



AISC 360-10 VE TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ (DBYBHY, 2007)' NE GÖRE ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

Mustafa Ülker¹, Sedat Savaş²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, 13000, Bitlis

²Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

ABSTRACT

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 and studied in this study. 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.

ÖZET

Bu çalışmada, Amerikan AISC (American Institute of Steel Construction) 360-10 ve Türk Deprem yönetmeliği DBYBHY (Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında Yönetmelik) 2007' ye göre çelik yapıların tasarım kuralları araştırılmış ve irdelenmiştir. Sayısal uygulama olarak, altı katlı çelik bir yapının tasarımı “*bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek çerçevesi, 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 kombinezonu olarak AISC 306-10 yönetmeliğinin yükleme kombinezonları alınmıştır.

GİRİŞ

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)'de [2], çelik binalar için depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları esas alınarak bir araştırma yapılmıştır.

AISC 360-10 yönetmeliğinin uygulamada daha yaygın olduğu, mühendislerce tercih edildiği, sonuçların daha anlaşılabilir ve uygulanabilir olduğu görülmüş, bu yönetmeliğe hakim 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 2007 (DBYBHY)'de, Bölüm 4 teki çelik çerçevelerle ilgili sınırlamalar ve kriterlerin sağlanıp sağlanmadığı araştırılmıştır.

Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (DBYBHY), Amerikan Ulusal Deprem yönetmeliği ANSI/AISC 341-05 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings) [3] ile büyük benzerlikler göstermektedir.

Amerikan ve Türk Deprem yönetmeliklerinin, gerek deneysel çalışmaların sonuçlarını yansıtmaları gerekse büyük depremler sonucunda elde edilen sonuçları kapsamaları bakımından bu konuda dünyada bir boşluğu dolduracağını söylemek mümkündür.

AISC 360-10 YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARIM İLKELERİ

Yapılan araştırmada, dünyada en yaygın olarak kullanılan “Çelik Yapı Tasarım” yönetmeliğinin ANSI/AISC 360-10 olduğu görülmüştür. SAP2000 [4] gibi yapısal analiz programlarında tasarım aşamasında ilgili yönetmeliklerin programa katılmış olması, AISC 360-10 yönetmeliğinin etkin, uygulanabilir ve güvenilir olduğunu göstermektedir.

Yönetmelikte, LRFD [5] ve ASD [6] boyutlandırma ilkelerine göre çelik yapıların tasarımı ve inşası konusunda gerekli kuralları verilmektedir.

LRFD (Load and Resistance Factor Design) ile çelik yapıların, Yük ve Mukavemet Çarpanına Göre Tasarımı, kısacası çelik yapıların taşıma gücü ve ASD (Allowable Strength Design) 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 [7].

LRFD Yaklaşımıyla Tasarım

LRFD yöntemiyle tasarımda, yapısal güvenlik için aşağıdaki bağıntı verilir:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (1)$$

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

ASD Yaklaşımıyla Tasarım

ASD, güvenlik gerilmeleriyle tasarım için aşağıdaki bağıntı verilir:

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

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,

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

olarak elde edilir.

Kesit Özellikleri

Basınç çubuklarında yerel burkulmanın önlenmesi 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 ayrıntılı olarak verilmiştir.

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 300 ' ü geçmemesi, $\frac{L}{r} \leq 300$ olması önerilmektedir. (L : çubuk uzunluğu, r : atalet yarıçapı)

Brüt alandan ve kopma alanından, aşağıdaki çekme kuvvetleri hesaplanır:

Brüt alanın çekmede akma durumu için:

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

$$\phi_t = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_t = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Net alanın çekmede kopma durumu için:

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

$$\phi_t = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_t = 2.00 \text{ (ASD)}$$

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

Basınç Çubuklarının Tasarımı

Tasarım basınç dayanımı $\phi_c P_n$ 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.

AISC 360- 10 yönetmeliğinde çubuk narinliği için; $KL/r \leq 200$ sınırlaması getirilmiştir.

Eğilmeli burkulmada nominal basınç dayanımı;

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

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

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{veya } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25) \quad (7)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (8)$$

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{veya } \frac{F_y}{F_e} > 2.25) \quad (9)$$

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

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

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

Eğilme Etkisindeki Çubukların Tasarımı

Basit eğilme altında çubuklar incelenirken, eğilmenin ana eksen (güçlü eksen) etrafında olduğu, kuvvetin, burulma meydana gelmemesi 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.

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.

Tasarım kesme dayanımı, $\phi_v V_n$ ve kesme güvenlik dayanımı, V_n / Ω_v 'in hesaplanmasında,

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)} \text{ olarak alınır.}$$

Eğilme + Eksenel Kuvvet ve Burulma Kuvveti Etkisindeki Çubukların Tasarımı

Burada, 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.

Bu başlık altında, “Çift ve Tek Simetri Düzlemli Çubukların Eğilme ve Eksenel Kuvvet Altında Tasarımı” ve “Burulma Momenti Etkisindeki HSS Boru ve HSS Dikdörtgen Kesitlerin Tasarımı” için formülasyonlar ve sınırlandırılmaları verilmiştir.

TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ (DBYBHY, 2007)’ NE GÖRE ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

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 gözönüne alınmıştır.

SAYISAL UYGULAMALAR

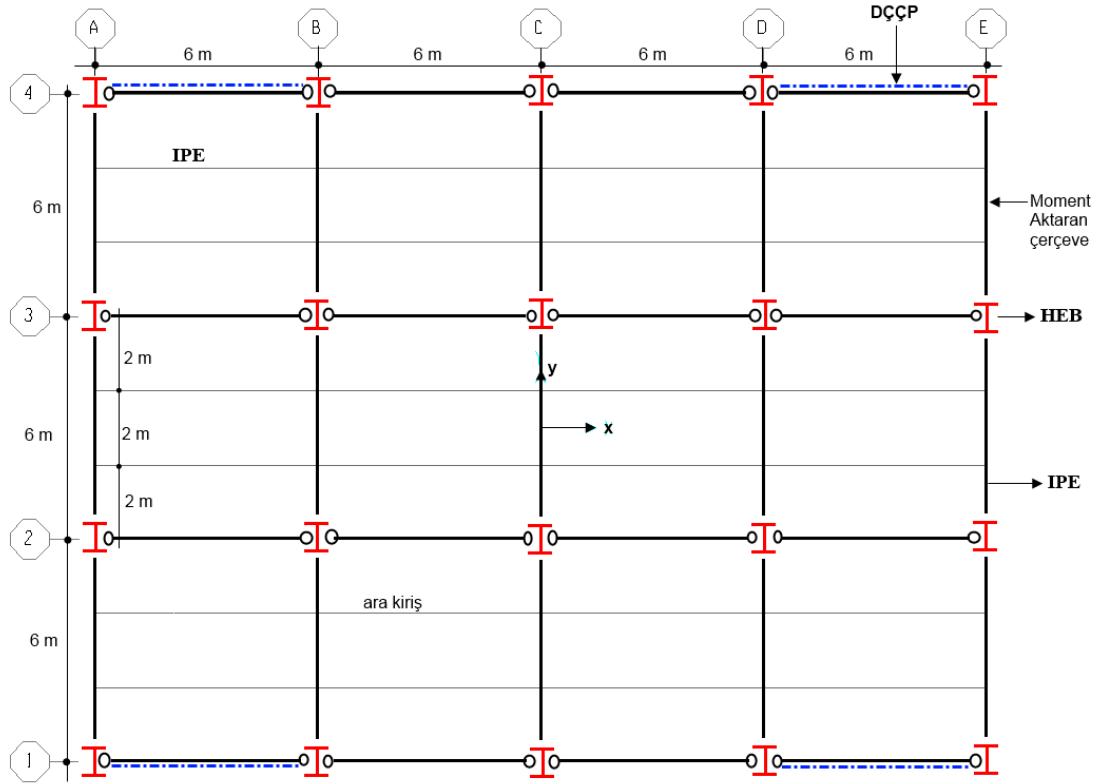
Bu çalışmada, Amerikan Şartnamesi AISC 360-10 ve Türk Deprem Yönetmeliği DBYBHY-2007 esas alınarak, çelik bir binanın tasarımı yapılmıştır.

Seçilen çelik bina, Kaynak[8]’ den alınan, “bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek çerçeveli, diğer doğrultuda süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çapraz perdeli” bir yapı sistemidir. Söz konusu problem, ilgili kaynakta[8] çözülürken, ülkemiz şartnameleri, TS498[9] ve TS648[10]’deki yüklemeler ve hesap esasları göz önüne alınmıştır.

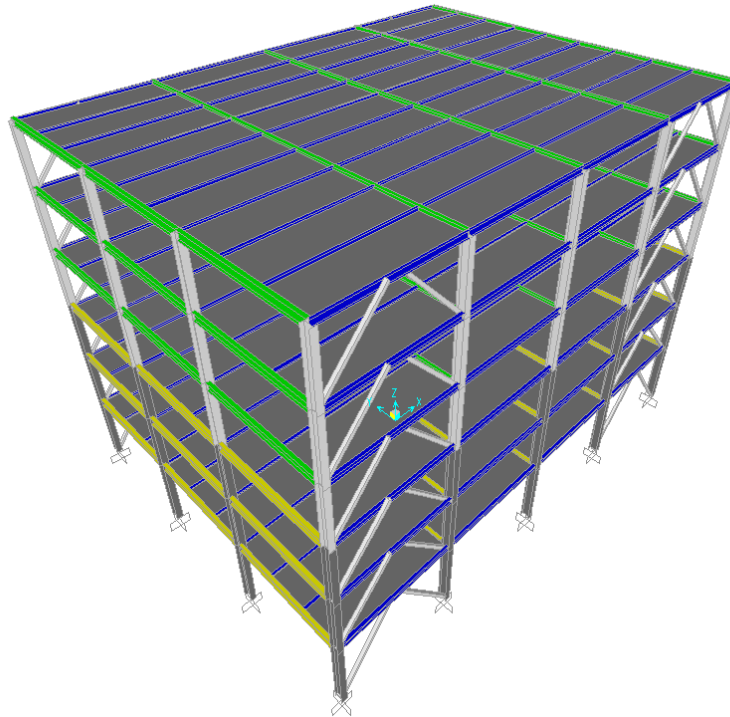
Sistemin kalıp planı Şekil 1 de, verilmiştir. Üç boyutlu sistem genel görünüşü ve SAP2000 hesap modeli Şekil 2 de görülmektedir.

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.

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.



Şekil 1. Normal kat sistem planı



Şekil 2. Üç boyutlu sistem genel görünüşü ve SAP2000 hesap modeli

Tasarımı yapılacak olan çelik yapı, 1. derece deprem bölgesinde, Z2 yerel zemin sınıfı üzerindedir. Yukarıda tanımlanan yapının deprem parametreleri, DBYBHY 2007, ilgili maddeler gözönüne 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: $T_A = 0.15 \text{ sn}$ $T_B = 0.40 \text{ sn}$ (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): $n = 0.30$

Binanın yapısal analizi, SAP2000 V14.2 de gerçekleştirilmiştir. DBYBHY-2007 ye göre, sistemin tüm hesaplamaları yapılmış ve tüm kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplama yükler ve yük kombinasyonları AISC 360-10 yönetmeliğine uygun olarak, ASCE/SEI-7 ye göre alınmıştır.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

DBYBHY-2007'nin 4. Bölümünde verilen '*Çelik Binalar İçin Depreme Dayanaklı Tasarım Kuralları*' bölümünün incelenmesinden ve değerlendirilmesinden; burada verilen tüm koşulların (malzeme, enkesit, süneklik düzeyi tasarım kuralları, merkezi çelik çaprazlı perdelerin tasarım kuralları ve dışmerkez çelik çaprazlı perdelerin tasarım kuralları) ANSI/AISC 341-05 ile büyük benzerlik gösterdiği görülmüştür.

TS 648 yönetmeliğine göre boyutlandırma, emniyet gerilmeleri esaslarına göre yapılmaktadır. Halbuki günümüzde çelik yapıların tasarımında hemen hemen tüm dünyada taşıma gücü yöntemine (LRFD) geçilmiştir. TS648 yönetmeliğimiz bu konuda yetersiz kalmaktadır.

AISC 360-10 yönetmeliğinde verilen yükleme kombinasyonları ile elde edilen kat ağırlığı, kesit tesirleri, kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkileri gibi değerler, TS648 ve DBYBHY-2007 'ye göre yaklaşık %10-28 mertebesinde büyük bulunmuştur. Toplam kat ağırlığı kaynak [8]'de $W_i = 15127 \text{ kN}$ iken, bu çalışmada toplam kat ağırlığı, $W_i = 16527.3 \text{ kN}$ olarak, %8.5 daha fazla hesaplanmıştır. Bu da AISC 360-10 yönetmeliğinin daha güvenli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, çelik yapıların hesap ve tasarımında; güncel olan ve dünyada yaygın olarak kullanılan, çok ayrıntıya yer vermeyen, taşıma gücü yöntemi LRFD 'yi de kapsayan yönetmeliğin AISC 360-10 olduğu görülmüştür. Bu yönetmelik kapsamında bir yönetmeliğin ülkemizde hazırlanması ve DBYBHY-2007 ile birlikte kullanılması gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ANSI/AISC 360-10, *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, 2010.
- [2] DBYBHY-2007, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.
- [3] ANSI/AISC 341-05, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, 2005.
- [4] SAP 2000-V14.2-V15.1-V16.0, *Structural Analysis Program*, Computers and Structures Inc.,
- [5] AISC-LRFD, *Load And Resistance Factor Design Specification For Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1999.
- [6] AISC-ASD, *Specification for Structural Steel Building: Allowable Stress Design and Plastic Design*, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, 1996.
- [7] ASCE/SEI 7-10, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of Civil Engineers, Virginia, 2010.
- [8] M.N. Aydınoğlu, Z. Celep, E. Özer ve H. Sucuoğlu, *DBYBHY-2007: Açıklamalar ve Örnekler Kitabı*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2009.
- [9] TS-498, *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
- [10] TS-648, *Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.