckling strength of steel wide-flange sections at elevated temperatures. *Journal of Structural Engineering ASCE*; doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000769, 2012.
- SUN, R., HUANG, Z., BURGESS I.W. The collapse behaviour of braced steel frames exposed to fire. *Journal of Constructional Steel Research* 72: 130-142, 2012.
- VLASSIS, A.G., IZZUDDIN, B.A., ELGHAZOU, A.Y., NETHERCOT, D.A. Progressive collapse of multi-storey buildings due to failed floor impact. *Engineering Structures* 31: 1552-1534, 2009.
- YU, M., ZHA, X., YE, J. The influence of joints and composite floor slabs on effective tying of steel structures in preventing progressive collapse. *Journal of Constructional Steel Research* 66: 442-451, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Yrd.Doç.Dr. Serdar Selamet

Lisans eğitimini Duke Üniversitesinde (2002–2006) İnşaat Mühendisliği alanında tamamlamıştır. Master ve Doktora eğitimine ise Princeton Üniversitesinde (2006–2011) İnşaat ve Çevre Mühendisliği alanında devam etmiştir. Halen Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesidir. Uzmanlık alanları; çelik ve beton malzeme davranışı, yapıların statik ve dinamik davranışları, ABAQUS sonlu elemanlar yöntemi, ABAQUS CAE modelleme, MATLAB modelleme.
Tel: +90 212 359 6430
serdar.selamet@boun.edu.tr

Tuğba Özdemir

Lisans eğitimini İstanbul Üniversitesinde (2006-2011) İnşaat Mühendisliği alanında tamamlamıştır. Halen Boğaziçi Üniversitesinde Master öğrencisidir. Çalışma konusu; Steel Connections in Composite Floor Systems Under the Fire.

Tel: +90 506 462 0772

tugba.ozdemir2@boun.edu.tr