

DEĞİŞİK KATLARDA ÇIKAN YANGIN SONUCUNDA ÇELİK YAPILARIN DAYANIMLARININ ARAŞTIRILMASI

Mehmet Toyanç YAZGAN*

ÖZ

Bu çalışmada doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizinin temel özellikleri açıklanmış ve 9 katlı çelik bir binaya ait bir moment aktaran çerçevenin doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizi ile senaryo yangın durumları altında değişik sıcaklıklardaki yanıl dayanımı ve rijitliğindeki değişiklikler incelenmiştir.

Bu amaçla ilk olarak, yüksek sıcaklık etkisindeki çelik elemanların malzeme özelliklerinde (akma gerilmesi, kopma gerilmesi, elastisite modülü) meydana gelebilecek değişiklikler belirlenmiştir. Daha sonra her bir senaryo durum için doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizi yapılmış ve sonuçlar karşı-laştırılmıştır.

Çelik binalarda yangından sonra çelik elemanların mekanik özelliklerinde yangının derecesine göre büyük değişiklikler meydana gelmektedir.

Sonuçları değerlendirildiğinde, çelik yapıların gerekli yangın koruma önlemleri ile binada bulunanların yangında dışarı çıkması için yeterli zamanı vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yangın, Çelik, Bina, Dayanım, Güvenlik, Yapı.

*Makale Gönderim Tarihi: 19.11.2019 ; Makale Kabul Tarihi : 30.05.2020 Makale Türü: Araştırma

DOI: 10.20854/bujse.648619

*İstanbul Gedik Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Doktora Öğrencisi

(toyanc@yenifikirler.org)

(ORCID ID: 0000-0003-3846-4399)

INVESTIGATION OF THE STRENGTH OF STEEL STRUCTURES AS A RESULT OF FIRE IN DIFFERENT FLOORS

Mehmet Toyanç YAZGAN*

ABSTRACT

In this study, the basic properties of nonlinear static push-over analysis are explained and the nonlinear static push-over analysis of a 9-storey steel structure is examined by non-linear static shift (push-over) analysis and changes in lateral strength and stiffness at different temperatures under scenario fire conditions.

For this purpose, firstly, changes in material properties (yield stress, tensile stress, modulus of elasticity) of steel elements under high temperature effect were determined. Then, nonlinear static push-over analysis was performed for each scenario case and the results were compared.

In steel buildings, after the fire, major changes occur in the mechanical properties of the steel elements according to the degree of fire.

When we evaluate the results, the necessary fire protection measures of the steel structures give enough time for the occupants to go out in the fire.

Keywords: *Fire, Steel, Building, Strength, Security, Structure.*

*Makale Gönderim Tarihi: 19.11.2019 ; Makale Kabul Tarihi : 30.05.2020 Makale Türü: Araştırma

DOI: 10.20854/bujse.648619

*İstanbul Gedik Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Doktora Öğrencisi
(toyanc@yenifikirler.org)

(ORCID ID: 0000-0003-3846-4399)

1. Giriş

Genel olarak tasarım, işlevsel tasarım ve taşıyıcı sistemin tasarımı olmak üzere iki bölümde düşünülebilir. İşlevsel tasarımda, kullanmaya elverişli alan, donanım, aydınlatma, ekipman ve estetik göz önünde tutulur; taşıyıcı sistemin tasarımında ise işletme yüklerini güvenle taşıyacak elemanların seçimi gerekir. Tasarımın adımları, Planlama (Yapının işlevinin ve optimum tasarım kriterlerinin belirlenmesi), Ön tasarım, Yüklerin saptanması, Ön boyutlama, Analiz (yüklerin ve sistemin modellenmesi, iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin saptanması), Değerlendirme (Dayanım ve işletme koşullarının kontrolü; sonucun optimum tasarım kriterleriyle uyumunun belirlenmesi), Yeniden tasarım (önceki adımlardan elde edilen sonuçların yeterli olmaması halinde tasarımın yeniden gerçekleştirilmesi), Sonuç (Optimum çözüme ulaşıp ulaşılmadığının irdelenmesi) şeklinde özetlenebilir.

Günümüzde, başlıca iki tür tasarım felsefesi vardır. Bunlardan birincisi güvenlik gerilmeleri, diğeri ise yük ve dayanım faktörü tasarımı olarak adlandırılırlar. Önceleri güvenlik gerilmeleri esasına dayanan yöntemler kullanılmış olmakla beraber, son yıllarda daha rasyonel ve olasılık esaslı olan sınır değer yöntemlerinin kullanılması yaygınlaşmıştır. Tasarım için değişik sınır değer esaslı yöntemler kullanılmaktadır[1].

Yapısal tasarımda hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, aşırı yüklenme veya dayanım azalması olasılığına karşı yeterli bir güvenliğin bulunması sağlanmış olmalıdır. Yapısal güvenliğin saptanması konusunda yapılan çalışmalar halen devam etmekte olup, bu çalışma değişik sıcaklıklarda çelik yapıların dayanımının ve rijitliğinin değerlendirilmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Sınır durumlar, yapının beklenen işlevlerini yerine getiremeye koşullarıdır ve genellikle, taşıma sınır durumu ve kullanma sınır durumu olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Taşıma sınır durumları denge, akma, kopma, büyük şekil değiştirmeler, mekanizma, burkulma, yerel burkulmalar, çarpılma, yorulma, devrilmedir. Yapının bu limit durumlara erişmeden büyük şekil değiştirmeler yapması yani sünek davranması beklenir. Kullanma sınır durumları ise, sehim, titreşim, kalıcı şekil değiştirmeler ve çatlaklar gibi yerleşim ile ilgili durumları içerir.

Yangın geçirmiş çelik binalarda çelik elemanların mekanik özelliklerinde yangının derecesine göre büyük değişiklikler meydana gelmektedir.

2.Amaç

Binanın yapı malzemesine uygun koruma önlemlerinin alınmaması durumunda bütün binalar yangında çökebilmektedir[1]. Avrupa Birliği Yapı Malzemeleri Direktifi'ne (89/106/EEC) göre, yapıların teknik özelliklerini etkileyen altı temel unsurdan birincisi mekanik dayanım, ikincisi ise yangın durumunda emniyettir[2]. Bu direktif, büyük binaların projelerinde yapının bir yangın durumunda çökmemesi için korunma esaslarını temel tasarım kriterleridir.

Yangınlarda karşılaşılan yüksek sıcaklıklar, metal yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinde önemli değişimlere ve bu malzemelerde önemli genleşmelere yol açar. Deneyler, sıcaklık arttıkça karbon çeliğinde akma sınırının düştüğünü ve belirli bir sıcaklıktan sonra artık akma sınırı oluşmadığını göstermiştir. Bunun anlamı, normal sıcaklıklara kıyasla plastik şekil değiştirmelerin daha düşük gerilmeler altında olmaya başladığı ve aynı gerilme altında toplam şekil değiştirmenin daha büyük olduğudur.

Yangın geçirmemiş ve yangın geçirmiş çerçevenin yanal dayanımları ve rijitliklerindeki değişiklikler karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Yangına dayanıklı çelik yapı tasarımında, yangının meydana getirdiği olumsuz etkilerinin bilinmesi ve taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanlarının bu deformasyonlara karşı dayanımlı olmalarının yanında, mimari tasarımdan başlayarak yapının taşıyıcı sisteminin oluşturulmasında, yangın dayanımını arttıracak birçok ayrıntının göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada yangınlar sonucunda çelik yapılarda meydana gelen değişiklikleri tespit etmek için giriş ve kolonlarda meydana gelebilecek malzeme özellikleri değiştirilerek yapısal model modifiye edilerek çok katlı binaya ait bir moment aktaran çerçevesi seçilmiştir daha sonra yanal dayanımının belirlenmesi için doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizleri yapılmıştır.

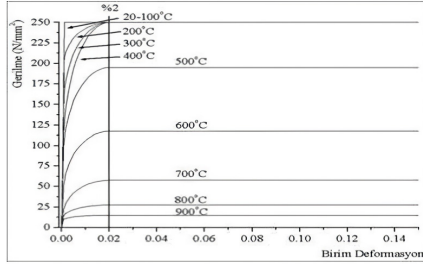
2.Kapsam

2.1. Çelik – Sıcaklık İlişkisi

2.1.1.Yüksek Sıcaklıkta Çeliğin Mekanik Özelliklerinin Tespiti

Akma sınırı, nihai dayanım, elastisite modülü ve termal genleşme katsayısı, çelik yapıların yüksek sıcaklıkta performansını belirleyen temel mekanik özellikleridir.

Bina yangınlarındaki koşullara uygunluğu ve öngörülen dayanımların güvenli tarafa olması nedeniyle, “değişken sıcaklık” testleri tercih edilmektedir. Değişken sıcaklık test bulgularına ve kiriş yangın testlerinden elde edilen yüksek birim deformasyonlara (%3) dayanarak, %2 birim deformasyon seviyesini, her sıcaklık düzeyinde akma sınırının belirlenmesinde kullanılması uygun olmaktadır[2]. Değişken sıcaklık testlerine bağlı olarak belirlenen çeliğin tipik gerilme-deformasyon-sıcaklık eğrileri Şekil 1’de gösterilmektedir [3].



Şekil 1 Yapısal çeliğin yüksek sıcaklıklardaki gerilme-birim deformasyon ilişkisi[3]

Çeliğin elastisite modülü ve akma gerilmesi ikisi sıcaklığın artmasıyla önemli bir biçimde azalan kapasite taşıma yükünü tanımlamak için çok önemlidir[4]. Yangından sonra direncini kurtarabilen yapı malzemesi yalnızca yapısal çelikler ve uygulanan yükte daha fazla destek olamayan yangın korumasız çeliğin sıcaklığı kritik sıcaklık (538°C) olarak adlandırılır. Bu sıcaklık mutlak bir değer olmayıp, kullanılan çeliğin özelliklerine ve uygulanan yük faktörüne bağlı olarak değişebilir.

2.1.2. Yangına Maruz Kalan Çelik Kolon, Kiriş, Döşeme ve Yapıların Davranışı

Çelik yapılar betonarme yapılara nazaran yangın açısından daha kritik durumdadır. Bunun nedeni çeliğin yüksek ısı iletkenliği ve çelik eleman boyutlarının ince olmasıdır. Çok iyi bir iletken olması nedeniyle yangın anında yüksek sıcaklığı kolaylıkla ve kısa zamanda diğer yapı elemanlarına iletceğinden, kritik sıcaklığa ulaşılan zamanı kısaltır.

Bu sebeple çelik elemanlar betonarmeye göre yangında daha kolay ısınır. Böylece çelik taşıyıcı sistemler büyük deformasyonlara maruz kalarak dayanımlarını yitirirler.

İsi iletim katsayısı yüksek olan çelikte kalıcı şekil değişimleri meydana gelir. Çok zayıf olan ve basınç altında bulunan yapı kısımları, yüksek sıcaklıklarda taşıma özelliğini kaybeder. Isınan çelik uzar, birleştiği

noktalarda değişiklikler meydana getirir ve bazen bütün yapıyı yıkabilecek güte kuvvet oluşturur. Sıcaklıktan dolayı meydana gelen bu hacim değişiklikleri, çelik kiriş ve çelik kolonların taşıma gücünü kaybetmesine ve çökmesine neden olabilir. Kolonlar ise, genellikle her taraftan ısı geçişine açık oldukları için, çökme olasılığı çok yüksek bir yapı elemanıdır.

Çelik bağlantılar, yapıların sabit kalması için özellikle kolonların yatay olarak desteklenmesi ve burkulma olmaması için önemli bir özelliğe sahiptir[5]. Bu nedenle yangından ille meydana gelen kuvvetlere karşı yetersiz bağlantı gerilimi veya yetersiz bir süneklik durumu, çelik yapının çökmesine yol açabilir. Yüksek sıcaklıklar burkulma yapmayan kolonun burkulmasına ve daha düşük taşıma gücü göstermesine neden olabilir. Kompozit döşemenin yangın altındaki yüksek olan çökme olasılığı ancak çelik bağlantıların dönme kapasitelerinin yükseltilmesi ve daha sünek şekilde tasarlanması ile olur[6]. Ayrıca yangına karşı bulonların dayanıklılığı diğer çelik malzemelere karşı değişiklik göstermektedir ve mekanik davranışları için tespit etmek daha da zorlaşır[7].

2.1.3.Çelik Yapıların Yangın Yükü

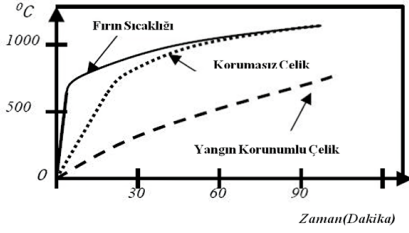
Bir yapının yangın yükü bir hacim içinde yer alan yanıcı maddelerin bir kilogramının yanması halinde açığa çıkan kilokalori cinsinden ısı değerinin o hacmin alanına bölünmesi ile bulunur. Başka bir deyişle, hacim içinde bulunan ve yanabilen maddelerin miktarlarını değiştirilmesi ya da hacmin yangın yükünün değişimine etki etmektedir. Çelik yapıların yangın yükü ise ahşabın yangın yükü ile Kg wood/ m² (1 Kg wood = 18 MJ) ifade edilebilir[8]. En çok karşılaşılan yangın yükleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Çelik yapıların yangın değerlendirilmesinde zaman 1/2, 1, 2, 3, 4 saat gibi birimlerle ifade edilir. Belirtilen zaman ne gerçek yangın süresi ne de konaklayanlar için kaçış süresini temsil eder. Yangın güvenliğine uyumlu olup olmadığı yapıların standartlarla karşılaştırılması yoluyla sağlanır. Temel olarak standartlar laboratuvar koşullarında yapısal çelik elemanların dayanıklılıklarını gösterir.

Tablo 1 Çelik Yapılarda yangın yükü [8]

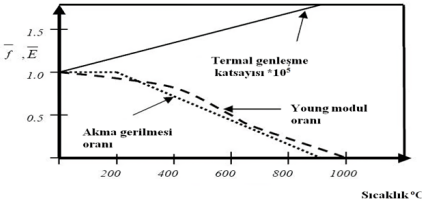
Çeşitli Yapılar için Yangın Yükü Örnekleri	
Çelik Yapı Tipi	Kg wood/ m ²
Okul	15
Hastane	20
Otel	25
Ofis	35
Mağaza Deposu	35
Tekstil ürünleri gösterilen mağazalar	>200

Şekil 2 laboratuvar ortamında ateşten korunan ve korunmayan çeliğin performansını göstermektedir. Korunmamış çeliğin ısınma düzeyi yangından korunmuş çelikte karşılaştırıldığında oldukça yüksektir.



Şekil 2 Yapısal çeliğin ısınma düzeyi [8]

Şekil 3’de gösterilen çeliğin yüksek sıcaklıktaki elastikliğin boyutsal olmayan varyasyonları, akma gerilmesi ve termal genişleme katsayısı (2.1), (2.2), (2.3) kullanılarak tasarım içinde yangın yükünün bulunmasında faydalıdır.



Şekil 3 Yükselen sıcaklıklarda çeliğin mekanik özellikleri [8]

20°C değeri ile T sıcaklığında Elastisite oranının modüler varyasyonları \bar{E} denklem 2.1’de verilmiştir.

$$0^{\circ}\text{C} < T < 600^{\circ}\text{C} \text{ için } \bar{E} = \frac{E(T)}{E(20^{\circ}\text{C})} = 1.0 + \frac{T}{2000 \ln \left(\frac{T}{1100} \right)}$$

$$600^{\circ}\text{C} < T < 1000^{\circ}\text{C} \text{ için } = \frac{690(1.0 - \frac{T}{1000})}{T - 53.5} \quad (2.1)$$

Çeliğin akma gerilmesi yaklaşık 215°C’ye kadar kararlı kalır. Daha sonra gücünü yavaş yavaş kaybeder. Akma gerilmesi oranı \bar{f} (20°C akma gerilmesi ile ilgili) sıcaklık T ile ilişkisi verilmiştir. [8]

$$\bar{f} = \frac{f_y(T)}{f_y(20)} = 1.0 \quad 0^{\circ}\text{C} < T < 215^{\circ}\text{C} \quad (2.2)$$

$$= \frac{905 - T}{690} \quad 215^{\circ}\text{C} < T < 905^{\circ}\text{C}$$

Temel bir biçimde sıcaklıkla termal genişleme katsayısı α denklem 2.3’te verildiği gibi ifade edilebilir. [9]

$$\alpha(T) = \left(12.0 + \frac{T}{100} \right) \times 10^{-6} \quad (^{\circ}\text{C})^{-1} \quad (2.3)$$

Yukandaki denklem ateşe maruz kalan çelik yapıların analizi ile ilgili olduğu için oldukça faydalıdır. Yangına maruz kalan çelik yapılar için laboratuvar uygulama

kodları dayanıklılık eğrileri genellikle yüksek sıcaklıklarda olan yapısal çelik için sağlanmıştır. Bu eğrilerde dayanıklılıkla gerilme en önemli parametrelerden biri olarak değerlendirilir. Örneğin BS:5950 bölüm 8[10]’a göre yüksek sıcaklıklarda çeliğin dayanımını koruması için kesitin tüm kısmı için gerilme %1.5 kabul edilmesine karşın Eurocode 3 bölüm 10[11]’da gerilme % 2 dir. %0.5 daha düşük gerilme ince yangın koruma malzemeleriyle kolon ya da bileşenleri için kullanılabilir.

2.2. Yangına Dayanıklı Çelik

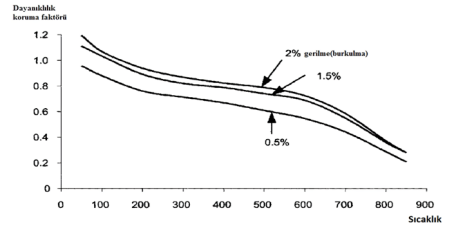
Çelik yapıların yangın güvenliğinde çelik kesit tipini açıklamak için “Yangına dayanıklı çelikler (FRS)” ismi kullanılır[12]. Temelde termo-mekanik bir biçimde işlenen çelik sıradan yapısal çeliklerden yapısal bir biçimde yangında çok daha iyi performans sağlar. Sıradan yapısal çeliğin mikro yapısı ferrit-pearlit (çeliğin fazları)’e sahiptir ama Molybdenum (M_o) ve Chromium (C_r) yapıya sahip çelik 600°C bile dayanımını korur. Yangına dayanıklı çeliğin birleşimi Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2 Yangına dayanıklı çeliğin kimyasal birleşimi[12]

	C	Mn	Si	S	P	Mo+Cr
FRS	≤0.20%	≤1.50%	≤0.50%	≤0.040%	≤0.040%	≤1.00%
Sıradan Çelik	≤0.23%	≤1.50%	≤0.40%	≤0.050%	≤0.050%	-

Yangına dayanıklı çelikler yaklaşık 600°C sıcaklığa ulaştığında oda sıcaklığında akma gerilmesi gücünün $\frac{2}{3}$ ünü gösterir. Buna göre çelik yangına karşı doğal koruyucudur. Yangına dayanıklı çelikler ön-ısıtma olmadan kaynak yapılabilir ve ticari olarak kirşler, bağlantılar ve dirsekler için uygundur.

Yangına dayanıklı çelik için en iyi yollardan biri de FRS çelik paslanmaz çeliktir. Şekil 4’de gösterildiği gibi paslanmaz çelik yaklaşık 800°C gibi çok yüksek sıcaklıkta dayanıklılığının yaklaşık %40’ını korur. Paslanmaz çeliğin çok yüksek yansıtıcı yüzeyi vardır. Paslanmaz çeliğin yüzey salınımı düşüktür[12].



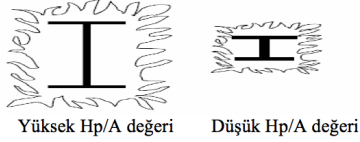
Şekil 4 Paslanmaz çeliğin koruma faktörü[12]

Yüksek dayanım ve düşük sıcaklık kombinasyonu yangın koruma olmadan paslanmaz çeliğin kullanımını sağlar.

2.3.Çelik Yapıların Yangın Güvenliğinde Hp/A Faktörü

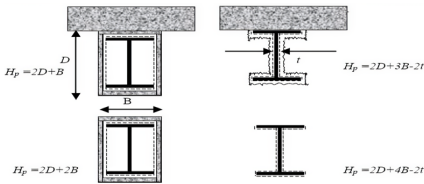
Çelik yapıların yangın sırasındaki temel sorunu binada bulunanların güvenli bir biçimde çıkması için yeterli zamanın olmaması ve erken çökmesidir[7]. İlk olarak yapı malzemesi normal sıcaklık altında tasarlanmış olabilir sonrasında yangına karşı gerekli malzemelerle izole edilebilir. Çelik yapılarda yangın izolasyonunun kalınlığının hesaplanmasında ‘Kesit Faktörü’ (Hp/A) yöntemi kullanılmaktadır. Çelik eleman kesitinde yangının etkiyebileceği yüzeyin uzunluğunun (Hp) kesit alanına (A) oranı, o profilin kesit faktörünü belirlemektedir. Bu oran büyüdükçe eleman içinde sıcak profili hızlı bir artış göstermekte ve mukavemet kaybı daha kısa sürede oluşmaktadır[13].

Şekil 5’de görüldüğü gibi düşük bir (Hp/A) değerli kesit yüksek bir (Hp/A) değerli kesitten normal bir biçimde daha düşük düzeyde ısınır ve bundan dolayı daha yüksek yangın dayanımı sağlar.



Şekil 5 Kesit faktör kesiti[13]

Düşük Hp/A sahip çelik elemanlara daha az izolasyon gerekir. Örneğin yapısal kesitte daha kalın olan çelik eleman düşük bir Hp/A değerine sahip olur ve bundan dolayı daha düşük ısına düzeylerine sahip olurlar. Kesit faktöründe çeliği yangından korumak için kullanılan koruma miktarının doğrusu bilinmek istenebilir. Yangından korunmuş kesitlerin tipik Hp değerleri Şekil 6’da sunulmuştur[13].



Şekil 6 Yangından korunmuş çelik kesitlerin Hp birkaç tip değeri[13]

Gerekli olan yangın yalıtım malzemesi kalınlığı, koruma biçimi kararlaştırıldıktan sonra, öngörülen

koruma süresini ve kesit faktörlerini kullanarak üretici firmanın temin ettiği kalınlık tablolarından elde edilebilir (Tablo 3).

Tablo 3 Yangın dayanımının sağlanabilmesi için ‘Hp/A’ oranına göre gerekli yalıtım kalınlığı[13].

Hp/A	Yangın dayanımı için gerekli koruma kalınlığı (mm)					
	1/2 saat	1 saat	1 1/2 saat	2 saat	3 saat	4 saat
150	10	12	23	33	54	75
170	10	13	24	35	57	79
190	10	13	25	37	60	83
210	10	14	26	38	62	86

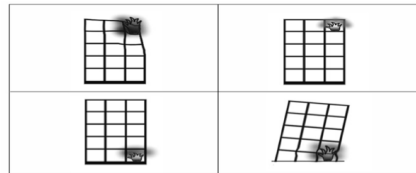
Hp/A için yük oranını tanımlarsak

$$\text{Yük Oranı} = \frac{\text{Yangın sınır koşulunda uygulanan yük}}{\text{Normal koşullar altında başarısız üyelerin neden olduğu yük}}$$

Eğer yük oranı 1’den az olursa hiçbir yangın koruması gerekmez. Kirişlerde uygulanan başka bir yol ise istenen yangın direnme zamanındaki moment kapasitesinin meydana gelen momentle karşılaştırılmasıdır. Moment kapasitesi yangına direnme momentinin altında ise yangın koruma zaruri değildir.

2.4.Çelik Yangın Koruma Konseptleri

Yangın esnasında yapıım elemanlarının performansını karakterize etmek için kullanılır. Özel koşullar altında işlevini devam ettiren bir parçanın zaman olarak ifade edilmesidir. Bu işlevler yangın yayılmasını sınırlama, diğer malzemelere destek olma dayanıklılık, göçmeme kabiliyeti vb. dir. Bütün malzemeler göçmesine etkili bir biçimde neden olan yanma sonucunda oluşan yük onların destekleme kabiliyetlerini kaybetmelerine neden olur. Yapının bütün davranışını kontrol eden komponentlerin nasıl değerlendirildiğine bağlı olarak bir göçmenin sonuçları çok değişkendir. Yüksek blokların ayaklarındaki kolonların başarısızlığı bütün blok olarak göçmesine neden olabilir. Bir yapıdaki tek kiriş çerçeve başarısızlığı yalnızca minimal yerel zarara neden olabilir. Yangın yükleri yapısal elementlere ve öteki komponentlere transfer edildiğinden direkt bir biçimde yangın tarafından etkilenmez. Şekil 7’ye göre yukarı kat ve göçmenin sonuçları büyük değildir ve zemin katta çok daha kritik yangın sonuçları meydana gelir[13].



Şekil 7 Farklı katlar ve sonuçlarda yangın[13]

3.Yöntem

3.1.Doğrusal Olmayan Statik Öteleme (Push-Over) Analizi

Son dönemde yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirilmesi amacıyla doğrusal olmayan statik öteleme analiz yöntemlerinin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Doğrusal olmayan statik öteleme analiz yöntemlerinin temeli, yapının yatay kuvvet taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu kapasite eğrisinden yapının elastik olmayan maksimum deplasmanının (deplasman talebinin) hesaplanmasını ve bu deplasman değerine kadar statik olarak itilmiş yapının performansının belirlenmesini içermektedir[14]. Yapıların performansının değerlendirilmesinde doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinden yaygın olarak kullanılanları Deplasman Katsayıları Yöntemi (DKY) ve Kapasite Spektrum Yöntemi'dir (KSY).

Deplasman Katsayısı Yöntemi: Bu yöntemde belirli yatay kuvvet için yapıya yüklenen deplasman talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır.

Ancak, deplasman talebi grafiksel olarak değil direkt olarak sayısal bir yöntemle hesaplanmaktadır. Buna göre, deplasman talebi yapı sisteminin özelliklerine bağlı olarak belirlenen ve yapının periyodunu, histeristik davranışını, ikinci mertbe etkilerini temsil eden katsayılar (C_0, C_1, C_2, C_3) kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yöntem yapının kapasite eğrisinin belirlenmesi, maksimum deplasmanın (hedef deplasmanı) hesaplanması ve performans seviyesinin belirlenmesi aşamalarından oluşmaktadır[15].

Kapasite Spektrumu Yöntemi: Kapasite spektrum yöntemi, yapının genel kuvvet deplasman spektrum eğrisi ile talep spektrum eğrisinin indirgenmesi ile elde edilen indirgenmiş tasarım spektrumu eğrisinin grafiksel olarak arada görülmesini sağlamaktadır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen elastik olmayan deformasyonlara bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenmektedir. Performans noktası adı verilen bu noktada yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmektedir.

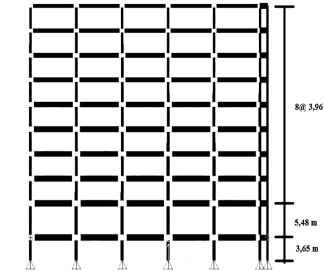
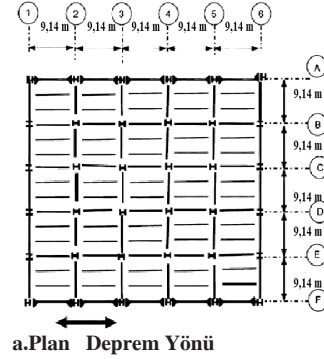
Doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizinin yapılma amacı ana hatlarıyla aşağıdaki gibi özetlenebilir[14]:

- Yapı sisteminin artan yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışının ve göçme şeklinin belirlenmesi,

- oluşan plastik kesitlerin türleri ve yapı içindeki dağılımının belirlenmesi (hasar dağılımının belirlenmesi),
- toplam ve göreceli yer değiştirmelerin belirlenmesi,
- yapı sisteminin süneklik düzeyi hakkında bilgi edinmek,
- plastik kesitlerdeki şekil değiştirmeleri belirlemek.

3.2. 9-Katlı Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Çerçeve

Bu çalışmada kullanılan moment aktaran çerçevesi, 9 katlı süneklik düzeyi yüksek çelik moment aktaran çerçevesidir. 9 katlı çerçevelerin plan ve kesitleri Şekil 8'de verilmiştir. Kolon ek yerleri her iki katta bir düzenlenmiştir.



b. A aksı üzerindeki moment çerçeve

Şekil 8 9 katlı çerçevenin plan ve düşey kesiti

Bina, düşey yüklere ve deprem yüklerine göre tasarlanmıştır. Bu dizaynda katlar için 4.59 kN/m² ölü yük ve 2.39 kN/m² hareketli yük, çatılar için 3.97 kN/m² ölü yük ve 0.95 kN/m² hareketli yük alınmıştır. Binanın taşıyıcı sistemi bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek moment çerçeveleri, diğer doğrultuda dışmerkez çaprazlı çerçevelerden ve düşey yük taşıyan iç çerçevelerden oluşmaktadır.

Binanın bodrum katındaki duvarları yapının yatay yer değiştirmesini engellediği kabul edilmiştir. Binalar Los Angeles'ın merkezinde S_8 değerinin %200g ve S_1 değerinin %100g olduğu bölge için tasarlanmıştır. Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevesi için taşıyıcı sistem davranışı $R=8$ alınmıştır.

Taban kesme kuvveti 8656.24 kN bulunmuştur. Kiriş ve kolon elemanların boyutları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4 9-katlı çerçeve elemanlarının boyutları

Kat	Dış Kolon	İç Kolon	Kiriş
9	W14X257	W14X311	W24X55
8	W14X257	W14X311	W27X94
7	W14X311	W14X426	W30X132
6	W14X311	W14X426	W30X132
5	W14X3 98	W14X500	W33X141
4	W14X3 98	W14X500	W33X141
3	W14X455	W14X550	W33X141
2	W14X455	W14X550	W33X141
1	W14X550	W14X730	W36X194
Bodrum	W14X550	W14X730	W36X194

Bütün kolonların ve kirişlerin akma gerilmesi en küçük akma dayanımı olan 34.4738 (Fe52)kN/Mm² olarak alınmıştır. Binada kat döşemeleri diyafram hareketini sağlamaktadır. Bu nedenle, binadaki her bir katın atalet (eylemsizlik) momenti binanın iki ucundaki çerçeve tarafından taşınmakta ve her bir çerçeveye gelen toplam kütle, binanın sismik kütesinin yarısı olarak alınmıştır.

Kiriş derinlikleri W36 ile sınırlandırılmıştır. Tasarım adımları dayanım, göreceli kat öteleme kontrolü ve güçlü kolon – zayıf kat kontrolünden oluşmaktadır.

3.3. Modellemenin Özellikleri

Moment çerçevelerin iki boyutlu modelleri SAP2000'de yapılmıştır. Elastik ötesi davranış, elemanların iki ucunda tanımlanan plastik mafsallarla ifade edilmiştir.

Pekleşme etkisi %5 olarak alınmıştır. P-M (eksenel kuvvet-eğilme momenti) etkileşim ilişkisi, AISC Şartnamesinde (2005) önerildiği gibi, kolon elemanlarının eğrilik yüzeyleri olarak kullanılmıştır. Analizlerde panel bölgesi deformasyonu ihmal edilmiştir. Sönüm oranı % 5 olarak alınmıştır ve doğrusal olmayan dinamik zaman geçmesi analizlerinde 2.ve 4. doğal frekanslarına ait rijitlik ve kütle orantılı Rayleigh sönümü kullanılmıştır.

Çerçevelerde 4.57 m genişliğindeki yük alanındaki ölü yükün % 90'ı her kattaki moment aktaran çerçevesinin kolonlarının tepesine yerleştirilmiştir. P-Δ etkisi ("P" yatay yükü etkisinde oluşan "Δ" yatay tepe deformasyonu) değerleri dikkate alınmıştır ve seçilen kolon ve kiriş elemanları kompakt kesitlere sahip olduklarından, yerel burulma etkisi ihmal edilmiştir[16].

3.4.Sıcaklık Etkisi

Yapıdaki taşıyıcı sistemin eğilmelere bükülmelere ve sonuçta da çökmeye neden olacak bir sıcaklığa kadar ısıtılmasına izin verilmez. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik[17] hükümlerine göre, çelik kolon ve kirişlerin yangın durumunda özelliklerini kaybetmemesi için yangına karşı yalıtılması gerekmektedir. Yönetmelikte, çevreye yangın yayma tehlikesi olmayan ve yangın sırasında içindeki yanıcı maddeler yüzünden yapının çelik elemanlarında 540°C'nin üzerinde bir sıcaklık artışına sebep olmayacak bütün çelik yapılar yangına karşı dayanıklı kabul edilmektedir. Bu sıcaklık mutlak olmayıp, kullanılan çeliğin özelliklerine ve uygulanan yük faktörüne bağlı olarak değişebilir. Yangından korunma sisteminin, hem mimar hem de inşaat mühendisi tarafından ön tasarım aşamalarında dikkatli bir şekilde göz önüne alınması gerekir.

Isı iletim katsayısı yüksek olan çelik, ısınma durumunda gerilim sınırını çok kolay aşabilir. Gerilim sınırı aşıldığında gerilme esnekliği kaybolur ve kalıcı şekil değişimleri meydana gelir. Çok zayıf olan ve basınç altında bulunan yapı kısımları, yüksek sıcaklıklarda taşıma özelliğini kaybeder. Isınan çelik uzar, birleştiği noktalarda değişiklikler meydana getirir ve bazen bütün konstrüksiyonu yıkabilecek güçte kuvvet oluşturur. Sıcaklıktan dolayı meydana gelen bu hacim değişiklikleri, çelik kiriş ve çelik kolonların taşıma gücünü kaybetmesine ve çökmesine neden olabilir. Kolonlar ise, genellikle her taraftan ısı geçişine açık oldukları için, çökme olasılığı çok yüksek bir yapı elemanıdır. Çok yük taşıyan kolonlardan sadece birinin kırılması bile bütün binanın çökmesi demektir. Bu yüzden yangına karşı çok dayanıklı olmalıdır.

Çeliğin uzama katsayısı, ahşabın yaklaşık üç katıdır. Örneğin, başlangıçta uzunluğu 5 m. olan 20°C sıcaklıktaki çelik taşıyıcı, yangın sebebiyle 640°C sıcaklığa ısındığında boyu yaklaşık 5 cm. artar. Toplam uzunluk arttıkça taşıyıcıların dayandığı veya uzamadan dolayı ittiği duvarlara büyük güçler uygulanır.

Bu nedenle bu tür yapılar, özellikle yangınlardan dolayı yükselen sıcaklıklar nedeniyle meydana gelen uzamalardan korumak için ulaşılabilecek sıcaklık hesaplanmalı ve gerekiyorsa yangına karşı yalıtılmalıdır.

Çeliğin çekme mukavemeti başlangıçta 150-300°C değerlerinde biraz arttıktan sonra, daha yüksek sıcaklıklarda hızla azalır ve yangınlarda kolayca erişilen 600°C sıcaklığında emniyet gerilmesinin altına düşer. Yüksek sıcaklıklarda bağ kuvvetlerinin azalması, çeliğin elastisite modülünün azalmasına neden olur. Elastisite modülünün değeri 20°C' dekinde kıyasla, 400°C'de % 15 ve 600°C'de ise % 40 kadar azalır. Çevre sıcaklığına göre mukavemeti ise, sıcaklığı 700°C olduğunda % 23'e, 800°C'de % 11'e, 900°C'de % 6'ya düşer ve yaklaşık 1500°C sıcaklıkta erir. Uzamalar ısıl gerilmelerin oluşmasına ve normal olarak yüksek sıcaklıklarda burkulma yapmayan kolonun burkulmasına ve daha düşük taşıma gücü göstermesine neden olabilir[18].

Çelik iskeletli yapıların yangın bakımından özel önemi vardır. Bunlarda, yanmazlıktan çok ısıl şekil değiştirmelerin oluşumu göz önüne alınır. Birçok standart, çelik yapıları özel bir sınıf olarak ele almıştır. Çelik yapıların tasarımına ilişkin bilgi veren Eurocode 3 (EN 1993) standartlarının ikinci bölümü, çelik taşıyıcıların yalıtımına ayrılmıştır ve çeşitli hesap yöntemleri verilmiştir.

Alanı 5000 m²'den az olan tek katlı yapılar hariç olmak üzere, diğer çelik yapılarda, çeliğin sıcakta uygun şekilde yalıtılması gerektiği belirtilmektedir. Binanın, kullanım şekline ve yüksekliğine bağlı olarak binanın belli bir süre çokmeden korunması gerekir. Yönetmelikte EK 3/C'ye göre yapıda yağmurlama olup olmamasına, kullanım şekline ve yapı yüksekliğine bağlı olarak yangına dayanım (direnc) süreleri verilmiştir. Yangın dayanım süresi, bir yapı bölümünün belirli bir yangın yükü altında, kendisinden beklenen görevleri yerine getirmeye devam ettiği zaman süresidir. Burada sözü edilen görevler; yüke dayanım, hacim örtme ve ısıl difüzyonu sınırlama fonksiyonlarıdır. Hacim örten yapı elemanlarında, ateşe bakmayan arka yüzlerde sıcaklık artmasının 140°C'yi aşmaması ve buralarda kendiliğinden yanabilir gazlar oluşmaması istenir. Eğilmeye çalışan elemanlarda ise sehimlerin artma hızının belirli sınırları aşmaması gerekir.

Çıplak çeliğin de belli bir derece yangına direnci olduğu unutulmamalıdır. Çelik 550°C'de oda sıcaklığındaki akma gerilmesinin %50'sine yaklaşır.

Yangın şartlarına, yüklenmeye, bağlantılara, uç baskılara, alanın geometrisine ve benzerine bağlı olarak çıplak çelik o alan için güvenilir olarak varsayılmış tasarım yangınlarına uygun direnc gösterdiği görülmüştür.

Yapılarda çıplak çeliğin kullanıldığı yaygın uygulamalar içinde az katlı binalar, açık otoparklar ve dış yapı elemanları yer alır. Çelik profillerin ısınma problemindeki en önemli faktörlerden biri de "F/V profil faktörü" adı verilen, aleve maruz kalacak alanın ısınacak kütleyle oranıdır. F/V oranı ile yangına dayanım süresi ters orantılı olarak değişir ve F/V oranı küçüldükçe yangına dayanım süresi artar.

Yangın direnci olan inşaat çeliği alaşımları, 600°C'de oda sıcaklığındaki akma gerilmesinin 2/3'ünü tutacak şekilde geliştirilmektedir. Bu çeliğe akma gerilmesi üzerine etki yapan molibden gibi elementlerin katılmasıyla sağlanır[19]. Bu malzemeyi kullanarak inşa edilmiş birkaç yapı mevcuttur. İlave yangına karşı dayanıklılık derecesi yangına dayanıklı çeliğe, klasik yangına direnci kaplamaların uygulanmasıyla elde edilebilir.

Yenilik yaratıcı araştırmalar ve gelişmiş üretim uygulamalarıyla yeni çelik formülleri geliştirilmektedir. Bu yeni çelikler halen Japonya ve diğer Asya ülkelerinde sınırlı kullanım yerleri bulunmuştur. Yangına dayanıklı çelikler olarak atıf yapılan bu malzemeler endüstri içinde yer bulmaktadır. Yangına dayanıklı çeliklerin araştırmacıları, bu malzemelerin yüksek sıcaklık seviyelerindeki özelliklerinin daha geleneksel çelik formülleriyle karşılaştırıldıklarında daha az mukavemet kaybı gösterdiklerini, ancak yangına dayanıklı çeliklerin pasif koruma önlemlerinin yerini alamayacağını belirtmektedirler. Buna karşılık bu teknolojinin, yapı çokmeden önce ilave zaman kazandıracağı ve yapıyı koruyucu malzemelerin iflas etmesinden sonra bile yapının daha uzun süre ayakta kalmasını sağlayacağı kesindir. Yangına dayanıklı çelik kullanımının örnekleri Japonya, Çin ve Almanya'da mevcuttur. Sınırlı sayıda uygulamalar arasında otopark, spor salonu, demiryolu istasyonu ve ofis binaları sayılabilir[18].

Çelik için genel bir ilişki Şekil 9' da gösterilmiştir. Sıcaklık yaklaşık 93 °C' ye ulaştığında akma gerilme ve kopma gerilme eğrileri doğrusal olmayan eğri çizmeye başlar. Elastisite modülü, akma gerilmesi, kopma gerilmesi sıcaklığın artması ile beraber azalır. 426°C - 538°C arası azalma düzeyinin an fazla olduğu sıcaklıklardır. Farklı mikro yapı ve kimyasal yapılarından dolayı her çeliğin davranışı birbirinden farklıdır.

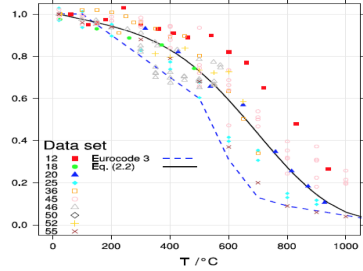
Çelik göreceli bir biçimde yüksek karbon yüzdesine sahiptir. 150 °C ile 370 °C düzeylerinde akma gerilmesi örneğin Fe37 gibi bir çelikte ortaya çıkabilir. Sıcaklık 204 °C'ye ulaştığında akma gerilmesi ve kopma gerilmesindeki azalmada süreklilik gösterir. Sıcaklık 1093°C'ye ulaştığında akma ve kopma gerilmesi en düşük seviyesine ulaşır. Elastisite modülünün azalması sıcaklığın artması ile doğrusal bir biçimde azalır. 538 °C den itibaren daha hızlı bir biçimde azalma meydana gelir. Daha da önemlisi 260°C ile 320°C yukarıdaki sıcaklıklarda çelikte ortaya çıkan sünnme olarak bilinen plastik deformasyon zamanla artar.

Çoğu çelik yaklaşık 538 °C aşağısındaki uygulamalarda kullanılır. Isıya maruz kalan çelik 426 °C aşağısında tutulmalıdır. Bu uygulamada 93°C, 204°C, 325°C, 426 °C ve 538°C de çeliğin davranışı doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analiz yöntemi ile incelenmiştir.

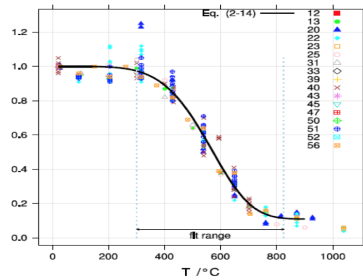
Tablo 5 Çelik sıcaklık tablosu

Çelik Sıcaklık	200 F	400 F	600 F	800 F	1000 F	1200 F	1400 F	1600 F	1800 F	2000 F
	93°C	204°C	325°C	426°C	538°C	649°C	760°C	871°C	982°C	1093 °C
Akma gerilmesi	0.95	0.90	0.89	0.84	0.69	0.35	0.19	0.11	0.05	0.05
Kopma gerilmesi	0.96	0.99	0.95	0.82	0.57	0.26	0.17	0.09	0.04	0.03
Elastisite Modülü	0.99	0.96	0.90	0.80	0.70	0.49	0.24	0.05	0.03	0.025

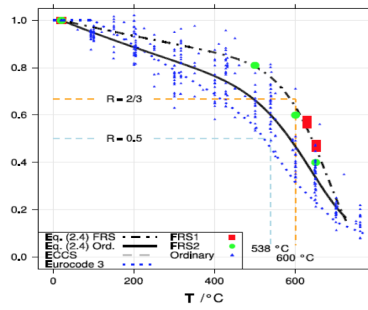
Yukarıdaki grafikten akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve elastisite modüllerini tablo haline getirirsek aşağıdaki gibi elde edilir [Tablo 5]



a) Akma gerilmesine sıcaklığın etkisi



b) Kopma gerilmesine sıcaklığın etkisi



c) Elastisite modülün sıcaklığa etkisi

Şekil 9 Yapısal çeliklerin akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve elastisite modülleri eğri özelliklerinin yüksek sıcaklıklardaki değişimi[19]

Yukarıdaki tablonun yardımıyla çelik için SAP2000 programında kullanılan akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve elastisite modülleri 93 °C, 204 °C, 325 °C, 426 °C ve 538 °C sıcaklıklardaki değerleri aşağıdaki gibidir[Tablo 6]. Bu tablodan elde edilen değerler grafik olarak Şekil 10'da sunulmuştur. Bu grafikler Şekil 9'daki grafiklerle uyumludur. Tablo 6'daki değerlere uygun olarak yapısal model modifiye edilerek doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizleri gerçekleştirilmiştir.

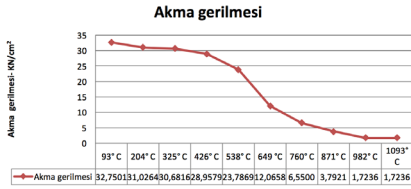
Tablo 6 Çelik malzeme özelliklerindeki değişim

Çelik Sıcaklık	200 F	400 F	600 F	800 F	1000 F
	93° C	204° C	325° C	426° C	538° C
Akma gerilmesi	32.7501 kN/mm ²	31.0264 kN/mm ²	30.6816 kN/mm ²	28.9579 kN/mm ²	23.7869 kN/mm ²
Kopma gerilmesi	43.0233 kN/mm ²	44.3677 kN/mm ²	42.5751 kN/mm ²	36.7490 kN/mm ²	25.5450 kN/mm ²
Elastisite Modülü	19794.85 kN/mm ²	19195.0 kN/mm ²	17995.31 kN/mm ²	15995.83 kN/mm ²	13996.35 kN/mm ²

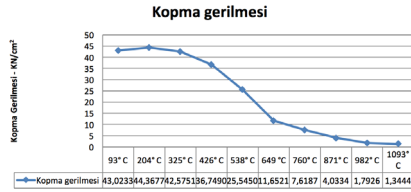
Çelik Sıcaklık	1200 F	1400 F	1600 F	1800 F	2000 F
	649° C	760° C	871° C	982° C	1093° C
Akma gerilmesi	12.0658 kN/mm ²	6.5500 kN/mm ²	3.7921 kN/mm ²	1.7236 kN/mm ²	1.7236 kN/mm ²
Kopma gerilmesi	11.6521 kN/mm ²	7.6187 kN/mm ²	4.0334 kN/mm ²	1.7926 kN/mm ²	1.3444 kN/mm ²
Elastisite Modülü	9797.45 kN/mm ²	4798.75 kN/mm ²	999.73 kN/mm ²	599.84 kN/mm ²	499.86 kN/mm ²

	0 F / 0 °C
Akma gerilmesi	34.4738 kN/mm ²
Kopma gerilmesi	44.8159 kN/mm ²
Elastisite Modülü	19994.79 kN/mm ²

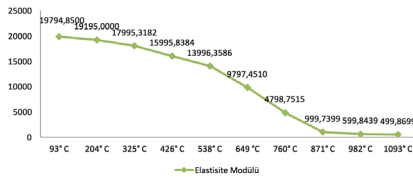
Başlangıç değerleri



a) Akma gerilmesi



b) Kopma gerilmesi



c) Elastisite Modülü - kN/mm²

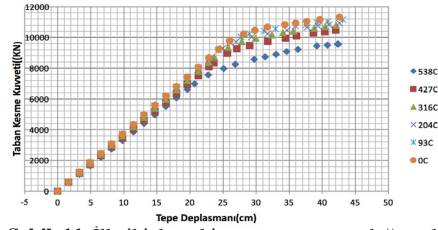
Şekil 10 Akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve elastisite modüllerinin grafiksel gösterimi

9 katlı çerçevenin yangına maruz kalması durumunda dayanımı ve rijitliğindeki değişiklikleri incelemek için değişik senaryolar planlanmıştır. Bu amaçla üretilen senaryolar aşağıdaki gibidir.

4. Bulgular

4.1. Senaryo 1:

Yangının ilk iki katta çıktığı kabul edilmiştir. Şekil 10'da kullanılan grafikler doğrultusunda ilk iki kattaki çelik malzemenin akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve elastisite modülleri değiştirilerek yapıda doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizleri yapılmıştır (Şekil 11). Bu grafikten elde edilen dayanım ve rijitlik değerleri aşağıdaki tabloda çıkmıştır (Tablo 7).



Şekil 11 İlk iki kattaki yangın sonucu doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizi

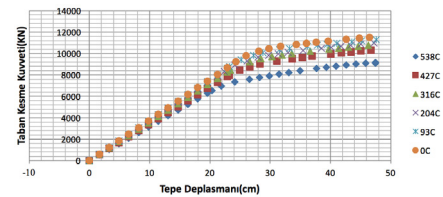
Tablo 7 İlk iki kattaki yangın sonucu dayanım rijitlik değişimi

3 KAT	0° C	Değişim	93 °C	Değişim	204° C	Değişim	316° C	Değişim	427° C	Değişim	538° C
Dayanım (Vy)	13000 kN	-%7	12200 kN	-%5	11700 kN	-%1	11666,66 kN	-%6	11000 kN	-%12	9402,48 kN
Başlangıç Rijitliği (Ke)	389,38 kN/mm	-%8	360,57 kN/mm	-%4	348,62 kN/mm	-%1	346,49 kN/mm	-%4	335,66 kN/mm	-%4	309,23 kN/mm
Akma Sonrası Rijitliği (Ks)	60 kN/mm	-%1	59,42 kN/mm	-%1	59,63 kN/mm	-%3	57,91 kN/mm	-%2	57,32 kN/mm	-%3	55,97 kN/mm

Dayanım (Vy), başlangıç (elastik) rijitliği (Ke), akma sonrası (elastoplastik) rijitliği (Ks) sıcaklığın artmasıyla sürekli düşmektedir. Değişimler incelendiğinde dayanım (Vy)'daki değişim 427°C ile 538°C arasında oldukça artmaktadır. Genel olarak başlangıç rijitliği (Ke)'deki azalmanın çok daha fazla olmasına karşın, akma sonrası rijitliğinde (Ks) değişimin daha az olduğu görülmektedir.

4.2. Senaryo 2:

Yangının ilk üç katta çıktığı kabul edilmiştir. İlk üç katta meydana gelen yangındaki doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizi sonucu ortaya çıkan grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 12).



Şekil 12 İlk üç katta çıkan yangın sonucu doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizi

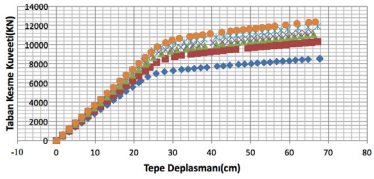
Tablo 8 İlk üç katta çıkan yangın sonucu dayanım rijitlik değişimi

3 KAT	0° C	Değişim	93 °C	Değişim	204° C	Değişim	316° C	Değişim	427° C	Değişim	538° C
Dayanım (Vy)	13000 kN	-%7	12200 kN	-%5	11700 kN	-%1	11666,66 kN	-%6	11000 kN	-%12	9402,48 kN
Başlangıç Rijitliği (Ke)	389,38 kN/mm	-%8	360,57 kN/mm	-%4	348,62 kN/mm	-%1	346,49 kN/mm	-%4	335,66 kN/mm	-%4	309,23 kN/mm
Akma Sonrası Rijitliği (Ks)	60 kN/mm	-%1	59,42 kN/mm	-%1	59,63 kN/mm	-%3	57,91 kN/mm	-%2	57,32 kN/mm	-%3	55,97 kN/mm

Şekil 12'den elde edilen Tablo 8'deki dayanım (V_y), başlangıç (elastik) rijitliği (K_e), akma sonrası (elastoplastik) rijitliği (K_s) ilk iki katta çıkan yangın sonucu ortaya çıkan tablodaki gösterilen değerlere göre bir miktar daha fazla azalma ile sonuçlanmıştır. Bunun en önemli nedeni yangının ilk 2 kattan daha yukarı doğru sıçrayarak 3. kati da etkisi altına alması sebebiyledir. Bu da yapının dayanım ve rijitliğini önemli bir miktarda etkilemeye başlamıştır. Değişimler incelendiğinde bu durum açıkça görülmektedir.

4.3. Senaryo 3:

Yangının ilk altı katta çıktığı kabul edilmiştir. Yangının iyice şiddetlendiği ve ilk altı kata kadar yükselmesi ile elde edilen doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizi sonucu aşağıdadır (Şekil 13).

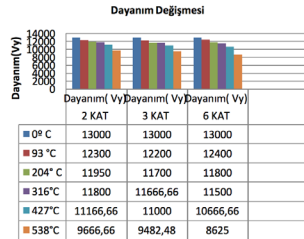


Şekil 13 İlk altı katta çıkan yangın sonucu doğrusal olmayan statik öteleme (push-over) analizi İlk 6 kattaki doğrusal olmayan statik öteleme analizi (push-over) sonucu oluşan sonuçlar aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9 ilk altı katta çıkan yangın sonucu dayanım rijitlik değişimi

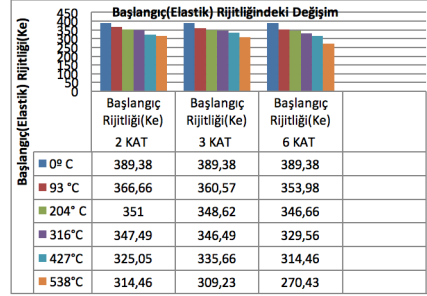
4 KAT	0°C	Değişim	93°C	Değişim	204°C	Değişim	316°C	Değişim	427°C	Değişim	538°C
Dayanım V_y	13000	-5,5	12400	-4,4	11800	-3,3	11500	-2,8	10666,66	-2,20	8625
Rijitlik K_e	13000	-5,5	12400	-4,4	11800	-3,3	11500	-2,8	10666,66	-2,20	8625
Rijitlik K_s	589,38	-5,0	33,98	-5,3	340,66	-5,5	329,56	-5,5	314,46	-5,15	270,43
Akma Sonrası Rijitlik K_s	66	-5,5	57,4	-5,2	53,36	-5,2	52,67	-5,1	52,19	-5,26	39,14

İlk 6 katta çıkan yangın sonucu oluşan dayanım (V_y), düşüşü bilhassa 427 °C ile 538 °C arasındaki değişim oranına bakıldığında oldukça yüksektir. Aynı şekilde başlangıç (elastik) rijitliği (K_e) ve akma sonrası (elastoplastik) rijitliği (K_s)'nde önemli bir azalma dikkati çekmektedir.



Şekil 14 2-, 3-, 6 katta çıkan binada değişik sıcaklıklarda pekleşme sonunda ulaşılan nihai yapının dayanımını - kN

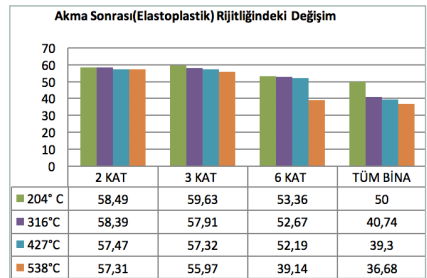
Şekil 14'de 0°C, 93°C, 204°C, 316°C' de pekleşme sonunda ulaşılan nihai yapının dayanımdaki azalma 427°C ve 538°C' de meydana gelen dayanım azalmasından daha azdır. Tüm binadaki dayanım azalması diğer katlarda meydana gelen yangınlara oranla önemli bir miktarda fazladır. Bunun nedeni yapının artık kritik bir sıcaklığa ulaşmasıdır. Bina da yeterli yangından korunma önlemlerinin olması gerekir.



Şekil 15 2-, 3-, 6 katta çıkan binada değişik sıcaklıklarda yapının başlangıç (elastik) rijitliği - kN/mm

Şekil 15'de başlangıç (elastik) rijitliğinin karşılaştırmalı olarak analiz sonucu gösterilmiştir. Yatay yükten kaynaklanan deformasyon rijitlik ölçüsü olarak tanımlanır. Aynı yanal yük etkisindeki elemanlardan, az deformasyon yapan bir elemanın değerine göre daha rijit olduğu belirtilebilir. Görüldüğü gibi yapıdaki sıcaklık yapıda elastik rijitliği azaltmaktadır.

Yangına dayanıklı çelik bir yapı yeterli başlangıç rijitliğine sahip olmalıdır. Bu kavram öteleme ve eğilme rijitliği olarak da düşünülebilir[20].



Şekil 16 2-, 3-, 6 katta çıkan binada değişik sıcaklıklarda akma sonrası (elastoplastik) rijitliği - kN/mm

Büyük yangınların hemen hepsinde zayıf kolonların çökmesi sonucu üst üste yığılan katlar gözlenmiştir. Akma sonrası (Elastoplastik) rijitlik yukarıda görüldüğü gibi sıcaklığın etkisi ile azalmaya devam etmektedir (Şekil 16).

Bu sebeple yapıların ve taşıyıcı sistem elemanlarının işlevlerini yerine getirebilmeleri için, işletmede kaldıkları sürede yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmaları ve aynı zamanda, bu süre zarfında tasarım yükünün üstüne çıkabilecek durumları örneğin yangın gibi aşırı yük için de güvenliklerinin bulunması gerekir. Taşıyıcı eleman boyutlarında kabul edilebilir sınırların dışında oluşabilecek değişiklikler ve malzeme veya birleşim araçlarının dayanımındaki farklılıklar da elemanın gerçek dayanımının tasarım değerinden daha küçük olmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla, yapısal tasarımda hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, aşırı yüklenme veya dayanım azalması olasılığına karşı yeterli bir güvenliğin bulunması sağlanmış olmalıdır[21].

5.Sonuç ve Tartışma

Çelik yapıların çeşitli katlarına kadar çıkan yangınlar sonucundaki değişim doğrusal olmayan statik öteleme(push-over) analizi yöntemiyle Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13’de gösterilen taban kesme kuvveti-tepe deformasyonu grafiklerle gösterilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen sonuçlar Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9 akma sonrası (elastoplastik) rijitlik, başlangıç (elastik) rijitliği ve dayanım olarak verilmiştir. Bu tablolardan elde edilen sonuçların karşılaştırılmalı sonuçları ise Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’da sırasıyla 0°C, 93°C, 204°C, 316°C, 427°C, 538°C’ de verilmiştir. Böylelikle yangının etkisi değerlendirilmiştir.

İlk olarak dayanım, başlangıç (elastik) rijitlikleri ve akma sonrası (elastoplastik) rijitlik fazladır ve daha fazla yangın yükü taşımaya zorlandıklarında, tasarım özelliklerine bağlı olarak ya gevrek davranış özellikleri gösterip ani olarak kırılabilirler ve yahut sünek bir davranış ile maruz kaldıkları yükü artan deformasyonlar eşliğinde karşılamaya devam ederler. Bu nedenle, artan sıcaklıklar altında aşılacak elastik sınırlar, çeliğin dayanımının azalmasına yol açar. Dayanımda ortaya çıkan başlangıç değerindeki değişime yaklaşık olarak ilk 2 katta çıkan yangın için yaklaşık %25.6, ilk 3 katta çıkan yangın için yaklaşık %27.1 ve ilk 6 katta çıkan yangın için yaklaşık %33.7’lere varan bir azalmaya yol açar. Başlangıç (elastik) rijitlikte ortaya çıkan başlangıç değerindeki değişime yaklaşık olarak ilk 2 katta çıkan yangın için yaklaşık %19.2, ilk 3 katta çıkan yangın için yaklaşık %20.6 ve ilk 6 katta çıkan yangın için yaklaşık %30.5’lere varan bir azalma ortaya çıkarır. Akma sonrası (elastoplastik) rijitlik için başlangıç değerindeki değişime yaklaşık olarak ilk 2 katta çıkan yangın için yaklaşık %4.5, ilk 3 katta çıkan yangın için yaklaşık %6.7 ve ilk 6 katta çıkan yangın için yaklaşık %34.8’lere varan bir azalmaya neden olmuştur.

Çelik yapılar yangına göre tasarlandığında sünek bir davranış ile dayanımlarında önemli ölçüde düşme meydana gelmeden plastik deformasyonlarını artırırlar.

Teşekkür

Bana bu çalışmada desteklerini esirgemeyen Gebze Teknoloji Üniversitesi’nden Prof. Dr. Bülent AKBAŞ’a ve İstanbul Gedik Üniversitesi’nden İş Sağlığı ve Güvenliği Bölüm Başkanı Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Yağımlı’ya teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- [1] Kılıç A., “Çelik Taşıyıcı Binalar ve Yangın Dayanımı”, Mimarlık Dergisi, Sayı 394.
- [2] Beitel J. J., Iwankiw N. R. (2005), “Historical Survey of Multi-Story Building Collapses Due to Fire”, Fire Protection Engineering, 3rd Quarter.
- [3] Bailey C. G. (1998), “Development of computer software to simulate the structural behaviour of steel framed building in fire”, Computers and Structures, 67, 421- 438.
- [4] Saha J. (2004), Guide Book on Fire Protection of Steel Structures, INSDAG, 3-10.
- [5] Gann R. G. (2008), “Final report on the collapse of World Trade Center Building 7”, Federal building and fire safety investigation of the World Trade Center disaster, NCSTAR-1A, NIST.
- [6] Selamet S., Garlock M. E. (2012), “Predicting the maximum compressive beam axial force during fire considering local buckling”, Journal of Constructional Steel Research, 71, 189-201.
- [7] Version II, Corrosion, Fire Protection and Fatigue considerations of Steel Structures, 1998, 1-17.
- [8] Lawson R. M. (2001), “Fire engineering design of steel and composite buildings”, Journal of Constructional Steel Research, 57, 1233–1247.
- [9] Kirby B. R. (1995), “The behaviour of high-strength Grade 8.8 bolts in fire”, Journal of Constructional Steel Research, 33(1-2): 3-38.
- [10] BS5950 Part 8, Code of Practice for Fire Resistant Design, all of the methods of achieving fire resistance for structural steelwork, 1990.
- [11] Eurocode 3, Design of steel structures, 1993.
- [12] Bennetts I. D., Thomas I. R. (2002), “Design of steel structures under fire conditions”, Prog. Struct. Engng Mater, 4:6–17 (DOI: 10.1002/pse.100).
- [13] Seif M., Main J., Weigand J., Sadek F., Choe L., Zhang C., Gross J., Luecke W., Mccolskey D. (2016), Temperature-Dependent Material Modeling for Structural Steels: Formulation and Application, 1-145.
- [14] Kadid A., Boumrkik A. (2008), “Pushover Analysis Of Reinforced Concrete Frame Structures”, Asian Journal of Civil Engineering, 9(1), 75-83.
- [15] İrtem E. , Türker K., Hasgöl U. (2003), Türk Deprem Yönetmeliğinin Performans Hedeflerinin Lineer Olmayan Statik Analiz Yöntemleri ile Değerlendirilmesi.
- [16] Akbaş B., Shen J. J., Sutchiewcharn N., Cai W. (2007), Seismic Demands on Column Splices in Special Steel Moment Frames, 8-20.
- [17] Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2007-2015.



[18] Yardımcı N., Çelik Yapıların Tasarımı ve Tasarım Yöntemleri, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 435 - 2005/1.

[19] Marrion, C; Custer, Richard L. P.; Johann, Matt; Meacham, Brian, Temmuz 2004, "Materials, Systems and Technologies ", NIST Fire Protection of Structural Steel in High-Rise Buildings, Civil Engineering Research Foundation, NIST GCR 04-872.

[20] Öven V. A. , Parlak İ. Y. (2003), "Korumasız Çeliğin Yüksek Sıcaklıklarda Performansı", Türkiye Mühendislik Haberleri, sayı 427, 79-86.

[21] Yazgan M. T. (2010), Yangın Geçirmiş Çelik Binaların Dayanımlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi Deprem Ve Yapı Anabilim Dalı, Gebze.