Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi
30(1), 21-32, 2018

Science and Eng. J of Fırat Univ.
30(1), 21-32, 2018

AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Çelik Yapıların Tasarımı

Mustafa Ülker[1], Sedat Savaş[2*]
[1]Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, 13000, Bitlis
[2]Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ
ssavas@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 05.05.2017; Kabul/Accepted: 29.11.2017)

Özet

Bu çalışmada, Amerikan AISC 360-10 ve Türk Deprem yönetmeliği DBYBHY-2007' ye göre çelik yapıların tasarım kuralları araştırılmış ve irdelenmiştir. Sayısal uygulama olarak, altı katlı çelik bir yapının tasarımı "(Bir) doğrultuda süneklik düzeyi yüksek çerçeveli, diğer doğrultuda süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdeli sistem" her iki yönetmelik esaslarıyla yapılmıştır. Araştırmada, AISC 360-10 yönetmeliğine göre tasarım ilkeleri, LRFD ve ASD 'ye göre hesap esasları, kesitlerin sınıflandırılması konuları etraflıca araştırılmıştır. Çelik yapının yapısal analizi SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Analizde yükleme kombinasyonu olarak AISC 306-10 yönetmeliğinin yükleme kombinasyonları alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım, LRFD, AISC 360-10, Eurocode 3, Narinlik, DBYBHY-2007, Kesit Sınıflandırılması.

Steel Structure Design Based On AISC 360-10 and Turkish Seismic Code

Abstract

In this study,the rules for the design of steel structures in accordance with the American AISC 360-10 and Turkish Seismic Code (TSC-DBYYHY 2007) were investigated. A structural system that has "high ductile frame in one direction and high ductile eccentrically braced frame in other direction" was designed with regarding the principals of both codes. Principals of design in accordance with the AISC 360-10, fundamentals of LRFD and ASD, and classification of sections are deeply investigated in this investigation. The design of a six-storey steel structure that has "high ductile frame in one direction and high ductile eccentrically braced frame in other direction" is presented in this study. The structural analysis was performed with using SAP2000 structural analysis software. Loading combinations that are defined in AISC 360-10 are used in the structural analysis.

Keywords: Load and Resistance Factor Design (LRFD), AISC 360-10, Eurocode 3, Slenderness, DBYBHY-2007, Classification of Profiles.

1. Giriş

Bu çalışmada Amerikan Şartnamesi AISC 360-10 (Specification for Structural Steel Buildings, Çelik Binalar için Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği) [1] ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY-2007'de [2], çelik binalar için depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları esas alınarak bir araştırma yapılmıştır. Boyutlandırma yapılırken, uluslararası geçerliliği olan ve yaygın olarak kullanılan çelik yapılarla ilgili EC3 EN 1993-1-1 [3] ve AISC 360-10 yönetmelikleri kullanılmaktadır. Yapılan araştırmada bu yönetmeliklerle yapılan hesaplama ve boyutlandırmaların birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

AISC 360-10 yönetmeliğinin uygulamada daha yaygın olduğu, mühendislerce tercih edildiği, sonuçların daha anlaşılabilir ve uygulanabilir olduğu görülmüş, bu yönetmeliğe hâkim olan uzmanlar ve bilim adamları tarafından da bu husus doğrulanmıştır. Bu amaçla, bu çalışmada AISC 360-10 yönetmeliğinin boyutlandırma esasları incelenmiş ve Türk Deprem Yönetmeliği, DBYBHY-2007, Bölüm 4 teki çelik çerçevelerle ilgili sınırlamalar ve kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır. Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY-2007, Amerikan Ulusal Deprem yönetmeliği ANSI/AISC 341-05 (Seismic Provisions for Structural Steel

Buildings) [4] ile büyük benzerlikler göstermektedir. Amerikan ve Türk Deprem yönetmeliklerinin, gerek deneysel çalışmaların sonuçlarını yansıtması gerekse büyük depremler sonucunda elde edilen sonuçları kapsaması bakımından bu konuda dünyada bir boşluğu dolduracağını söylemek mümkündür. Betonarme yapıların depreme karşı tasarımında deprem perdeleri kullanılmaktadır. Çelik yapılarda ise, söz konusu yönetmeliklerde, çelik çaprazlı perdelerle yatay yük taşıyıcı sistemlerin oluşturulması önerilmektedir.

Literatürde, çelik yapıların depreme karşı davranışı, analizi ve tasarımı konusunda kaynak [5-9] da verilen çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Söz konusu bu çalışmalarda DBYBHY-2007 ilkeleri ağırlıklı olarak göz önüne alınmış, kaynak [9] da ise çelik karkas bir yapının EC3 [3]'e göre boyutlandırması ve kriter esasları verilmiştir. Uzay çelik çerçevelerin ve kafes sistemlerin analizi ve tasarımı konusunda son yıllarda evrimsel tekniklerle çok sayıda çalışma yapılmıştır [10-11]. Bu çalışmalarda yapıların gerilme ve büyük deplasmanlarına sınırlamalar getirilmiş, optimum tasarımlar gerçekleştirilmiş ancak söz konusu bu çalışmalarda AISC360-10 Şartnamesinin tasarım sınırlamaları göz önüne alınmamıştır. Çelik Çerçevelerin AISC-LRFD Şartnamesine göre optimum tasarımı konusunda kaynak [12] de güncel bir araştırma sunulmuştur. Ayrıca, kaynak [13-19] da AISC-360, AISC-341, EC3 ve DBYBHY-2007 Şartnameleriyle çelik yapıların analiz ve tasarımı konuları araştırılmıştır.
Bu çalışmada, AISC 360-10 ve DBYBHY-2007 yönetmeliklerinin kural ve tasarım sınırlamaları göz önüne alınarak, çelik yapıların depreme karşı analiz ve boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir.

2. Aısc 360-10 Yönetmeliğine Göre Tasarım İlkeleri

Yapılan araştırmada, dünyada en yaygın olarak kullanılan "Çelik Yapı Tasarım" yönetmeliğinin ANSI/AISC 360-10 olduğu görülmüştür. SAP2000 [20] gibi yapısal analiz programlarında tasarım aşamasında ilgili yönetmeliklerin programa katılmış olması, AISC 360-10 yönetmeliğinin etkin, uygulanabilir ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Yönetmelikte, LRFD (Load and Resistance Factor Design) [21] ve ASD (Allowable Strength Design) [22] boyutlandırma ilkelerine göre çelik yapıların tasarımı ve inşası konusunda gerekli kurallar verilmektedir. LRFD ile çelik yapıların, Yük ve Mukavemet Çarpanına Göre Tasarımı, kısacası çelik yapıların taşıma gücü ve ASD ile de Güvenlik Gerilmelerine Göre Tasarım ilkeleri ifade edilmektedir.ASD, güvenlik gerilmelerine göre tasarımla, yaklaşık yüz yıldan beri uğraşılmaktadır. LRFD, taşıma gücü ilkesiyle tasarımın ise yaklaşık otuz yıllık bir geçmişi bulunmaktadır. AISC 360-10 yönetmeliğinde yükler ve yükleme birleşimleri, Amerikan Yük şartnamesi ASCE/SEI-7 ye göre alınmaktadır [23].

2.1. LRFD Yaklaşımıyla Tasarım

LRFD yöntemiyle tasarımda, yapısal güvenlik için aşağıdaki bağıntı verilir:

$$R_u \leq \emptyset R_n \qquad (1)$$

Burada, R_u = LRFD yük kombinezonlarıyla belirlenen gerekli dayanım, R_n = nominal (karakteristik) dayanım, ϕ = dayanım azaltma faktörü, $\emptyset R_n$ = tasarım dayanımını (sınırlanan yapısal tasarım), gösterir. Dayanım azaltma faktörü yönetmelikte $\emptyset \leq 1$ olarak tanımlanmıştır.

2.2. ASD yaklaşımıyla tasarım

ASD, güvenlik gerilmeleriyle tasarım için aşağıdaki bağıntı verilir:

$$R_a \leq R_n/\Omega \qquad (2)$$

Burada, R_a = ASD yük kombinezonlarıyla belirlenen gerekli dayanım, R_n = nominal (karakteristik) dayanım, Ω = güvenlik katsayısı, R_n/Ω = güvenlik gerilmesini gösterir. Güvenlik katsayısı yönetmelikte $\Omega > 1$ olarak tanımlanmıştır. LRFD ve ASD yönetmeliklerine göre yapılan çözümlemede,

$$\Omega = \frac{6D}{\phi}\left(\frac{1}{4D}\right) = \frac{1.5}{\phi} \qquad (3)$$

olarak elde edilir.

2.3. Malzeme

Yapısal çelik malzemesi, ASTM (American Society for Testing and Materials) standartında

[24] A6/A6M-09 ile başlayıp A992/A992M-06a 'ya kadar çok sayıda verilmektedir. En yaygın olanlar, A36, A53, A572 ve A992 çelikleridir. A36 çeliğinde, akma gerilmesi $F_y = 220\ N/mm^2$, kopma gerilmesi $F_u = 340\ N/mm^2$ civarında olup ülkemizdeki Fe37 çeliğine eşdeğer olduğu söylenebilir. Aynı şekilde A992 çeliğinde, $F_y = 350\ N/mm^2$, kopma gerilmesi $F_u = 500\ N/mm^2$ dayanıma sahiptir ve Fe52 çeliğine karşı gelmektedir. Bu çeliklerin karşılığı EC3 normunda S235 ($F_y = 235\ N/mm^2$, $F_u = 360\ N/mm^2$) ve S355 ($F_y = 355\ N/mm^2$, $F_u = 510\ N/mm^2$) karşı gelmektedir. ASTM A6 ve ASTM A673 'e göre yapısal çeliklerde yapılan testlerde minimum Charpy-V-Notch (CVN) dayanımı (Çentik Dayanımı) değeri 218C'de 27 Nm (27 J) olacaktır.

2.4. Kesit özellikleri

Basınç çubuklarında yerel burkulmanın önlenebilmesi için, enkesitte genişlik/kalınlık oranına sınırlama getirilmiştir. AISC-360-10 Şartnamesinde, kesitler kompakt, kompakt olmayan ve narin olarak sınıflandırılır. Ayrıca, Amerikan Deprem yönetmeliği AISC-341'e göre ek bir sınıflandırma daha verilir, o da sismik kompakt kesit sınıflandırılmasıdır. AISC-360-10 'da enkesit koşullarıyla ilgili çizelgeler, bu tanımlama ve sınıflandırmalar esas alınarak, ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

2.5. Çekme çubuklarının tasarımı

Çekme kuvvetinin statik bir kuvvet olduğu ve kesitin ağırlık merkezine etki ettiği kabul edilir. Çekme çubuğunda narinlik için bir sınırlama getirilmemiştir. Ancak yine de narinlik oranının $\frac{L}{r} \leq 300$ olması önerilmektedir. (L= çubuk uzunluğu, r = atalet yarıçapı) Brüt alandan ve kopma alanından, aşağıdaki çekme kuvvetleri hesaplanır:

Brüt alanın çekmede akma durumu için:

$$P_n = F_y A_g \qquad (4)$$

$\phi_t = 0.90$ (LRFD) , $\Omega_t = 1.67$ (ASD) bulunur.

Net alanın çekmede kopma durumu için:

$$P_n = F_u A_e \qquad (5)$$

$\phi_t = 0.75$ (LRFD) , $\Omega_t = 2.00$ (ASD) bulunur.

Bu ifadelerle, tasarım çekme dayanımı, ve güvenlik çekme dayanımı, P_n/Ω_t brüt alandan ve kopma alanından hesaplanabilmektedir.

Burada; A_e = efektif net alan (mm^2), A_g = brüt alan (mm^2), F_y = minimum akma gerilmesi (MPa), F_u = minimum kopma dayanımı (MPa) şeklinde ifade edilir.

2.6. Basınç çubuklarının tasarımı

Tasarım basınç dayanımı $\emptyset_c P_n$ ve güvenlik basınç dayanımı, P_n/Ω_c aşağıdaki gibi hesaplanır:

Nominal (kesit ve malzeme özellikleri kullanılarak) basınç dayanımı P_n , eğilme burkulması, burulmalı burkulma ve eğilmeli-burulmalı burkulmadan hesaplanan alt limitler olmak üzere; $\phi_c = 0.90$ (LRFD) $\Omega_c = 1.67$ (ASD) alınır. Çubuk narinliği, KL/r hesabında kullanılacak olan K efektif uzunluk katsayısı Tasarım çizelgelerinden alınır. (KL/r narinlik formülünde; L = yanal desteksiz çubuk uzunluğu (mm), r = atalet yarıçapını gösterir) AISC 360- 10 yönetmeliğinde çubuk narinliği için; $KL/r \leq 200$ sınırlaması getirilmiştir. Eğilmeli burkulmada nominal basınç dayanımı;

$$P_n = F_{cr} A_g \qquad (6)$$

formülü ile hesaplanır. Kritik gerilme F_{cr} 'nin hesabı için aşağıdaki gibi iki sınırlama göz önüne alınır:

$$KL/r \leq 4.71\sqrt{E/F_y} \qquad (7)$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{F_y/F_e}\right] F_y \qquad (8)$$

$$\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{E/F_y} \qquad (9)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \qquad (10)$$

Burada, F_e = elastik burkulma gerilmesi olup aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left[\frac{KL}{r}\right]^2} \qquad (11)$$

2.7. Eğilme etkisindeki çubukların tasarımı

Basit eğilme altında çubuklar incelenirken, eğilmenin ana eksen (güçlü eksen) etrafında olduğu, kuvvetin, burulma meydana getirmemesi için, kayma merkezine etki ettiği kabul edilir.

AISC 360-10 yönetmeliğinde kesit davranışına göre mukavemet momentleri farklılık gösterir. Yönetmelik, kesitleri şu şekilde sınıflandırmaktadır:

- Kompakt kesitler (C): Plastik moment ve dönme kapasitesinin tümünü kullanan kesitlerdir. Bu kesitlerde ancak, taşıma gücü aşıldıktan sonra yerel burkulma olayı görülebilir.

- Kompakt Olmayan Kesitler (NC): Bu kesitler, yerel burkulma olmadan akma gerilmesine ulaşabilen kesitlerdir. Ayrıca bu kesitlerin kompakt kesitlerden ayrıcalığı, dönme kapasitesinin olmayışıdır.

- Narin Kesitler (S): Bu kesitlerde, kesiti oluşturan elemanlarda (başlık levhalarında, gövde levhalarında), akma gerilmesine ulaşılmadan, yerel burkulma olayı meydana gelmektedir.

Tasarım eğilme dayanımı $\phi_b M_n$ ve güvenlik eğilme dayanımı, M_n/Ω_b 'in hesaplanmasında $\phi_b = 0.90$ (LRFD) $\Omega_b = 1.67$ (ASD) olarak alınır. Nominal eğilme dayanımı M_n 'in hesabında, tüm çift simetri eksenli kesitler (I kesit gibi) ve tek eğrilikli tek simetri eksenli çubuklar için, moment değişim katsayısı (yanal burulmalı burkulma değişim katsayısı);

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (12)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada, $M_{max} =$ yanal destekler arasındaki maksimum moment (N.mm),$M_A =$ yanal destekler arasında dörtte bir noktadaki moment (N.mm), $M_B =$ yanal desteklerin orta noktadaki moment (N.mm), $M_C =$ yanal destekler arasında dörtte üç noktadaki momenti (N.mm) gösterir. Momentlerin formülde mutlak değeri yazılacaktır. Konsol kirişlerde ve açıklıkta bir yerdeki momentin uçlardaki momentten büyük olduğu durumlarda $c_b = 1$ alınır.

2.8. Kesme kuvveti etkisindeki çubukların tasarımı

Kesme kuvveti etkisi altında çubuklar incelenirken, kesitin tek veya çift simetri eksenli olduğu ve kesme kuvvetinin gövde düzlemi tarafından karşılandığı kabul edilir. Şekil 1 de, AISC-360-10 yönetmeliğinde I hadde profili için efektif kesme alanı (gövde düzlemi) gösterilmiştir.

Tasarım kesme dayanımı, $\emptyset_v V_n$ ve kesme güvenlik dayanımı, V_n/Ω_v 'in hesaplanmasında, $\phi_v = 0.90$ (LRFD) , $\Omega_v = 1.67$ (ASD) olarak alınır.

2.9. Eğilme + eksenel kuvvet ve burulma kuvveti etkisindeki çubukların tasarımı

AISC 360-10 yönetmeliğine göre, bir veya iki simetri eksenli çubukların, eksenel kuvvet ve eğilme etkisi altındaki tasarımı, burulmalı veya burulmasız, ve sadece burulma etkisi altında kalması durumları incelenmiştir.

2.9.1. Çift ve tek simetri düzlemli çubukların eğilme ve eksenel kuvvet altında tasarımı

Eksenel kuvvetin basınç olması halinde aşağıda verilen denklemler kullanılır:

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \quad \text{ise;}$$
$$\frac{P_r}{P_c}\frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0 \quad (13)$$

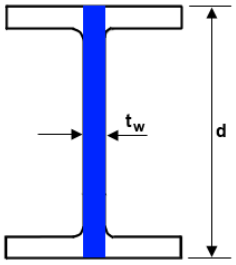
$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \quad \text{ise;}$$
$$\frac{P_r}{2P_c}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1.0 \quad (14)$$

Burada, $P_r =$ LRFD veya ASD yük kombinezonlarıyla hesaplanan hesap eksenel dayanımı (N), $P_c =$ basınç eksenel kuvvet taşıma gücü (N), $M_r =$ LRFD veya ASD yük kombinezonlarıyla hesaplanan hesap eğilme dayanımı (N.mm), $M_c =$ eğilme momenti taşıma gücü (N.mm), formüllerde x indisi, eğilmede güçlü ekseni, y indisi ise, eğilmede zayıf ekseni gösterir. Eksenel kuvvetin çekme olması halinde, yukarıda basınç durumu için verilen (13) ve (14) denklemleri kullanılır.

2.9.2. Burulma momenti etkisindeki HSS boru ve HSS dikdörtgen kesitlerin tasarımı

Tasarım burulma dayanımı, $\phi_T T_n$ ve burulma güvenlik dayanımı, T_n/Ω_T hesaplamak için $\phi_T = 0.90$ (LRFD) , $\Omega_T = 1.67$ (ASD)

denklemleri kullanılır. Nominal burulma dayanımı T_n 'in hesabı, aşağıda verilecektir.



Şekil 1. AISC-360-10 yönetmeliğinde efektif kesme alanı

$$T_n = F_{cr}C \tag{15}$$

Burada, C = HSS burulma sabitidir. Kritik gerilme F_{cr} aşağıda açıklandığı şekilde hesaplanır. HSS boru kesitler için (16) ve (17) denklemler kullanılmaktadır:

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D}}\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}} \tag{16}$$

$$F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \tag{17}$$

Hesaplanan bu kritik gerilmelerden en büyüğü alınacaktır. Ancak bu gerilmenin, akma gerilmesinin 0.6 katını geçmemesi gerekir:

$$F_{cr} \leq 0.6F_y \tag{18}$$

Burada D = dış çap (mm), t = et kalınlığı (mm), $L =$ çubuk uzunluğu (mm) ifade etmektedir. C= HSS boru kesit burulma sabiti olup, $C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$ formülü ile hesaplanır. HSS dikdörtgen kesitler için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$\frac{h}{t} \leq 2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise, } \quad F_{cr} = 0.6F_y \tag{19}$$

$$2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3.07\sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{20}$$

ise,

$$F_{cr} = \frac{0.6F_y(2.45\sqrt{\frac{E}{F_y}})}{(\frac{h}{t})}$$

$$3.07\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260 \text{ ise, } \quad F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} \tag{21}$$

Burada h = kesit uzun kenarından, başlık kalınlıkları ve iç yarıçap çıkarılarak elde edilen boy (mm), t = et kalınlığı (mm) C = HSS dikdörtgen kesit burulma sabiti olup, $C = 2(B - t)(H - t)t - 4.5(4 - \pi)t^3$ formülü ile hesaplanır. (B ve H, kısa ve uzun kenar dış boyutlardır)

3. Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Çelik Yapıların Tasarımı

DBYBHY 2007'de, depreme karşı davranışları bakımından, çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri, süneklik düzeyi bakımından iki sınıfa ayrılmıştır.

- Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
- Süneklik Düzeyi Normal Sistemler

Bu şekilde sınıflandırma, "Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveler", "Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler", "Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler", "Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler" ve "Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler" olarak, deprem yönetmeliğindeki tanımlamalarla, beş başlık altında yeniden yazılabilir.

Söz konusu bu sistemlerle ilgili tüm formülasyonlar ve uygulama kısıtlayıcıları bu araştırmada göz önüne alınmıştır.

4. Sayısal Uygulamalar

Bu çalışmada, Amerikan Şartnamesi AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY-2007 esas alınarak, çelik bir binanın tasarımı yapılmıştır.

4.1. Sistem

Seçilen çelik bina, [25]' den alınan, "bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek çerçeveli, diğer doğrultuda süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdeli" bir yapı sistemidir. Söz konusu problem [25] çözülürken, ülkemiz şartnameleri, TS498 [26] ve TS648 [27] 'deki yüklemeler ve hesap esasları göz önüne alınmıştır. Sistemin kalıp planı Şekil 2 de, tipik kesitler ise Şekil 3 ve Şekil 4 te verilmiştir. Üç boyutlu sistem genel görünüşü ve SAP2000 hesap modeli Şekil 5 te görülmektedir. Çelik binanın (x) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdelerden, (y) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi ise, süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçevelerden oluşmaktadır. Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profilli sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme olarak inşa edilen kompozit döşeme sisteminden meydana gelmiştir. Betonarme döşeme, düzlemi içerisinde rijit bir diyafram oluşturmaktadır. Kat planında görüldüğü gibi, 2 m aralıklarla ara (tali) çelik kirişler yerleştirilmiştir. Bu kirişler, ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmıştır.

Taşıyıcı sistemin kirişleri ve kolonları, Avrupa norm profilleri (kirişler için IPE profilleri, kolonlar için HEB profilleri) kullanılarak tasarlanmıştır. Düşey düzlem çapraz elemanları ise kare kesitli kutu profillerden seçilmiştir.

Sistemin tasarımında Fe52 yapı çeliği kullanılması öngörülmektedir. Yapı çeliğinin özellikleri ile ilgili olarak, DBYBHY 2007 - 4.2.3.1 bölümü geçerlidir. TS648 Çelik Yapılar Standardı'na göre, Fe52 yapı çeliğinin; akma gerilmesi; $\sigma_a = 355\ \mathrm{N/mm^2}$, elastisite modülü $E = 206182\ \mathrm{N/mm^2}$ ve emniyet gerilmeleri, normal gerilme için $\sigma_{em} = 212\ \mathrm{N/mm^2}$, kayma gerilmesi için $\tau_{em} = 122\ \mathrm{N/mm^2}$ değerlerini almaktadır. DBYBHY 2007 - 4.2.3.2 bölümüne uygun olarak, deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde **ISO 10.9** kalitesinde (akma gerilmesi, $\sigma_a = 900\ \mathrm{N/mm^2}$), deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve eklerinde ise **ISO 5.6** kalitesinde (akma gerilmesi, $\sigma_a = 300\ \mathrm{N/mm^2}$) bulon kullanılmıştır.

4.2.Yükler

Yapı analizinde göz önüne alınan normal ve çatı katı yükleri Tablo 1'de verilmiştir.

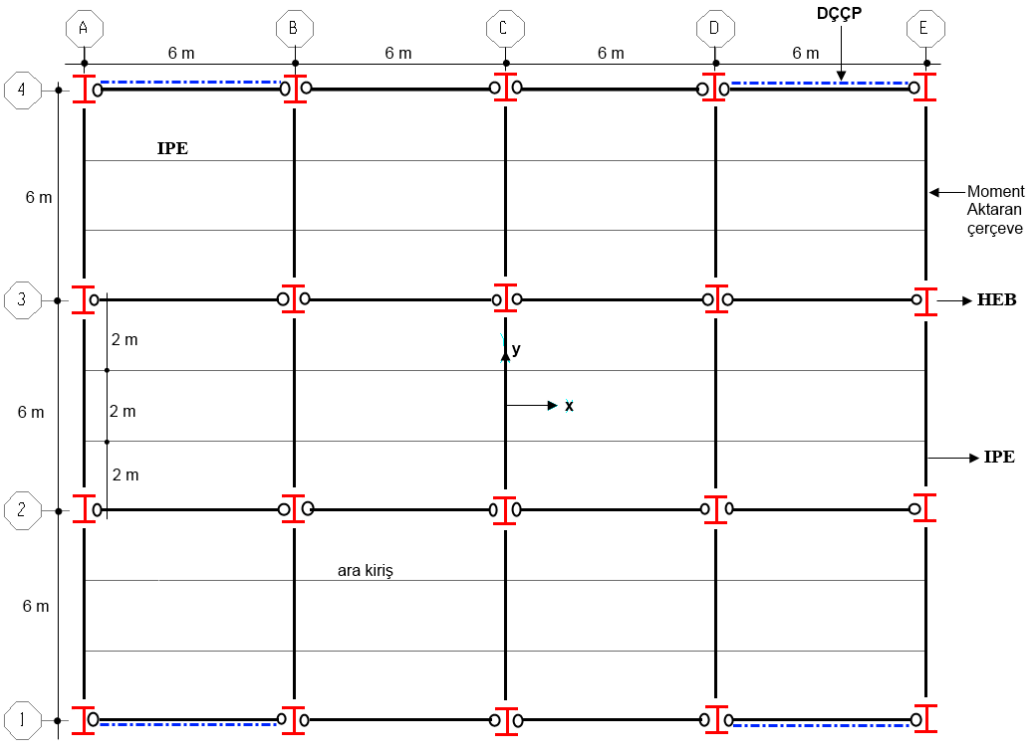
4.3. Deprem karakteristikleri

Tasarımı yapılacak olan çelik yapı, 1. derece deprem bölgesinde, Z2 yerel zemin sınıfı üzerindedir. Yukarıda tanımlanan yapının deprem parametreleri, DBYBHY 2007, ilgili maddeler göz önüne alınarak aşağıdaki şekilde yazılabilir:

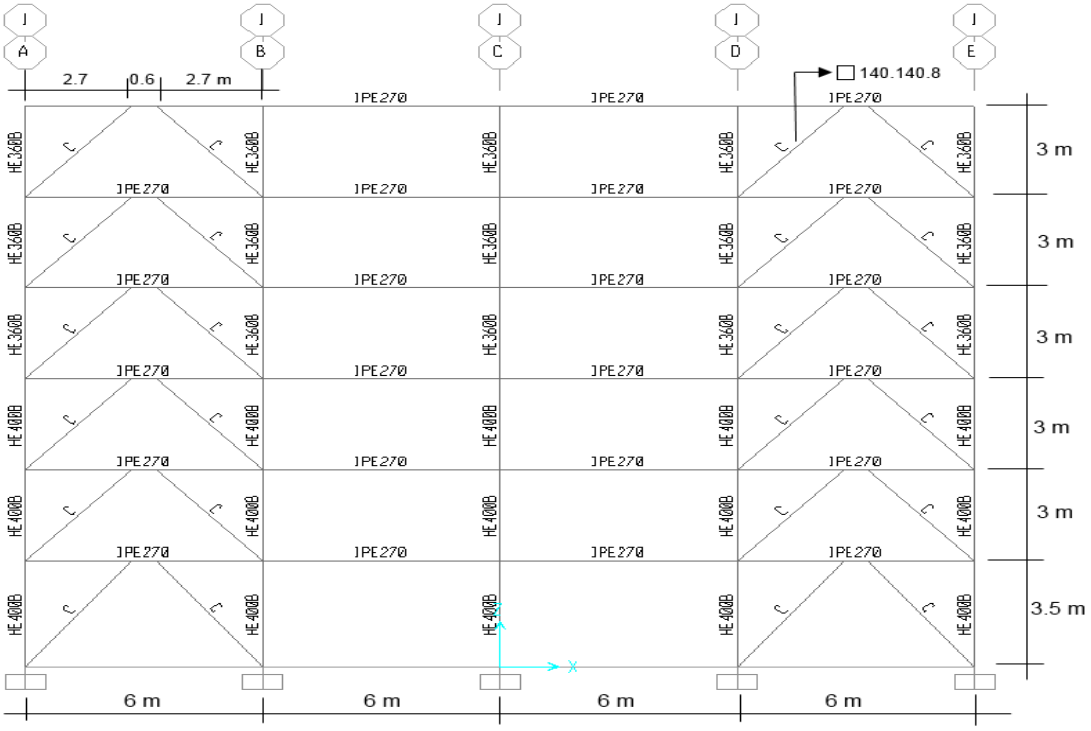
Etkin yer ivmesi katsayısı (1^0 deprem bölgesi): $A_0 = 0.40$, Bina önem katsayısı (konutlar ve işyerleri): $I = 1.00$, Spektrum karakteristik periyotları: $T_A = 0.15$ sn $T_B = 0.40$ sn (Z2 yerel zemin sınıfı), Taşıyıcı sistem davranış katsayısı: (x doğrultusunda deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdeler tarafından taşındığı çelik bina): $R = 7$, (y doğrultusundaki deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle taşındığı bina): $R = 8$, Hareketli yük katılım katsayısı (konutlar ve işyerleri): $n = 0.30$

4.4. Düzensizliklerin kontrolü

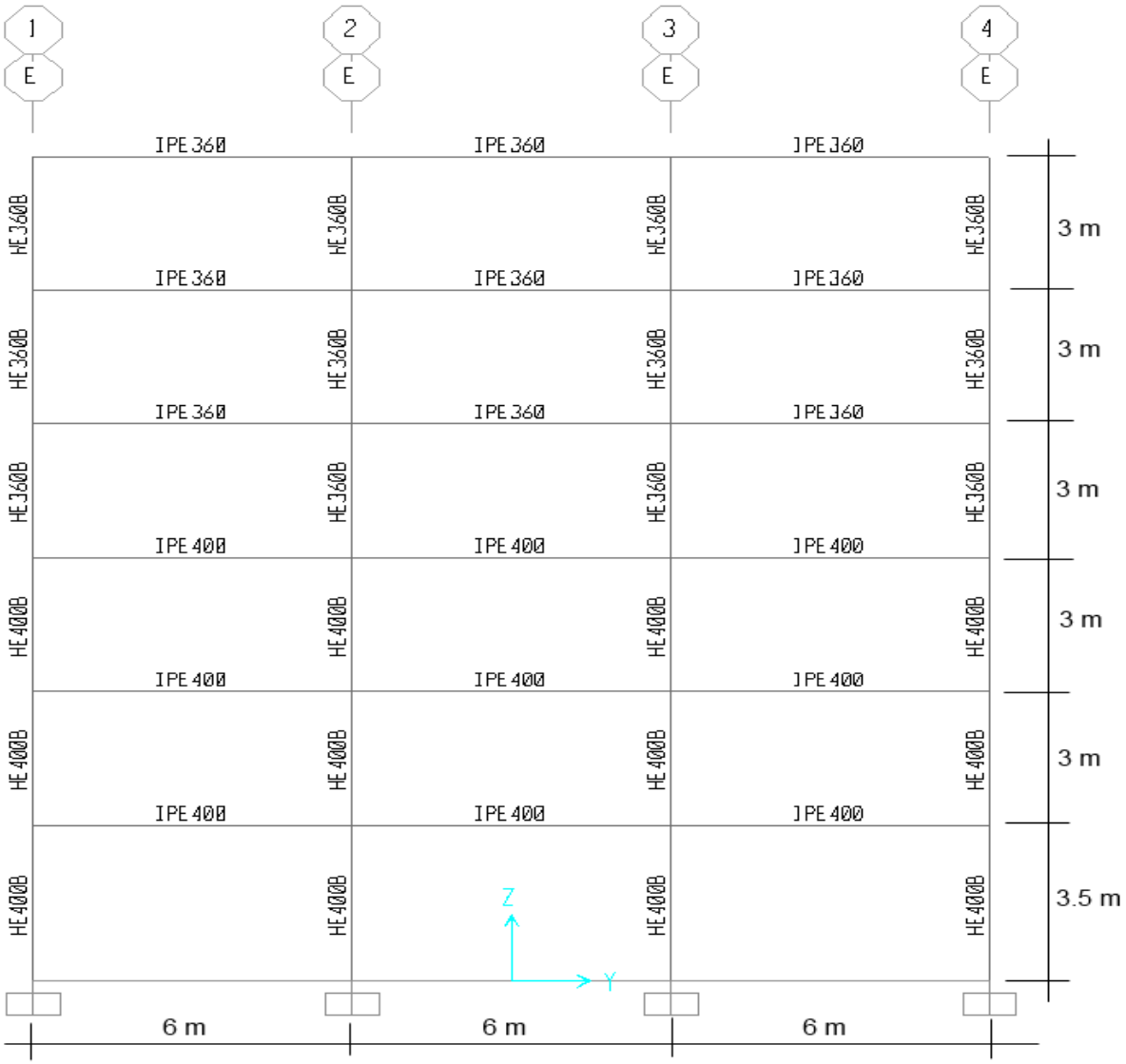
DBYBHY 2007 (Bölüm 2.3) esas alınarak, düzensizlik kontrolü yapılmıştır. Bina kat planlarında çıkıntıların olmaması, döşeme süreksizliklerinin ve döşemelerde büyük boşlukların bulunmaması, yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleşmesi nedeniyle planda düzensizlik durumları mevcut değildir.



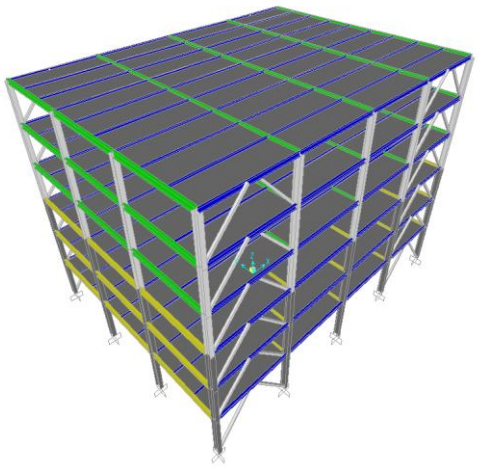
Şekil 2. Normal kat sistem planı



Şekil 3. 1 ve 4 aksları çerçeveleri (DÇÇP, Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler)



Şekil 4. A ve E aksları moment aktaran çerçeveler



Şekil 5. Üç boyutlu sistem genel görünüşü ve SAP2000 hesap modeli

Tablo 1. Normal ve çatı katı yükleri

Yükler	Toplam sabit yük (g)	Hareketli yük (q)	Dış Duvar Yükü (g_d)
Çatı Döşemesi	4.3 kN/m^2	1.0 kN/m^2	
Normal kat Döşemesi	4.9 kN/m^2	2.0 kN/m^2	3.0 kN/m

Benzer şekilde, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerinin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca değişiklik göstermemesi nedeniyle, düşey doğrultuda düzensizlik durumları da mevcut değildir.

4.5. Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Binanın yapısal analizi, SAP2000 V18.0.2 de gerçekleştirilmiştir. Bina yüksekliği, $H_N = 18.5\ m < 40\ m$ olduğundan, ayrıca sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri bulunmadığından, deprem analizi için "Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılmıştır. Program tarafından hesaplanan kat ağırlıkları ve kat kütleleri, Tablo 2 de verilmiştir.

SAP2000 programıyla, yapı sisteminin (x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu: $T_{1x} = 0.75928\ s \cong 0.76\ s$ (y) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyoduysa $T_{1y} = 1.14139\ s \cong 14\ s$ şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kat ağırlıkları ve kat kütleleri

Kat	W_i	m_i
Roof	2172.5	221.5
5	2860.0	291.5
4	2860.0	291.5
3	2872.8	292.8
2	2876.7	293.2
1	2885.3	294.1
Σ	16527.3	1684.7

4.6. Toplam eşdeğer deprem yükünün hesabı

DBYBHY-2007 ye göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti);

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 IW \qquad (22)$$

denklemi ile belirlenir. Binanın (x) doğrultusundaki taban kesme kuvveti;

$T_{1x} = 0.76\ s > 0.40\ s = T_B$

için $S(T_{1x}) = 2.5\left(\frac{0.40}{0.76}\right)^{0.8} = 1.496$ ve $R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 7$ değerleri, (22) denkleminde yerine yazılırsa;

$$V_{tx} = 16527.3\frac{0.40 * 1.0 * 1.496}{7} = 1412.8\ kN$$
$$> 0.10 * 0.40 * 1.0 * 16527{,}3 = 661.0\ kN$$

şeklinde hesaplanır. Benzer şekilde (y) doğrultusundaki taban kesme kuvveti;

$T_{1y} = 1.14\ s > 0.40\ s = T_B$

için hesaplanan $S(T_{1y}) = 2.5\left(\frac{0.40}{1.14}\right)^{0.8} = 1.082$ ve $R_{ay}(T_{1y}) = R_y = 8$ değerleri, (22) denkleminde yerine yazılırsa;

$$V_{ty} = 16527.3\frac{0.40 * 1.0 * 1.082}{8} = 894.1\ kN$$
$$> 0.10 * 0.40 * 1.0 * 16527{,}3 = 661.0\ kN$$

bulunur.

4.7. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

DBYBHY-2007 yönetmeliğine göre, toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü, ΔF_N, (x) ve (y) doğrultuları için;

$$\Delta F_{Nx} = 0.0075 * N * V_{tx}$$
$$= 0.0075 * 6 * 1412.8$$
$$= 63.58\ kN$$

$$\Delta F_{Ny} = 0.0075 * N * V_{ty} = 0.0075 * 6 * 894.1 = 40.23\ \text{kN}$$

şeklinde hesaplanır. Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N tepe kuvveti dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N)\frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} W_j H_j} \quad (23)$$

formülü ile dağıtılır. Hesaplanan eşdeğer deprem yükleri Tablo 3 te gösterilmiştir.

4.8. Yük kombinasyonları

AISC 360-10 yönetmeliğinde yükler ve yükleme birleşimleri, Amerikan Yük şartnamesi ASCE/SEI-7 ye göre alınmaktadır. Yapı sisteminin düşey yükler ile yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, AISC 360 -10 Yönetmeliğine uygun olarak, SAP2000 programında birleştirilmiştir. Burada, LRFD yöntemine göre yük katsayıları esas alınmıştır.

Tablo 3. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	h (m)	H_i	W_i	W_iH_i	$W_iH_i/\Sigma W_iH_i$	F_{ix}	F_{iy}
Çatı	3	18.5	2172.5	40191.3	0.228	371.06	234.82
5	3	15.5	2860.0	44330.0	0.251	339.14	214.63
4	3	12.5	2860.0	35750.0	0.203	273.50	173.09
3	3	9.5	2872.8	27291.6	0.155	208.79	132.14
2	3	6.5	2876.7	18698.6	0.106	143.05	90.53
1	3.5	3.5	2885.3	10098.6	0.057	77.26	48.89
		Σ	16527.3	176360.0	1.000	1412.80	894.10

4.9. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü

Göreli kat ötelemelerinin kontrolü, DBYBHY 2007'ye göre yapılmıştır.

Herhangi bir kolon için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi, Δ_i

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (24)$$

denklemi ile hesaplanır. Bu denklemde d_i ve d_{i-1}, her bir deprem doğrultusu için binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında, azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yer değiştirmeleri gösterir. (x) ve (y) doğrultularında %5 ek dış merkezlikle uygulanan azaltılmış deprem yükleri altında, SAP2000 ile analizden elde edilen d_{ix} ve d_{iy} yatay yerdeğiştirmelerinin her katta aldığı değerler Tablo 4 ve Tablo 5 'in üçüncü kolonunda, ardışık katlar arasındaki azaltılmış göreli kat ötelemeleri ise tabloların dördüncü kolonunda verilmiştir. Tablo 4 ve Tablo 5 ten görüldüğü gibi, δ_i/h_i oranlarının en büyük değerleri (x) ve (y) doğrultularında $(\delta_{ix}/h_i)_{maks} = 0.0098$ ve $(\delta_{iy}/h_i)_{maks} = 0.0165$ olarak hesaplanmıştır. DBYBHY 2007 'de öngörülen $(\delta_i/h_i)_{maks} = 0.0165 < 0.02$ koşulu sağlanmaktadır. Böylece, binanın yapısal analizi, SAP2000 V18.0.2 de yapılmıştır. DBYBHY-2007 ye göre, sistemin tüm hesaplamaları yapılmıştır.

5. Sonuçlar

Bu araştırmada, DBYBHY-2007 Yönetmeliğinin 'Çelik Binalar İçin Depreme Dayanaklı Tasarım Kuralları' bölümü incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Söz konusu deprem yönetmeliğinde verilen tüm koşulların; malzeme, enkesit, süneklik düzeyi tasarım kuralları, merkezi çelik çaprazlı perdelerin tasarım kuralları, dışmerkez çelik çaprazlı perdelerin tasarım kuralları gibi, sağlandığı ve Amerikan ANSI/AISC 341-05 Deprem Yönetmeliği ile büyük bir benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Tablo 4. x-doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü, R = 7

Kat	h_i (cm)	δ_{ix} (cm)	Δ_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix}$ (cm)	δ_{ix}/h_i
Çatı	300	2.142	0.217	1.519	0.0051
5	300	1.925	0.300	2.100	0.0070
4	300	1.625	0.365	2.555	0.0085
3	300	1.260	0.399	2.793	0.0093
2	300	0.861	0.422	2.954	0.0098
1	350	0.439	0.439	3.073	0.0088

Tablo 5. y-doğrultusunda göreli kat ötelemelerinin kontrolü, R = 8

	h_i (cm)	δ_{iy} (cm)	Δ_{iy} (cm)	$\delta_{iy} = R\Delta_{iy}$ (cm)	δ_{iy}/h_i
Çatı	300	3.116	0.324	2.592	0.0086
5	300	2.792	0.493	3.944	0.0131
4	300	2.299	0.601	4.808	0.0160
3	300	1.698	0.619	4.952	0.0165
2	300	1.079	0.617	4.936	0.0165
1	350	0.462	0.462	3.696	0.0106

AISC 360-10 yönetmeliğinde verilen yükleme kombinezonları ile elde edilen kat ağırlığı, kesit tesirleri, kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri gibi değerler, yürürlükten kaldırılan eski TS648 ve DBYBHY-2007 'ye göre yaklaşık %10-28 mertebesinde büyük bulunmuştur. Toplam kat ağırlığı [25]'de Wi = 15127 kN iken, bu çalışmada toplam kat ağırlığı, Wi = 16527.3 kN olarak, %8.5 daha fazla hesaplanmıştır. Bu da AISC 360-10 yönetmeliğinin daha güvenli olduğunu göstermektedir.

Ülkemizde AISC 360 Şartnamesinin hesap ve esaslarına dayalı yeni bir çelik yapılar yönetmeliğinin, ÇYTHYEY-2016 [28] yürürlüğe girmiş olması ile çelik yapıların analiz ve tasarımı konusunda uygun çözümlerin elde edilebileceği ve daha güvenli sonuçlara ulaşılacağı görülmektedir.

6. Kaynaklar

1. ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010.
2. DBYBHY-2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.
3. CEN, Eurocode 3, Design of Steel Structures-Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings.(EC3 EN 1993-1-1), European Committee for Standardisation, Brussels, 2005.
4. ANSI/AISC 341-10, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA, 2010.
5. Tunçel, U., Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeve Sistemlerin DBYBH 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.
6. Simur, I., Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çerçeveli Sistemlerin DBYBH 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.
7. Yavuzarslan, T., 2007 Deprem Yönetmeliği'nin 1998 Deprem yönetmeliği ile Karşılaştırılması ve Sayısal İrdelemesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.
8. Aydın, R., 2006 Deprem bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'in Çelik Binalar ile İlgili Bölümünün Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.
9. Ceylan, Ö.G., 10 Katlı Çelik Bir Büro Binasının EUROCODE 3 Göre Karşılaştırılmalı Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2007.
10. Degertekin, S.O., Hayalioglu, M.S. and Ulker, M., Tabu search based optimum design of geometrically non-linear steel space frames, Struct. Eng. Mech., **27(5):** 575-588, 2007.

11. Kelesoglu, O. and Ulker, M., Multi-objective fuzzy optimization of space trusses by Ms-Excel, Advances in Engineering Software, **36(8):** 549-553, 2005.
12. Artar, M., Optimum design of steel space frames under earthquake effect using harmony search, Struct. Eng. Mech., **58(3):** 597-612, 2016.
13. Maheri, M.R. and Narimani, M.M., An enhanced harmony search algorithm for optimum design of side sway steel frames, Computers and Structures, **136**: 78–89, 2014.
14. Toğan, V., Design of planar steel frames using Teaching–Learning based optimization, Engineering Structures, **34:** 225-232, 2012.
15. Ky, V.S., Lenwarib, A. and Thepchatri, T., Optimum design of steel structures in accordance with AISC 2010 specification using heuristic algorithm, Engineering Journal, **19(4):** 71-81, 2015.
16. Denavit, M. D., Hajjar, J. F., Perea, T. and Leon, R. T., Seismic performance factors for moment frames with steel-concrete composite columns and steel beams, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **45(10):** 1685-1703, 2016.
17. Kaveh, A. and Abbasgholiha, H., Optimum design of steel sway frames using big bang-big crunch algorithm, Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing), **12(3):** 293-317, 2011.
18. Montuori, R., Nastri, E. and Piluso, V., Seismic response of EB-frames with inverted Y-scheme: TPMC versus eurocode provisions, Earthquakes and Structures, 8(5), 1191-1214, 2015.
19. Firat, F.K. and Yucemen, M.S., Comparison of loads in Turkish earthquake code with those computed statistically, Earthquakes and Structures, **8(5):** 977-994, 2015.
20. SAP2000, Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc, Berkeley, CA., 2015.
21. AISC-LRFD, Load And Resistance Factor Design Specification For Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, IL, USA, 2001.
22. AISC-ASD, Specification for Structural Steel Building: Allowable Stress Design and Plastic Design, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, USA, 1996.
23. ASCE/SEI 7-10, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 2010.
24. ASTM, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2009.
25. Aydınoğlu, M.N., Celep, Z., Özer, E. and Sucuoğlu, H., DBYBHY-2007: Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.
26. TS-498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,1997.
27. TS-648, Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
28. ÇYTHYEY–2016, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2016